



EUROOPAN UNIONI

Interreg

Botnia-Atlantica

Euroopan aluekehitysrahasto

Miltä Itämeri näyttää vuonna 2120?



Ekosysteemipalvelut Pohjanlahden keskiosissa

Essi Lakso, Anniina Saarinen, Emma Anderssén, Tytti Turkia, Daniela Figueroa,
Johnny Berglund, Lotta Nygård, Lotta Eklund, Anette Bäck



ECONNECT²¹²⁰

Kirjoittajat: Essi Lakso¹, Anniina Saarinen², Emma Anderssen¹, Tytti Turkia¹, Daniela Figueroa³, Johnny Berglund², Lotta Nygård³, Lotta Eklund⁴, Anette Bäck¹

¹Metsähallitus Luontopalvelut

²Västerbottenin lääninhallitus

³Västernorrlandin lääninhallitus

⁴Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Käännös englannista: Lingsoft

Yhteystiedot:

Anette Bäck, Metsähallitus, anette.back@metsa.fi

Johnny Berglund, Västerbottenin lääninhallitus, johnny.berglund@lansstyrelsen.se

Kansikuva: Anniina Saarinen, Västerbottenin lääninhallitus

Viittausohje: Lakso, E., Saarinen, A., Anderssen, E., Turkia, T., Figueroa, D., Berglund, J., Nygård, L., Eklund, L. & Bäck, A. 2022. Miltä Itämeri näyttää vuonna 2120: Ekosysteemipalvelut Pohjanlahden keskiosissa. EConnect-hankkeen loppuraportti. Interreg Botnia-Atlantica ohjelman hanke.

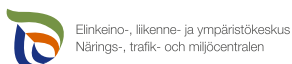
Asia MH 5039/2022

Miltä Itämeri näyttää vuonna 2120?

Ekosysteemipalvelut
Pohjanlahden keskiosissa



Havs
och Vatten
myndigheten



Elinkäino-, liikenne- ja ympäristökeskus
Närings-, trafik- och miljöcentralen



Länsstyrelsen
Västerbotten



Länsstyrelsen
Västernorrland



METSÄHALLITUS
FORSTSTYRELSEN

Esipuhe

Ilmastonmuutos on aikamme suurin ympäristökriisi. Ilmastonmuutoksen aiheuttamia muutoksia tapahtuu jo nyt ja sen vaikutuksia havaitaan kaikkialla maailmassa niin vesistöissä kuin maalla, ja tämänhetkinen toimintamme määrää tulevaisuutemme suunnan. On odotettavissa, että ilmastonmuutoksen vaikutukset, kuten lämpötilojen nousu, ovat voimakkaampia Pohjanlahdella kuin missään muualla Itämeren alueella. EConnect-hankkeessa tutkittiin, millaiselta meri näyttää Pohjanlahden keskiosissa vuonna 2120. Tämä tehtiin analysoimalla Pohjanlahden keskiosien tämänhetkisiä ja tulevia ympäristöolosuhteita, lajien levinneisyyttä, ekosysteemipalveluita ja elinympäristöjen kytkeytymistä toisiinsa. Hankkeen tulokset viittaavat siihen, että ilmastonmuutos tekee merestä lämpimämmän, ohentaa sen jääpeitettä ja alentaa jonkin verran meren suolapitoisuutta. Eri lajit reagoivat eri tavoin näihin muutoksiin ympäristövaatimuksistaan riippuen. Meren alhaisempi suolapitoisuus vaikuttaa merilajeihin, kuten sinisimpukoihin, jotka jo nyt elävät alueella sietokykyä ääriarjoilla alhaisen suolapitoisuuden suhteen, kun taas ohuempi jääpeite hyödyttää esimerkiksi monivuotisia leviä. Lajien levinneisyyden muutoksista seuraa monin paikoin myös muutoksia ekosysteemipalveluissa. Joillakin alueilla ekosysteemipalvelut voivat lisääntyä ja toisilla puolestaan vähentyä. Ekosysteemipalveluissa ei kuitenkaan odoteta tapahtuvan dramaattisia muutoksia. Merenkurkku on eri lajeille tärkeä reitti, jonka kautta ne pääsevät leviämään Ruotsin ja Suomen välillä. Merisuojealueet ovat merieliöiden suojapaikkoja. Mitä paremmin suojealueet on sijoitettu, sitä paremman elinympäristöverkoston ne luovat eri lajeille, mikä puolestaan parantaa lajien mahdollisuuksia selviytyä tulevaisuudessa.

Hankkeessa laadittiin kolme raporttia, joissa esiteltiin kunkin työkokonaisuuden tuloksia, ja lisäksi yhteenvetoraportti, johon koottiin kunkin raportin keskeiset tulokset. Nämä kaikki löytyvät hankkeen kotisivuilta osoitteesta econnect2120.com. Tässä raportissa esittelemme tulevaisuuden ekosysteemipalveluissa oletettavasti tapahtuvia muutoksia EConnect-hankealueella. Kahdessa muussa raportissa keskitytään meren ympäristöoloissa mahdollisesti tapahtuviin tuleviin muutoksiin ja lajien tulevaisuuden levinneisyyteen, sekä arvioidaan olemassa olevaa ja tulevaa suojealueverkostoa ekologisen kytkeytyneisyyden näkökulmasta.

Rajat ylittävän Interreg Botnia-Atlantica -yhteistyöohjelman kautta rahoitettu hanke alkoi kesäkuussa 2018 ja päättyi toukokuussa 2022. Hanke oli jatkoa Suomen ja Ruotsin pitkäaikaiselle rajat ylittävälle yhteistyölle Merenkurkun alueella, ja sen tavoitteena oli vahvistaa yhteisen merialueen hoitoa. Hankekumppaneina olivat Metsähallitus, Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus sekä Västerbottenin lääninhallitus ja Västernorrlandin lääninhallitus. Hankealue rajoittui Pohjanmaalle ja Keski-Pohjanmaalle Suomessa sekä Västerbottenin ja Västernorrlandin lääneihin Ruotsissa.

EConnect-hankkeen toimijat haluavat kiittää Interreg Botnia-Atlanticaa, Pohjanmaan liittoa, Havs- och vattenmyndigheten -viranomaista sekä hankkeeseen osallistuneita organisaatioita sen mahdollistamisesta. Haluamme myös kiittää ilmastomallit tuottaneita Ruotsin ilmatieteen ja hydrologian laitosta (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, SMHI) ja Ilmatieteen laitosta ja kaikkia muita hankkeessa auttaneita tahoja.

Sisällys

Esipuhe	5
Lyhenteet	7
1. Johdanto	8
1.1. Itämeri.....	8
1.2. Hankkeen taustaa.....	8
1.3. Hankealue	9
1.4. Ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevaisuudessa	10
2. Ekosysteemipalvelut	12
2.1. Ekosysteemipalvelut hankealueella	14
3. MESAT-arviointi (Marine Ecosystem Services Assessment Tool)	15
3.1. Pilottialueet.....	16
3.2. Tulokset	20
3.2.1. Yleiset muutokset tuotantopalveluissa	20
3.2.2. Yleiset muutokset säätelypalveluissa	23
3.2.3. Yleiset muutokset kulttuuripalveluissa	27
3.2.4. Pilottialuekohtaiset muutokset palveluissa.....	29
3.3. Pohdinta.....	36
3.3.1. Ekosysteemipalvelujen tulevaisuus	36
3.3.2. Metodologiset näkökulmat	37
4. Ekosysteemipalveluindeksi (ESI)	39
4.1. Menetelmät palveluiden arvioimiseen.....	39
4.2. Mallinnus & indeksin rakentaminen.....	40
4.3. Tulokset	41
4.4. Pohdinta.....	42
5. Johtopäätökset	44
Liitteet	46
A1 MESAT menetelmät	46
A1.1 Arviointiprosessi.....	46
A2 Pilottialueet	47
A3 Aineistojen tietolähteet.....	50
Lähteet	52

Lyhenteet

BALTEX	Itämeren ja sen valuma-alueen hydrometeorologinen tutkimusohjelma (The Baltic Sea Experiment)
BSAP	Itämeren suojelun toimintaohjelma (Baltic Sea Action Plan)
CICES	The Common International Classification on Ecosystem Services, ekosysteemipalveluiden luokitusjärjestelmä
EMMA	Suomen ekologisesti merkittävät vedenalaiset meriluontoalueet
ESI	Ekosysteemipalveluindeksi
GHG	Kasvihuonekaasu (greenhouse gas)
HELCOM HUB	HELCOM HUB -biotooppiluokitus vedenalaisille ympäristöille
IPCC	Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)
LuTu	Suomen luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa käytetyt luontotyypit
MAI	Ravinnekuormituksen enimmäismäärä, joka kertoo veden ja ilman kautta mereen saapuvan typen ja fosforin enimmäistasot Itämeren vesistöalueille, jotta Itämeren hyvä ekologinen tila on mahdollista saavuttaa (BSAP:n mukaisesti) (Maximum allowable input)
MESAT	Ekosysteemipalveluiden arviointiin käytetty työkalu, Marine Ecosystem Services Assessment Tool
OECD	Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö (The Organisation for Economic Co-operation and Development)
RCP8.5	Kasvihuonekaasujen pitoisuuksien mahdolliset kehityskulut (Representative Concentration Pathways, RCP), RCP8.5 on pahin ilmastoskenaario
SDM	Lajien levinneisyysmallinnus (species distribution modelling)
SMHI	Ruotsin ilmatieteen ja hydrologian laitos

1. Johdanto

1.1. Itämeri

Itämeri on matala meri ja sen vesi on murtovettä (Leppäranta & Myrberg 2009). Itämerta ympäröi yhdeksän valtiota, joiden valuma-alueella asuu noin 85 miljoonaa ihmistä. Valuma-alue on noin neljä kertaa Itämeren vesialuetta suurempi, mikä aiheuttaa suurta painetta meren biodiversiteetille ja sen ekosysteemien toiminnolle (HELCOM 2017). Itämereen vaikuttavia ihmisen toiminnasta aiheutuvia ympäristöongelmia ovat muun muassa rehevöityminen, saastuminen, meriliikenne, vieraslajien leviäminen, kalastus ja metsästyminen, habitaattien häviäminen ja häiriintyminen, ilmastonmuutos ja meren roskaantuminen (Leppäranta & Myrberg 2009; HELCOM 2017).

Murtovedestä johtuen Itämeren lajien monimuotoisuus on vähäistä verrattuna valtameriin tai makeanveden ympäristöihin (Kautsky & Kautsky 2000; HELCOM 2009). Siitä huolimatta biodiversiteetti on suurempi kuin mitä murtovesisysteemissä voitaisiin odottaa habitaattityyppien suuresta vaihtelusta ja suolaisuusgradientista johtuen (HELCOM 2018a). Lisäksi Itämeren on arvioitu olevan erittäin tuottava ekosysteemi, joka tarjoaa erilaisia ekosysteemipalveluita. Näitä ovat muun muassa kalakannat, ilmaston säätely, ravinteiden kierrätys ja virkistysmahdollisuudet (HELCOM 2009).

Merilajit, kuten haurut (*Fucus* spp.) ja sinisimpukka (*Mytilus trossulus x edulis*), ovat esimerkkejä lajeista, jotka toimivat avainlajeina lähes koko Itämeren alueella, sillä ne muodostavat habitaatteja (HELCOM 2009) ja toimivat ravinnonlähteinä monille muille lajeille (Waldeck & Larsson 2013; Wikström & Kautsky 2007). Alueilla, joilla muutamalla avainlajilla on suuri vaikutus ekosysteemiin (HELCOM 2009) tai joilla lajien monimuotoisuus on alhainen (Peterson ym. 1998), kuten Itämerellä, on matala resilienssi stressitekijöitä vastaan (HELCOM 2009). Yksi stressitekijä, jolla odotetaan olevan suuri vaikutus Itämereen, on ilmastonmuutos.

1.2. Hankkeen taustaa

EConnect-hankkeen tavoitteena oli tutkia ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia vesiympäristöön Pohjanlahden keskiosissa sadan vuoden päästä. Hankealue (Kuva 1) on erityisen kiinnostava ilmastonmuutoksen kannalta, sillä jotkin Merenkurkun alueen merilajit elävät jo nyt sietokykynsä rajoilla veden suolapitoisuuden suhteen. Hankealueen alhainen suolapitoisuus ei ole optimaalinen alueella eläville merilajeille eikä myöskään makeanveden lajeille (Kautsky & Kautsky 2000). Ilmastonmuutoksen seurauksena tapahtuvalla suolapitoisuuden mahdollisella alenemisellä voi olla merkittäviä vaikutuksia alueen lajien levinneisyyteen. Myös lämpötila vaikuttaa suuresti ympäristöön ja ekosysteemeihin vuodenaikojen vaihtelun ja jääpeitteen keston kautta. Hankkeen tarkoituksena oli tuottaa tietoa, joka voisi auttaa merialuesuunnittelijoita ja muita viranomaisia ilmastonmuutoksen vaikutuksiin sopeutumisessa. Lisäksi tavoitteena oli saattaa nämä tiedot julkisesti saataville. Hankkeen tavoitteet saavutettiin tuottamalla malleja alueella elävien vedenalaisten lajien ja lajiryhmien mahdollisesta levinneisyydestä tulevaisuudessa sekä karttoja ympäristöolojen, kuten lämpötilan, veden suolapitoisuuden ja meren jääpeitteen keston, mahdollisista muutoksista. Mallit perustuivat Ruotsin ilmatieteen ja hydrologian laitoksen (SMHI) ja Ilmatieteen laitoksen laatimiin tulevaisuuden ilmastomalleihin. Tämän lisäksi hankkeessa tutkittiin biotooppien, avainlajien ja merisuojealueiden (marine protected areas, MPAs) ekologista kytkeytyneisyyttä tulevaisuudessa sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksia tärkeisiin meren tarjoihin ekosysteemipalveluihin hankealueella.

Tässä hankkeessa käytetyt ilmastomallit perustuvat ilmastoskenaarioon RCP8.5 ja HELCOMin Itämeren toimintaohjelman (Baltic Sea Action Plan, BSAP) mukaisiin ravinteiden vähennystavoitteisiin. RCP8.5 on IPCC:n viidennen arviointiraportin (AR5) (Collins ym. 2013) pahin ilmastoskenaario. BSAP taas on kokoelma toimia ja toimenpiteitä HELCOMin jäsenmaille terveen meriympäristön tilan saavuttamiseksi Itämerellä ja ohjelmassa painotetaan erityisesti rehevöitymisen hillitsemistä merellä (HELCOM 2020). EConnect-hank-

keen tulokset siis perustuvat oletuksiin, että kasvi-huonekaasujen pitoisuudet ilmakehässä jatkaisivat nousuaan tulevaisuudessa RCP8.5 ilmastoskenaariion mukaisesti, mutta Itämeri saavuttaisi rehevöitymisen kannalta hyvän ympäristön tilan.

Päätös keskittyä RCP8.5 skenaarioon ja BSAP:n ravinteiden vähennystavoitteisiin tehtiin nykyisten trendien sekä kehityskulkujen perusteella. Vaikka ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on asetettu kunnianhimoisia tavoitteita, kuten EU:n halu saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä, suunnitellut toimenpiteet voivat olla liian vähäisiä ja tulla liian myöhässä. Ilmastonmuutos on vuosikymmeniä tunnustettu vakavaksi uhaksi, mutta tietoisuus ongelmasta ja sen ratkaisusta ei valitettavasti ole muuttunut riittäväksi toiminnaksi EU:ssa eikä maailmanlaajuisesti. Lisäksi halusimme pahimmalla mahdollisella ilmastoskenaariolla tutkia, mitä ilmastokriisin totaalinen laiminlyönti voisi aiheuttaa herkälle Merenkurkun alueen luonnolle ja kiinnittää huomiota siihen, miten ilmastonmuutos, rehevöityminen, meren ekosysteemien tila ja ihmisten hyvinvointi kytkeytyvät toisiinsa. Sen sijaan paikallisempi ongelma, Itämeren rehevöityminen, on otettu vakavasti jo jonkin aikaa, ja typen ja fosforin päästöt mereen vähenivät 22 % ja 24 % vuosien 1995–2014 aikana (HELCOM 2018b). Siksi näyttääkin mahdolliselta, että Itämeren alueella voidaan saavuttaa BSAP:n ravinteiden vähennystavoitteet tulevina vuosina. Kuitenkin paljon työtä rehevöitymisen vähentämiseksi on edelleen tehtävä sekä samalla huomioida myös muut Itämeren uhkaavat tekijät. Halusimme myös osoittaa työssä, kuinka tärkeää on ravinnekuorman vähentäminen tasapainoisemman meriympäristön tilan saavuttamiseksi, jotta voidaan tulevaisuudessa välttää rehevöitymisen ja ilmastonmuutoksen kumulatiiviset haitalliset vaikutukset.

Lisätietoja RCP8.5 skenaariosta ja BSAP:sta, sekä ympäristöolojen ja lajien tulevaisuuden mallinnuksesta löytyy EConnect-hankkeen raportista *Ilmasto ja lajien levinneisyys Pohjanlahden keskiosissa*.

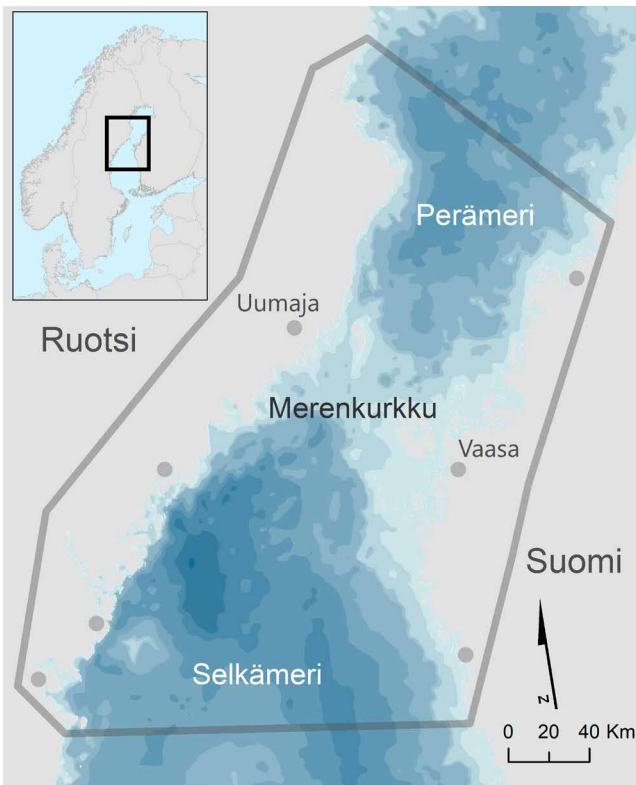
Hankkeen tarkoituksesta ja tuloksista kertominen niin merialuesuunnittelijoille, ympäristö- ja ilmastoasian-

tuntijoille kuin suurelle yleisöllekin oli tärkeä osa hanketta alusta alkaen. Pääasiallisena viestintäkanavana oli sosiaalinen media, ja merialueiden parissa työskenteleville viranomaisille ja asiantuntijoille järjestettiin vuoden 2021 alussa työpaja. Hankkeen tulokset esitellään eri [raporteissa](#), [SeaGIS2.0-karttaportaalisissa](#), [hankkeen verkkosivustolla](#) ja [tarinakartassa](#). Raportit sisältävät yksityiskohtaista tietoa hankkeen menestymisestä ja tuloksista, ja malleja voi tutkia tarkemmin SeaGIS2.0-karttaportaalisissa. Tuotettu aineisto on avointa ja vapaasti käytettävissä muissa ilmastoon ja Itämereen liittyvissä hankkeissa. Hankkeen eri aihealueista luotiin useita videoita ja animaatioita, jotta hankkeen tulokset saatiin paremmin erilaisten ihmisten saataville ja jotta niistä voitiin tehdä suuren yleisön kannalta kiinnostavampia. Tuotettua viestintämateriaalia ja hankkeen tuloksia esitellään inspiroivalla tavalla hankkeesta luodun tarinakartan avulla.

1.3. Hankealue

Hankealue ulottuu pohjoisessa Ruotsin Skellefteån alueelle ja Suomen Kokkolaan sekä etelässä Ruotsin Sundsvalliin ja Suomen Kristiinankaupunkiin saakka (Kuva 1).

Merenkurkku sijaitsee Pohjanlahden keskiosissa ja myös suurin piirtein hankealueen keskellä. Merenkurkku on matala siirtymäalue, joka erottaa Selkämeren ja Perämeren toisistaan. Merenkurkun rantaviiva ja topografia muuttuvat koko ajan, sillä niitä muovaa jatkuva maankohoaminen, jonka seurauksena maa kohoaa noin 9 millimetriä vuodessa (Poutanen & Steffen 2014). Merenkurkussa sijaitsee useita merisuojealueita, kuten esimerkiksi Natura 2000 -alueita sekä merkittäviä lintujen elinympäristöjä ja biodiversiteetin suojelun kannalta tärkeitä alueita (Kallio ym. 2019). Tämän lisäksi Merenkurkku luokitellaan ekologisesti tai biologisesti merkittäväksi merialueeksi (Ecologically or Biologically Significant Marine Areas, EBSA) (Biologisen monimuotoisuuden yleissopimus, The Convention on Biological Diversity 2021). Merenkurkku on ekologisesti tärkeää aluetta, ja myös hankealueen sisällä mielenkiintoinen tutkimusalue, sillä useiden



Kuva 1. EConnect-hankealue sijaitsee Pohjanlahdella pohjoisella Itämerellä.

merilajien levinneisyys rajoittuu pohjoisessa Merenkurkkuun.

Suomen puoleisella hankealueella sijaitseva rannikko on yleisesti matalaa ja käsittää tuhansia pieniä saaria, kun taas Ruotsin puoleisen hankealueen maasto ja pinnanmuodot ovat paljon jyrkempiä, ja siellä on myös vähemmän saaria (Poutanen & Steffen 2014; Donadi ym. 2020). UNESCO:n maailmanperintökohde Korkearannikko / Merenkurkun saaristo sijaitsee alueella (UNESCO 2021). Suomen puoleisella hankealueella sijaitsee monia Suomen ekologisesti merkittäviä vedenalaisia meriluontoalueita (EMMA-alueet): Revöfjärden, Rönnskäret, Mikkelsaaret ja Kvimofjärden (Lappalainen ym. 2020).

Hankealueen vesien suolapitoisuus vaihtelee Merenkurkun vesialueiden mataluuden ja voimakkaiden virtausten vuoksi. Suolaisuus laskee 5 promillesta 4 promilleen siirryttäessä vain noin 10 kilometriä pohjoiseen Bergöstä, joka sijaitsee Vaasan eteläpuolella. Suolapitoisuus on korkeampi hankealueen itäpuolella, sillä Coriolis-ilmiö sekoittaa alueelle etelästä suoлаista vettä kohti Suomen rannikkoa ja Ruotsin rannikon joet kuljettavat mukanaan runsaasti makeaa vettä mereen (Rinkineva & Bader 1998). Merenkurkun keskisuolapi-

toisuus on 3–4 promillea, joka on alhaisempi kuin Itämeren keskisuolapitoisuus (Kautsky & Kautsky 2000). Suolapitoisuuden aleneminen siirryttäessä varsinaisen Itämeren alueelta Pohjanlahden alueelle vaikuttaa lajien elinoloihin. Tämän vuoksi useiden lajien levinneisyyden raja kulkee Merenkurkussa (Rinkineva & Bader 1998). Tällaisia lajeja ovat esimerkiksi sinisimpukka ja ruskoleviin kuuluvat haurut (HELCOM 2017). Suurin osa hankealueen lajeista on makeanveden lajeja, jotka sietävät murtovettä, kuten esimerkiksi ahven (*Perca fluviatilis*), lahna (*Abramis brama*) ja särki (*Rutilus rutilus*), ja vesikasveista esimerkiksi vidat (*Potamogeton* spp. & *Stuckenia* spp.) ja levistä näkinpartaiset (Charales) (Viitasalo ym. 2017). Sekä merilajit että makeanveden lajit elävät veden suolapitoisuuden osalta jossain määrin normaalista poikkeavissa olosuhteissa, mikä on niille varsin stressaavaa. Tämän stressin seurauksena lajien yksilöt voivat esimerkiksi jäädä kooltaan normaalia pienemmiksi verrattuna alueisiin, joiden eliöstö ei altistu stressitekijöille (Westerbom ym. 2002).

Hankealueen keskisyvyys on 64 metriä ja enimmäisyvyys 298 metriä (SeaGIS2.0). Hankealueen matalissa osissa on alueita, joissa lämpötila on korkeampi erityisesti keväisin ja kesäisin, toisin kuin muutoin kylmillä Pohjanlahden vesillä. Nämä lämpimämmät alueet ovat tärkeitä lisääntymisen kannalta esimerkiksi monille kalalajeille. Hankealueen talvisin peittävä jää vaikuttaa merkittävästi mereen, esimerkiksi rantojen eroosioon, ja jää myös hankaa pois vedenalaista kasvillisuutta matalilla alueilla, joihin muodostuu kiintojäättä. Pohjanlahden tärkeimmät merivirrat liikkuvat itärannikkoa pitkin pohjoiseen ja länsirannikkoa pitkin etelään. Meressä on myös paikallisia heikompia virtauksia, jotka vaikuttavat paikallisiin olosuhteisiin, kuten sedimentaatioon. Virtaukset ovat tyypillisesti voimakkaita Merenkurkussa, sillä se on väylä, jota pitkin vesi liikkuu Selkämeren ja Perämeren välillä (Rinkineva & Bader 1998).

1.4. Ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevaisuudessa

Tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen vuoksi ilmakehässä tapahtuvat muutokset voivat muuttaa ilman lämpötilaa ja sadantaa eli sademäärää. Myös valtamerissä ja merissä on odotettavissa muutoksia liittyen mm. veden lämpötilaan, merenpinnan tasoon, myrskyvuoksiin ja meren jääpeitteeseen (HELCOM & Baltic Earth 2021; Meier ym. 2021). Hiilidioksidin kohonnut määrä ilmakehässä aiheuttaa lisäksi meren happamointumista (HELCOM 2017). On silti epävarmaa, kuinka

paljon Itämeren pH-arvo voi muuttua (HELCOM & Baltic Earth 2021). Näiden muutosten odotetaan puolestaan johtavan meren lajistossa ja eliöyhteisöissä tapahtuviin muutoksiin (Viitasalo & Bonsdorff 2021).

Itämeren alueella veden lämpötilan ennustetaan kohoavan eniten kesäisin Pohjanlahdella (Meier ym. 2021). Pintaveden kerrokset lämpenevät syviä vesiä voimakkaammin, ja Meier ym. (2021) tutkimuksessa vedenpinnan keskilämpötilan koko Itämeren pohjoisosien alueella on arvioitu kohoavan RCP8.5-ilmastokenaarin mukaan yli 3°C. Hankealueen keskimääräisen suolapitoisuuden ennustetaan laskevan hieman tulevaisuudessa tämän hankkeen mallien mukaan, mutta koska ilmastomalleihin liittyy runsaasti epävarmuustekijöitä vesitaseen osalta, ja koska valunta on suurin suolapitoisuuteen vaikuttava tekijä, on myös hyvin epävarmaa, aleneeko vai kohoaa suolapitoisuus lopulta. On odotettavissa, että sadanta lisääntyy sekä kesällä että talvella Itämeren pohjoisosissa, mikä voi johtaa suolapitoisuuden alenemiseen valunnan kautta. Toisaalta lämpötilojen kohotessa myös haihdunta lisääntyy, mikä voi vähentää jokien virtaamaa, jolloin myöskään veden suolapitoisuus ei alenisi. Lisäksi merenpinnan nousu lisääisi Atlantilta Itämereen virtaavan suolapitoisen veden määrää, mikä voisi myös kompensoida suuremman sadannan ja valunnan vaikutuksia. Tämä puolestaan vaikeuttaa edelleen suolapitoisuuteen liittyvien ennusteiden laatimista.

Merenpinnan nousu johtuu pääasiassa jäätiköiden sulamisesta ja meriveden lämpölaajenemisesta sen lämmitessä. Pohjanlahdella maankohoamisen odotetaan kompensoivan mahdollista merenpinnan nousua (Meier ym. 2021). Hankealueen merenpinnan nousua käsitellään tarkemmin EConnect-hankkeen raportista *Ilmasto ja lajien levinneisyys Pohjanlahden keskiosissa*. Myrskyvuoksiin liittyvät muutokset tulevaisuudessa riippuvat merenpinnan noususta ja lisääntyneestä tuulen nopeudesta. Tulevaisuuden tuuliolosuhteisiin liittyy vielä paljon epävarmuutta, mutta useiden viimeaikaisten tutkimusten mukaan tuulten nopeuden lisääntyminen on mahdollista, erityisesti syksyisin (HELCOM & Baltic Earth 2021; Meier ym. 2021). Merenpinnan nousu on myrskyvuoksien muutoksiin eniten vaikuttava tekijä (von Storch ym. 2015), ja voidaan olettaa, että mikäli merenpinta nousisi myös myrskyvuoksia voisi esiintyä jatkossa aiempaa enemmän. Tämä on kuitenkin hyvin epävarmaa.

Jääpeite riippuu hyvin paljon ilman lämpötilasta talvella. Nykyisin jääpeitteen pinta-ala on jo aiempaa pienempi ja se on ohuempaa verrattuna historiallisiin keskiarvoihin, ja lisäksi jääpeitteen kesto on lyhentynyt.

nyt. Talvella 2020 merijään vuosittainen enimmäislaajuus oli pienin sitten vuoden 1720, jolloin mittaukset aloitettiin (Meier ym. 2021). Samoin viimeisten 30 vuoden aikana merijään keskimääräinen laajuus on ollut kaikkien aikojen pienin (Meier ym. 2021). Kohoavien lämpötilojen odotetaan tulevaisuudessa kiihdyttävän näitä merijäässä tapahtuvia muutoksia (HELCOM & Baltic Earth 2021; Meier ym. 2021).

On vielä epäselvää, kuinka merten happamoituminen vaikuttaa lajeihin ja ekosysteemeihin Itämerellä (HELCOM & Baltic Earth 2021). Käytettävissä oleva aineisto viittaa kuitenkin siihen, että monet Itämeren lajit sietävät yleensä verrattain hyvin alhaisia pH-arvoja, mutta esimerkiksi jotkin kuorelliset lajit voivat kärsiä muutoksista (Navenhand 2012). On myös odotettavissa, että merten happamoituminen vaikuttaa vähemmän murtovedessä eläviin eliöyhteisöihin, sillä ne ovat jo sopeutuneet hiilidioksidipitoisuuksien ja pH-arvojen muutoksiin (Bermudez ym. 2016). Joissakin tutkimuksissa on kuitenkin lisäksi havaittu viitteitä siitä, että happamoitumisella yhdessä vesien lämpenemisen kanssa on tuhoisampi vaikutus Itämeren alueen eliöyhteisöihin kuin pelkällä happamoitumisella (Viitasalo & Bonsdorff 2021).

Hankkeelle tuotettujen tulevaisuusmallien (vuodet 2070–2099) mukaan pohjaa lähimmän vesikerroksen keskilämpötilat nousevat kesällä 3°C, jään paksuus pienenee yli 80 % ja suolapitoisuus laskee keskimäärin 0,52 ‰ eli -10 % vertailujaksoon 1976–2005 verrattuna. Nämä ovat merkittävimmät ilmaston lämpenemisen aiheuttamat muutokset, jotka hankealueen meriympäristön odotetaan kohtaavan tulevaisuudessa. Tässä raportissa emme käy läpi kaikkia tulevaisuuden odotettuja ympäristötekijöiden muutoksia, mutta koska näihin (ja lajien levinneisyyksille) nojaavat myös tämän raportin tulokset, löytyy niistä lisätietoa EConnect-hankkeen raportista *Ilmasto ja lajien levinneisyys Pohjanlahden keskiosissa*.

Ilmastonmuutoksen vaikutusten, kuten meren lämpötilojen nousun, odotetaan olevan Pohjanlahdella voimakkaampia kuin missään muualla Itämeren alueella, osittain sen vuoksi, että albedo eli heijastuskyky vähenee jääpeitteen pienentyessä, mikä puolestaan johtaa edelleen lämpötilojen kohoamiseen (Meier ym. 2012). Ilmastonmuutos vaikuttaa Itämeren ekosysteemeihin eri tavoilla ja voi yhdessä muiden haitallisten ihmisen aiheuttamien vaikutusten kanssa heikentää ekosysteemien resilienssiä tehden niistä entistä haavoittuvampia tuleville muutoksille (HELCOM 2013e; von Storch ym. 2015; HELCOM & Baltic Earth 2021).

2. Ekosysteemipalvelut

Ekosysteemipalvelut ovat luonnon prosesseja ja toimintoja, joiden kautta lajit ja ekosysteemit mahdollistavat ja ylläpitävät myös ihmiskunnan elämää (Daily 1997). Meren tarjoamien ekosysteemipalvelujen osalta näitä ovat konkreettiset ekosysteemituotteet, kuten kalasaalis, vesiviljely ja teolliseen toimintaan käytetty merivesi. Yhdessä nämä muodostavat niin sanotut tuotantopalvelut, joita ihmiset voivat suoraan saada meriympäristöstä. Ekosysteemipalveluja ovat suoran tuotannon lisäksi varsinaiset elämää ylläpitävät toiminnot, kuten ravinteiden kierrätys, myrkkujen ja haitallisten aineiden neutralointi sekä luonnon fyysisen, kemiallisten ja biologisten olosuhteiden ylläpito. Lisäksi meriympäristö tarjoaa aineettomia esteettisiä ja kulttuurisia palveluita. Kirjallisuudessa ekosysteemipalvelut on jaoteltu ja luokiteltu monin eri tavoin (esim. Hattam ym. 2015). MA (Millennium Ecosystem Assessment 2005) on luonut sittemmin laajalti käytetyn ja hyväksytyin ekosysteemipalvelujen jaon neljään palveluluokkaan: tuotantopalveluihin, säätelypalveluihin, kulttuuripalveluihin sekä ylläpitopalveluihin. Nykyään kuitenkin, kun mitataan yleistä palveluiden tuoton tasoa, ylläpitopalvelut jätetään usein pois, sillä ne muodostavat ekosysteemeissä prosessit ja toiminnot, jotka ylläpitävät muita palveluita. Siksi myös tässä työssä keskitytään tuotanto-, säätely- sekä kulttuuripalveluihin (Kuva 2).

Huoli ympäristön tilan huonontumisesta ja monimuotoisuuden vähenemisestä sekä halu korostaa ekosysteemien merkitystä ihmiskunnan hyvinvoinnin turvaajana, nostivat alkujaan esille ekosysteemipalvelu-konseptin (Daily 1997; MA 2005). Ekosysteemipalvelu-konseptin selkärankana on lisätä ja legitimoida luonnonsuojelua sekä edistää luonnonvarojen kestävä käyttöä ja tukea poliittista päätöksentekoa (Daily 1997). Viime vuosikymmeninä konsepti on kehittynyt kattavaksi tiedon, luokittelun ja politiikan välineeksi, ja ekosysteemipalvelututkimus Euroopassa ja maailmalla on kasvanut suuresti. Ekosysteemipalvelujen merkitys kestäväälle aluesuunnittelulle ja luonnonhoidolle on laajalti tunnustettu, ja Euroopan unioni (EU) on pyrkinyt sisällyttämään käsitteen direktiiveihinsä ja asetuksiinsa varmistaakseen jäsenvaltioiden ekosysteemien ja palvelujen ylläpidon sekä ennallistamisen tulevaisuu-

desa. Esimerkiksi vesipuitedirektiivin (WFD; direktiivi 2000/60/EY) ja meristrategiadirektiivin (MSFD; direktiivi 2008/56/EY) tavoitteena on saavuttaa hyvä makeiden vesien ja meren ekologinen tila, jotta ekosysteemipalveluiden saatavuus ja kestävä käyttö tulevaisuudessa voidaan turvata. Nämä direktiivit on sisällytetty edelleen Suomen ja Ruotsin lainsäädäntöön sekä molempien maiden merenhoitosuunnitelmiin, jotka ohjaavat meren ja rannikon aluesuunnittelua sekä kestävä käyttöä (YM 2016, 2020; HaV 2020a).

Ekosysteemipalvelujen sisällyttäminen poliittiseen päätöksentekoon, erilaisiin luonnonhoitosuunnitelmiin ja käytäntöihin on edellyttänyt monenlaisten menetelmien kehittämistä palveluiden ja niissä tapahtuvien muutosten arvioimiseksi ja arvottamiseksi. Ekosysteemipalvelujen arvioiminen ja arvottaminen on luontaisesti monitieteistä ja edellyttää mm. luonnon- ja yhteiskuntatieteiden menetelmien yhdistämistä ekosysteemipalveluiden tarjonnan ja ihmisten hyvinvoinnin välisten yhteyksien löytämiseksi (Ahtiainen & Öhman 2014). Palvelujen arvottaminen voidaan tehdä kolmella tasolla: laadullisesti, määrällisesti ja rahallisesti (White ym. 2011). Erilaisten palvelujen arvioimis- ja arvottamiskeinojen lisäksi myös ekosysteemipalveluiden luokitusjärjestelmiä on ollut käytössä lukuisia akateemisella kentällä, mikä vaikeuttaa pyrkimyksiä vertailla ekosysteemejä, käytettyjä menetelmiä tai tuotettuja palveluita (Fisher ym. 2009; Costanza ym. 1997; MA 2005; Hattam ym. 2015). Haines-Young & Potschin (2012) pyrkivät ratkaisemaan tämän ongelman tarjoamalla standardoidun luokitusjärjestelmän ja koordinoivat ekosysteemipalveluiden yhteisen kansainvälisen luokituksen (CICES) kehittämistä. Tämä luokittelu järjestää ekosysteemipalvelut hierarkkisesti ja edistää eri palvelujen perusteellista kartoittamista, ja sen ovat toivottaneet tervetulleeksi monet viralliset toimijat, kuten EU (European Commission 2011; Maes ym. 2015). Näin ollen myös tässä työssä käytämme CICES-luokitusjärjestelmää.

Ilmastomuutos vaikuttaa Itämeren ekosysteemiin ja niiden tuottamiin palveluihin (mm. HELCOM 2007). Muutokset ekosysteemitasolla riippuvat siitä, miten muuttuva ilmasto vaikuttaa eri lajeihin ja useista



Kuva 2. Ekosysteemipalvelut ryhmitellään usein kolmeen pääluokkaan: tuotantopalvelut, säätelypalvelut ja kulttuuripalvelut. Kuvat: Anniina Saarinen / Västerbottenin lääninhallitus, Juuso Haapaniemi / Metsähallitus, & Seger Marketing.

tekijöistä johtuen (mm. ympäristömuuttujien tulevaisuuden muutosten epävarmuudet, ekosysteemien palautumiskyky ja lajien väliset vuorovaikutussuhteet) muutokset lajitasolla ovat erittäin epävarmoja (esim. Viitasalo ym. 2015). Lisäksi tulevien muutosten laajuus riippuu valinnoista, joita me yhteiskunnassa teemme tulevana vuosikymmeninä liittyen ilmastotoimiin ja muihin Itämeren kohtaamiin uhkiin, kuten saastumiseen ja elinympäristöjen tilan huonontumiseen. Huolimatta eri epävarmuustekijöistä on kuitenkin tärkeää arvioida, kuinka ekosysteemipalvelut saattavat muuttua tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen vaikutuksesta ja kuinka näitä tietoja voidaan käyttää hyväksi mm. merenhoitosuunnitelmien laadinnassa ja muussa päätöksenteossa. Myös ekosysteemipalveluiden tutkimuskentällä on tunnistettu Itämeren ekosysteemipalveluiden tulevaisuuden muutoksiin liittyviä tietopuutteita (Ahtiainen & Öhman 2014), ja EConnect-hankkeen lisäksi myös muut hankkeet (esim. SmartSea) ovat tehneet arvioita tulevaisuuden muutoksista.

Tässä hankkeessa käytettyjen tulevaisuusmallien (SMHI:n ja ilmatieteen laitoksen ilmastomallit RCP8.5

ilmastoskenaariolla ja BSAP:n mukaisilla ravinteiden vähennystavoitteilla, sekä EConnect-hankkeen lajien tulevaisuuden levinneisyysmallit), kirjallisuuden ja erilaisten asiantuntijalausuntojen perusteella olemme arvioineet nykyistä ekosysteemipalvelutarjontaa sekä niitä muutoksia, joita ilmaston lämpeneminen tulee aiheuttamaan näille palveluille 100 vuoden kuluessa. Arvioinnin työkaluna hankkeessa käytettiin MESAT-työkalua (Marine Ecosystem Services Assessment Tool) (Inácio ym. 2018), ja kyseinen arviointi tehtiin kolmelle erilliselle pilottialueelle EConnect-hankealueen sisällä, jotta tulevaisuuden muutoksia pystyttiin tarkastelemaan erilaisissa meriympäristöissä ja ekosysteemeissä. Myös käyttämällä pienempiä ja tarkasti rajattuja pilottialueita, ekosysteemipalveluiden arviointi on luotettavampaa. Tämän lisäksi ilmastonmuutoksen seurauksena syntyviä laajempia muutoksia ekosysteemipalveluihin koko hankealueella arvioitiin ekosysteemipalveluindeksillä (ESI), joka suunniteltiin ja luotiin hankkeessa lajien levinneisyysmalleihin perustuen (lue lisää lajien levinneisyysmalleista EConnect-hankkeen raportista *Ilmasto ja lajien levinneisyys Pohjanlahden keskiosissa*).

2.1. Ekosysteemipalvelut hankealueella

Ruotsin korkearannikon syvästä vesistä Suomen matalaan saaristoon saakka, hankealue sisältää monenlaisia luontotyyppisiä, elinympäristöjä ja lajeja, jotka tarjoavat meille suuren määrän erilaisia ekosysteemipalveluita. Kenties tunnetuin ekosysteemipalvelu, joka alueen luonnosta saadaan, on kala. Kalastusta harjoitetaan koko hankealueella ja kalastuksen kohteena ovat pääasiassa silakka (*Clupea harengus membras*), siika (*Coregonus lavaretus*; Luke 2021) ja lohi (*Salmo salar*; Havet 2021). Virkistyskalastus on myös yleistä alueella. Hankealueen Suomen puoleinen kalanviljely tuo myös lisänsä merestä saatavaan ravintoon. Sen sijaan kalankasvatus merialueella Ruotsin puolella hankealuetta on hiljattain lakkautettu ympäristösyistä.

Tuotantopalveluita saadaan merestä vain, mikäli meressä on toimivat säätely- sekä ylläpitopalvelut (Daily 1997; MA 2005). Säätelypalveluihin lukeutuu esimerkiksi kalojen lisääntymisaluiden ylläpitojärjestelmät. Eri kalalajit tarvitsevat lisääntyäkseen erilaisia ympäristöjä ja kutualustoja. Hankealueella tavattavista kalalajeista esimerkiksi siika suosii matalia hiekkapohjia kutumiseen (Veneranta ym. 2013), kun taas ahven ja hauki (*Esox lucius*) tarvitsevat suojaista aluetta, joissa on tiheää kasvillisuutta, kuten järviruokoa (*Phragmites australis*) ja vitoja (Snickars ym. 2009). Nopean maankohoamisprosessin myötä laguunit ovat tyypillinen ja runsas luontotyyppi hankealueella, erityisesti Merenkurkussa. Ne tarjoavat erinomaisia kalojen lisääntymis- ja poikasalueita, mutta ovat myös kasvillisuuden monimuotoisuudeltaan hyvin rikkaita elinympäristöjä (Naturvårdsverket 2011). Happi, jota nämä vedenalaiset kasvit ja levät tuottavat yhdessä kasviplanktonin kanssa, luetaan myös mukaan ekosysteemien säätelypalveluihin. NASA on arvioinut, että kasviplanktonin yhteyttämisen kautta tuottama happi muodostaa maailmanlaajuisesti 50–90 % hengittämästämme hapesta vuodenajasta riippuen (Hoppenrath ym. 2009). Sekä kasviplanktonilla (Hutchins & Fu 2017) että kasvillisuudella (Marbà ym. 2015) on tärkeä rooli ilmaston säätelyssä, koska ne käyttävät hiilidioksidia yhteyttämiseen ja sitovat hiilen itseensä. Kasvillisuudella on myös tärkeä rooli rantojen eroosion ehkäisemisessä sitomalla juurillaan sedimenttiä te-

hokkaasti paikoilleen ja lieventämällä aallokon voimaa (Madsen ym. 2001). Merenpohjan sedimentissä elävä selkärangatonlajisto ja bakteerit huolehtivat merenpohjaan päätyvän orgaanisen aineen hajottamisesta ja ravinteiden kierrätyksestä (Carstensen ym. 2014). Luonnon monimuotoisuus on kaikkien ekosysteemipalvelujen perusta. Itämeren ekosysteemit ovat jo nyt suhteellisen hauraita luontaisesti vähäisen lajimäärän vuoksi (Johanssen & André 2006). Lisäksi tasapainoisen ja monimuotoinen ekosysteemi sietää paremmin ympäristönsä stressitekijöitä (Laikre ym. 2016), kuten alueelle mahdollisesti asettuvia vieraslajeja.

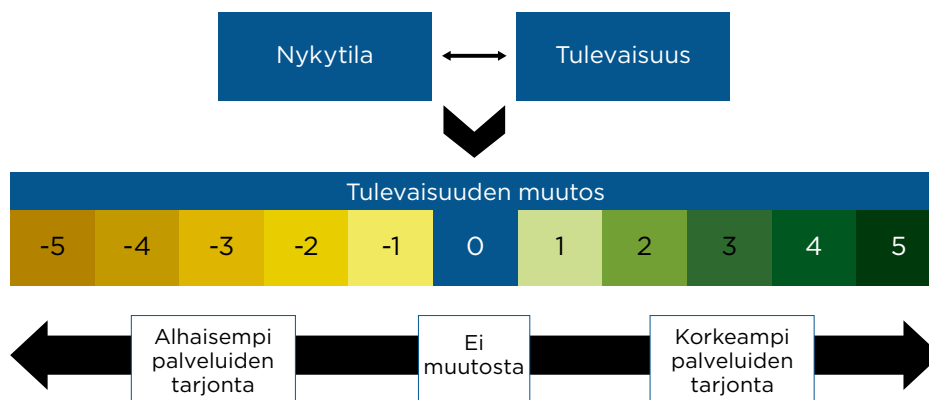
Hankealue on myös kulttuurisilta ekosysteemipalveluiltaan rikas ja erityisesti Merenkurkun alueella on mielenkiintoinen geologinen historia. Noin 20 000 vuotta sitten aluetta peitti 2500–3000 metriä paksu jääpeite (Poutanen & Steffen 2014). Kun tämä jäätikkö sulii, se jätti jälkeensä mielenkiintoisia geologisia muodostumia, joita yhä nousee esille merestä nopean maankohoamisen myötä. Merenkurkun saaristossa erilaiset moreenimuodostumat ovat saaneet aikaan jopa 5600 saarta (UNESCO 2021), jotka ovat erinomaisia elinympäristöjä useille lintulajeille, ja joissa sijaitsee arvokkaita kulttuuriperintökohteita. Sekä Ruotsin että Suomen saarilla ja mantereella on satoja vanhoja rakennuksia majakoista kalastusmajoihin (SeaGIS2.0). Nykyään lisäksi monet ihmiset joko asuvat tai omistavat kesämökkinsä meren läheltä. Esimerkiksi Västerbottenin rannat ovat ihmistoiminnassa hyödynnetyimpiä rantoja koko Ruotsissa. Yli 37 % alueen rannoista sijaitsee rakennuksia alle 100 metrin etäisyydellä rannasta (Lundberg & Nilsson 2018).

3. MESAT-arviointi

(Marine Ecosystem Services Assessment Tool)

MESAT-arviointityökalu on Inácion ym. (2018) kehittämä metodologinen lähestymistapa ja työkalu ekosysteemipalveluissa tapahtuvien muutosten arvioimiseen merien rannikkoalueilla. MESAT-arviointityökalu perustuu olettamukseen, että muutokset ekosysteemien rakenteissa ja toiminnoissa voivat vaikuttaa ekosysteemien kykyyn tarjota ekosysteemipalveluita. Arviointityökalu on alun perin rakennettu vertailemaan muutoksia ekosysteemipalvelutarjonnassa nykyhetken ja menneiden vuosikymmenten välillä, jotta nähdään miten palvelut ovat muuttuneet ajassa tähän päivään mennessä. Tässä hankkeessa työkalua on kuitenkin muokattu siten, että voidaan tarkastella ilmastonmuutoksen ekosysteemeille aiheuttamia vaikutuksia nykyhetken ja tulevaisuuden välillä. MESAT tarjoaa käytännöllisen työkalun tuotanto-, säätely-, ja kulttuuripalveluiden palvelutarjonnan arvioimiseen tietyllä alueella. EConnect-hankealueen koko on noin 40 000 km² (ei sisällä maa-alueita kuten saaria) ja tällä laajalla alueella esiintyy monia erilaisia ekosysteemejä ja elinympäristöt muuttuvat asteittain, mikä luo haasteita ekosysteemipalveluiden arviointiin suurelle alueelle. Ekosysteemipalveluarvion keskittäminen pienempään mittakaavaan tarjoaa myös mahdollisuuksia tarkastella muutoksia erilaisissa meriympäristöissä. Lisäksi aineistoa ekosysteemipalveluiden arvioimiseen käytetyistä indikaattoreista on vaikeaa löytää näin

suurelle alueelle ja virheiden mahdollisuus kasvaa suurilla alueilla arvioitaessa. Näistä syistä johtuen koko hankealueen ekosysteemipalveluiden arvioinnin sijaan MESAT-lähestymistapaa varten valittiin kolme erillistä pilottialuetta hankealueen sisältä (Kuva 4), mikä teki palveluiden arviointiprosessista helpomman ja luotettavamman. Pilottialueiden ekosysteemipalveluarviot eivät ole suoraan verrannollisia koko hankealueen palveluiden tarjontaan, mutta ne antavat viitteitä laajemmista muutoksista alueella ja kuvaavat hyvin myös alueellisia eroja hankealueen eri ympäristöissä. Keskityimme työssä Itämeren ja sen välittömässä läheisyydessä olevien rannikkoalueiden (enintään 1 km rantaviivasta) tarjoamiin ekosysteemipalveluihin. Ilmastonmuutoksen ja ravinnekuorman vähentämisen vaikutuksia ekosysteemipalveluiden tarjontaan on vaikeaa eristää muista ekosysteemeihin tulevaisuudessa vaikuttavista tekijöistä. Näin ollen on tärkeää huomioida, että ilmastonmuutoksen ja ravinnevähennysten lisäksi odotamme myös merialueiden hyödyntämisen lisääntyvän tulevaisuudessa hankealueella, millä on vaikutusta moniin ekosysteemipalveluihin. Nämä ihmistoimintaan liittyvät tekijät on pyritty ottamaan huomioon niiden suuren vaikutuksen vuoksi, mutta pääpaino työssä on ollut ilmastonmuutoksen ja rehevöitymisen hillitsemisen vaikutuksissa.



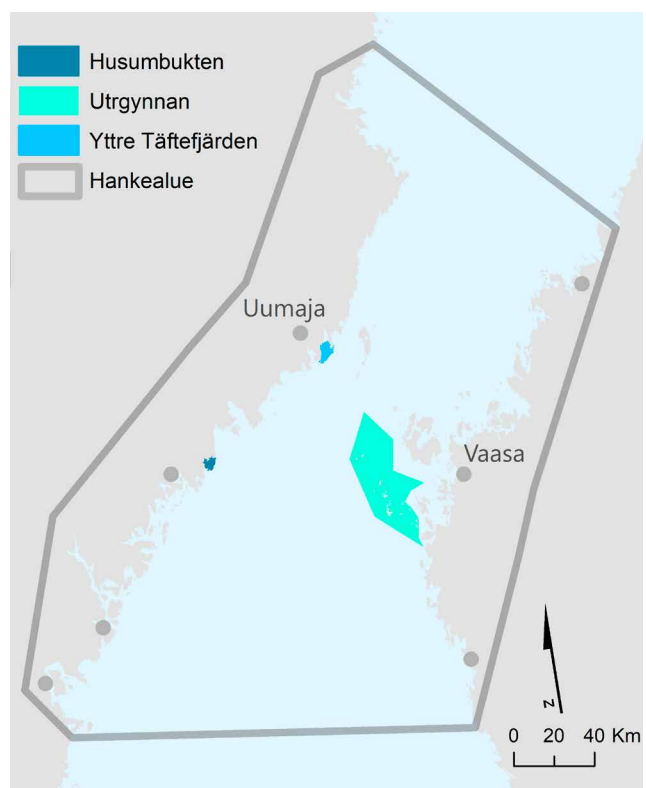
Kuva 3. Muokattu Inácio ym. (2018) artikkelista. Indikaattoriarvojen ero (nykyinen/tulevaisuus) on muutettu Likert-asteikolliseen muutosluokkaan, joka välittää ekosysteemipalveluvarannon suhteellisen muutoksen ja mahdollistaa eri indikaattoreiden vertailun.

MESAT-työkalussa ekosysteemipalvelut on luokiteltu CICES-luokitusjärjestelmän version 4.3 mukaan ja ekosysteemipalveluiden tarjonnan suhteellista muutosta on arvioitu joukolle indikaattoreita, jotka edustavat eri palveluita (Inácio ym. 2018). Jokaiselle eri ekosysteemipalvelulle on siis käytetty 1–6 indikaattoria arvioimaan muutosta kyseisessä palvelussa (Taulukko 1). Eri indikaattoreille arvioitiin nykyiset tarjonnan arvot ja tulevaisuuden arvot erikseen ja tämän jälkeen kokonaisuutos (nykyinen vs. tulevaisuus) muutettiin Likert-asteikolliseksi, jotta muutoksen suuruutta eri indikaattoreiden välillä voitiin verrata (Kuva 3). Siten muutos kussakin indikaattorissa vaihtelee Likert-asteikon sisällä -5:stä +5:een. Miinusarvot kuvaavat ekosysteemipalveluiden tarjonnan vähenemistä ja plusarvot tarjonnan lisääntymistä. Ekosysteemipalveluissa 100 vuodessa tapahtuva muutos laskettiin sitten kutakin palvelua kuvaavien indikaattorien Likert-asteikon muutosarvojen keskiarvona. Indikaattoreissa tapahtuva tulevaa muutosta on arvioitu käyttämällä erilaisia tietolähteitä: mallintamista, kirjallisuuslähteitä, asiantuntija-arvioita ja tietokantoja. Kattava luettelo kunkin indikaattorin tietolähteistä löytyy liitteistä Taulukosta A3. Tässä työssä MESAT-arvioinnin nykyinen ajanjakso asetettiin vuosille 2010–2020 ja tulevaisuuden arvioitu ajanjakso koostui vuosista 2100–2120. **Hankkeessa tehdyn MESAT-arvioinnin perusteellisemmin kuvattu menetelmäosio löytyy liitteistä osiosta A1.**

3.1. Pilottialueet

MESAT-arvioinnissa käytetyiksi pilottialueiksi valittiin Utgrynnan-Molpehällorna Suomen puolelta hankealuetta sekä Yttre Täftefjärden ja Husumbukten Ruotsin puolelta hankealuetta (Kuva 4). Utgrynnan-Molpehällorna on laaja kauas ulkomerelle ulottuva merialue, jossa sijaitsee useita saaria ja monipuolisia meriympäristöjä. Alueella tavataan lukuisia erilaisia luontotyyppisiä suojaisista laguuneista ja pehmeäpohjaisista ekosysteemeistä kivikkoisiin ja avoimiin riuttaympäristöihin. Sen sijaan Yttre Täftefjärden ja Husumbukten

ovat pienempiä lahtimaisia alueita lähellä manteretta. Molempien ruotsalaisten pilottialueiden ympärillä olevat maa-alueet ja rannikot ovat melko tiheästi asuttuja ja ihmistoiminnassa käytettyjä. Lisäksi sellutehdas sijaitsee Husumbuktenin lahden alueella. Luontotyyppit molemmilla Ruotsin pilottialueilla ovat suurelta osin pehmeäpohjaiseen ympäristöön sopeutunutta kasvillisuutta ja eläimistöä, vaikka kovan pohjan eliöitäkin esiintyy, mutta vähäisemmässä määrin. Yttre Täftefjärdenissä sijaitsee myös ekologisesti tärkeitä laguuneja. **Tarkempi kuvaus jokaisesta pilottialueesta löytyy liitteistä osiosta A2.**

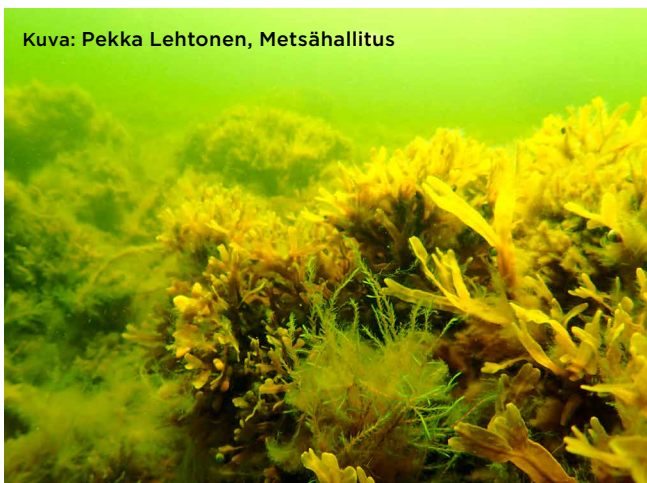


Kuva 4. Pilottialueet (Husumbukten, Utgrynnan-Molpehällorna ja Yttre Täftefjärden) EConnect-hankealueen sisällä.

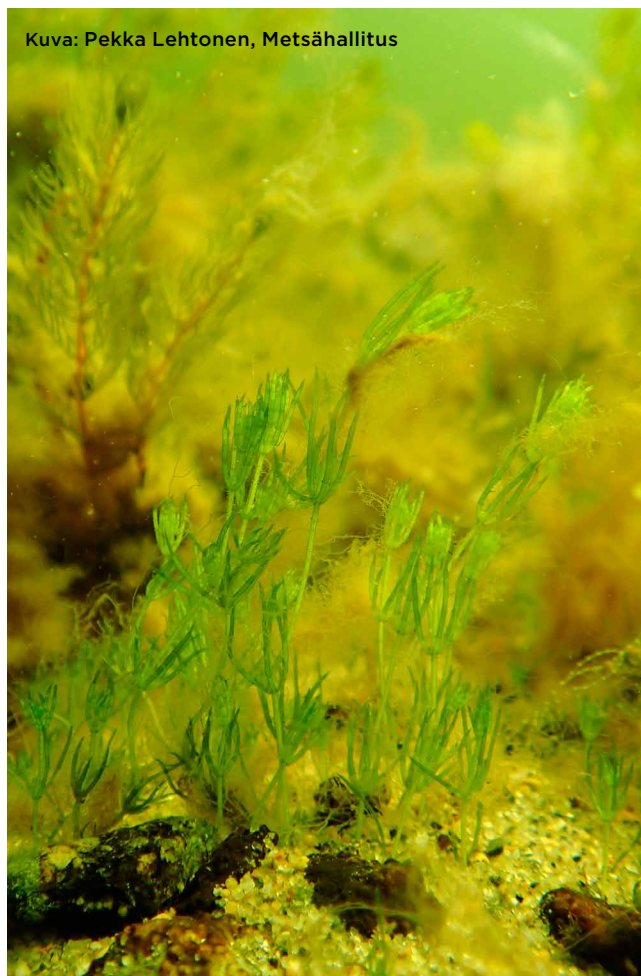
Kuva: Ulrika Björkman, Metsähallitus



Kuva: Pekka Lehtonen, Metsähallitus



Kuva: Pekka Lehtonen, Metsähallitus



Kuva: Essi Keskinen, Metsähallitus

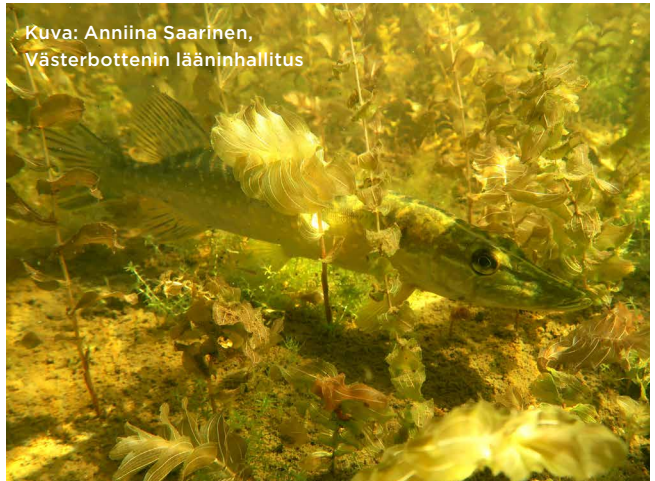


Utgrynnan-Molpehällornan pilottialue sijaitsee Suomessa ja se on laaja merialue, jossa on paljon saaria ja alue ulottuu kauas ulkomerelle. Alueella esiintyy monia erilaisia ekosysteemejä kauniista riuttaympäristöistä vehreään pehmeäpohjaiseen kasvillisuuteen. Alueen kulttuuriperintö on rikasta.

Kuva: Anniina Saarinen,
Västerbottenin lääninhallitus



Kuva: Anniina Saarinen,
Västerbottenin lääninhallitus



Kuva: Johnny Berglund,
Västerbottenin lääninhallitus

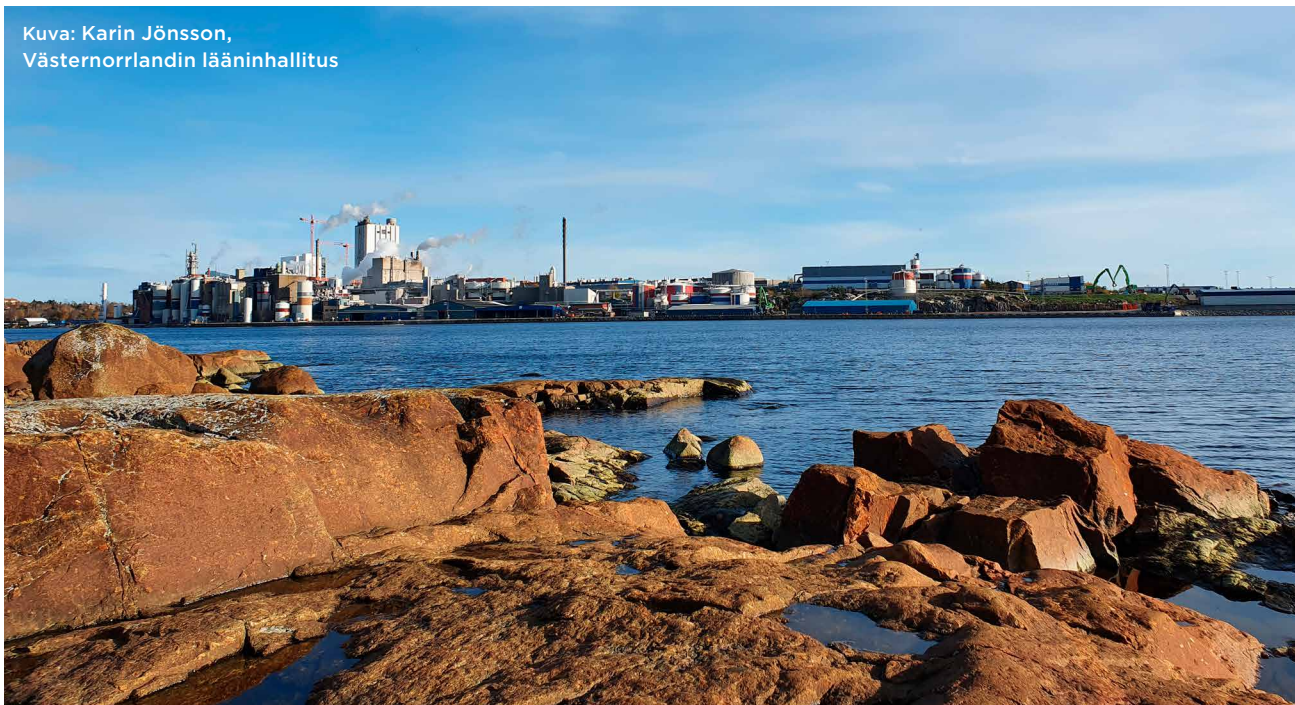


Kuva: Anniina Saarinen,
Västerbottenin lääninhallitus

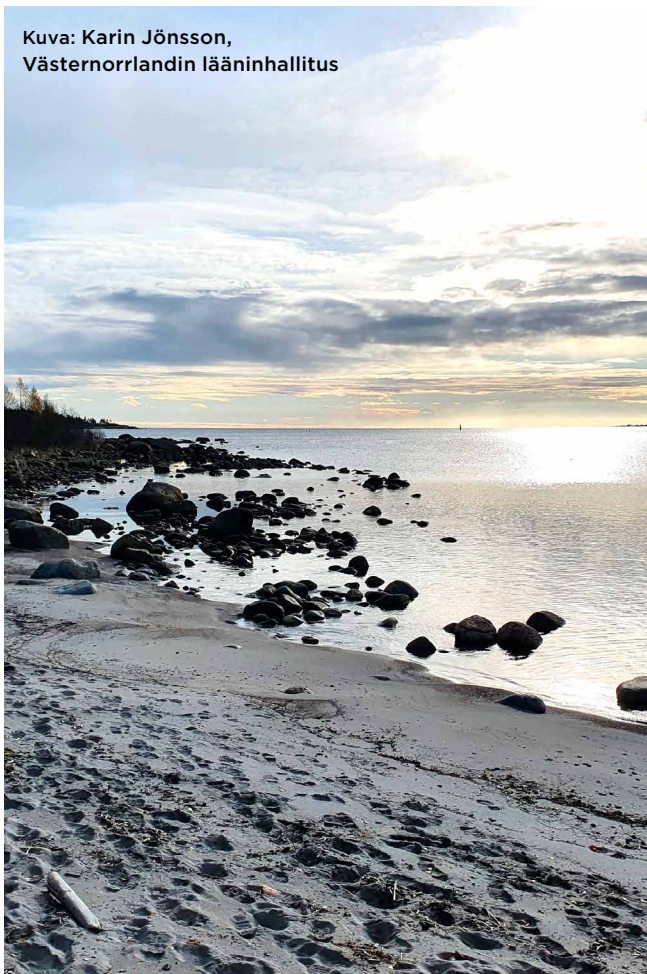


Yttre Täftefjärdenin pilottialue sijaitsee Ruotsissa ja on lahtimainen alue, joka sisältää monimuotoisia ja ekologisesti tärkeitä rannikon laguuneja. Näissä suojaisissa laguuneissa lisääntyvät useat kalalajit.

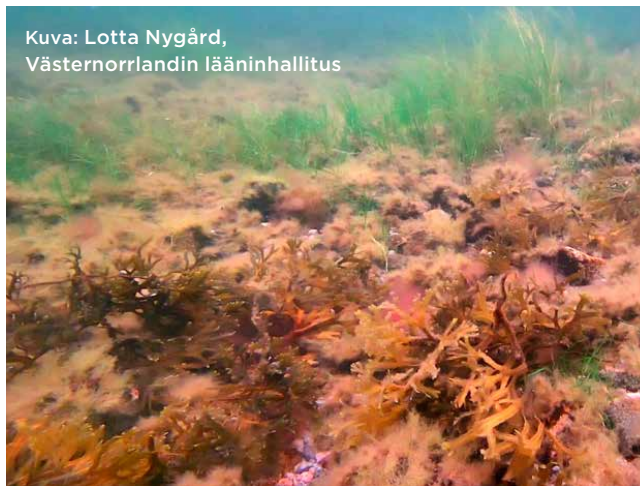
Kuva: Karin Jönsson,
Västernorrlandin lääninhallitus



Kuva: Karin Jönsson,
Västernorrlandin lääninhallitus



Kuva: Lotta Nygård,
Västernorrlandin lääninhallitus



Kuva: David Rocksén,
Västernorrlandin lääninhallitus



Husumbuktenin pilottialue on pieni lahtimainen alue lähellä manteretta Ruotsin puolella hankealuetta. Alueen luontotyypit koostuvat pääasiassa pehmeäpohjaiseen ympäristöön sopeutuneesta kasvillisuudesta ja eläimistöstä. Lahden alueella on myös teollista toimintaa.

3.2. Tulokset

Ekosysteemipalvelut nyt ja sadan vuoden päästä

Tässä osiossa käydään ensin läpi alueen ekosysteemipalveluiden yleiset muutokset. Arvioinnin kohteena olleet ekosysteemipalvelut jakavat tekstin lukuihin ja eri palveluiden nimet on lukuihin merkitty *kursiivilla*. Lukujen sisällä palveluiden arviointiin käytetyt indikaattorit on merkitty **lihavoituina**. Pilottialuekohtaiset tulokset esitetään yleisten tulosten jälkeen osiossa 3.2.4.

3.2.1. Yleiset muutokset tuotantopalveluissa

Tuotantopalvelut ovat suoria ihmisille saatavilla olevia hyötyjä, kuten kalasaaliit, vesi ja muut raaka-aineet. Yksi ilmastonmuutoksen varimmista tulevaisuuden vaikutuksista on veden lämpötilan nousu (HELCOM & Baltic Earth 2021; von Storch ym. 2015; ECONnect-raportti *Ilmasto ja lajien levinneisyys Pohjanlahden keskiosissa*). Lämpötilan nousu vaikuttaa tuotantopalveluihin sekä suoraan että välillisesti. Lajit ovat sopeutuneet tiettyihin ympäristöolosuhteisiin pitkän ajan kuluessa, kuten tiettyyn lämpötilan vaihteluväliin. Mutta vaikka laji sietäisikin uusia lämpötiloja, ilmastonmuutos saattaa vaikuttaa kielteisesti esimerkiksi lajin saalislajeihin tai lisääntymisolosuhteisiin. Tässä osiossa luetellaan tuotantopalveluiden yleiset muutokset, joiden odotetaan tapahtuvan kaikilla pilottialueilla.

Eläinperäinen tuotanto

Ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan useisiin kalalajeihin, ja joitain vaikutuksia on nähtävissä jo nyt (Pankhurst ym. 2011). Hankkeessa on pyritty selvittämään ilmastonmuutoksen vaikutuksia pilottialueilla kaupallisesti kalastettuihin kalalajeihin. Samalla olemme yrittäneet tehdä asiantuntijalausuntojen ja kirjallisuuslähteiden perusteella päteviä arvauksia siitä, mitkä lajit voivat olla tärkeitä kalastuksen kannalta tulevaisuudessa. Nykyään pilottialueilla kaupallisesti kalastettuja lämpimään veteen sopeutuneita kalalajeja ovat hauki, ahven, särkikalat sekä kuha (*Sander lucioperca*) (HaV 2020b; Luke 2021). Näistä lämpimän veden lajeista vain ahven katsotaan kaupallisesti merkittäväksi lajiksi, sillä hauen, särkikalajien ja kuhan saalismäärät ovat marginaalisia. Kylmään veteen sopeutuneet kalalajit muodostavat suurimman osan pilottialueiden kaupallisesta kalasaaliista. Näihin lajeihin lukeutuvat

lohi, siika, kuore (*Osmerus eperlanus*) ja silakka, vaikka saalisokojen välillä onkin suuria eroja eri pilottialueilla. Myös madetta (*Lota lota*) kalastetaan kaupallisesti, mutta vähäisemmässä määrin, ja taimenta (*Salmo trutta*) saadaan sivusaaliina ja sillä on näin vähäistä kaupallista arvoa (HaV 2020b; Luke 2021).

On tärkeää muistaa, että ihmistoiminta vaikuttaa kalastuksen ja kalakantojen tulevaisuuteen ilmastonmuutoksen lisäksi. On vaikeaa tietää tarkalleen mitä kalalajeja ja mihin tarkoituksiin 100 vuoden kuluttua pyydetään. Kalastusmenetelmät voivat olla erilaisia ja tiettyjen lajien kysyntä voi olla erilainen nykyisestä. Myös kalojen kutu- ja poikasalueilla tapahtuvat muutokset rakentamisen, ruoppausten ja muun ihmistoiminnan vuoksi vaikuttavat negatiivisesti useisiin kalalajeihin jo nykyään (Sundblad ym. 2014; Sundblad & Bergström 2014). Toisaalta elinympäristöjen ennallistaminen, luonnonsuojelu ja merialuesuunnittelu tunnustetaan keinoiksi torjua kalakantojen huonontumista tulevaisuudessa (Geist & Hawkins 2016; Ehler 2018; HELCOM & Baltic Earth 2021). Myös lajien väliset suhteet ja erityisesti luontaiset saalistajat vaikuttavat useisiin kalalajeihin, ja tällä on vaikutusta kaupallisesti tärkeiden kalalajien populaatiodynamiikkaan myös tulevaisuudessa (Hansson ym. 2018).

Hauki, ahven ja särkikalat ovat esimerkkejä kaloista, joihin rannikkoalueiden hyödyntäminen ihmistoiminnassa vaikuttaa negatiivisesti (Sundblad & Bergström 2014), mutta joihin ilmastonmuutos voi vaikuttaa myönteisesti, sillä niiden poikaset kehittyvät nopeammin lämpimämmässä vedessä (Härmä ym. 2008; Engstedt ym. 2010; Kokkonen ym. 2019). Tulevaisuudessa näiden lajien lisääntymisalueet voivat myös laajentua korkeampien veden lämpötilojen ja alhaisemman suolapitoisuuden ansiosta (MacKenzie ym. 2007), mikä lisäisi edelleen aikuisten kalojen populaatiokokoa (Sundblad ym. 2014). Myös kuha menestyy todennäköisesti myös lämpimämmässä ilmastossa ja tämän odotetaan vaikuttavan merkittävästi tuleviin populaatiokokoihin (Pekcan-Hekim ym. 2011). Kuha on ahvenen merkittävä saalistaja (Lehtonen ym. 1996) ja ilmastonmuutoksella voi tällä tavalla olla myös epäsuora negatiivinen vaikutus Pohjanlahden ahveniin kuhakannan lisääntymisen kautta. Myös, jos kolmipiikin (*Gasterosteus aculeatus*) populaatiot, joita myös korkeammat veden lämpötilat näyttävät suosivan, jatkavat kasvuaan, kuten Ruotsin Itämeren rannikolla tehdyt tutkimukset osoittavat (Ljunggren ym. 2010; Eriksson ym. 2011; Bergström ym. 2015), saattaa tällä on negatiivista vaikutusta ahvenen ja hauen populaatiokokoihin kolmipiikin saalistaessa niiden munia ja pieniä poikasia (Byström ym. 2015; Nilsson ym. 2019;

Eklöf ym. 2020).

Kylmempään veteen sopeutuneiden lajien tulevaisuus lämpenevässä ilmastossa näyttää ongelmallisemmalta. Yleisesti ottaen vesien lämpenemisen odotetaan vaikuttavan negatiivisesti kaikkiin lohikaloihin, jotka elinkaarensa aikana elävät sekä makeassa vedessä että meressä, kuten lohi ja meritaimen. Eteläisimmät populaatiot Itämerellä ja muualla maailmassa saattavat jopa kuolla sukupuuttoon (Jonsson & Jonsson 2009). Itämeren lohi- ja meritaimenkannat ovat olleet historiallisesti huonossa kunnossa jokien patoamisen, kalastuksen ja elinympäristöjen kehnon kunnan vuoksi. Näitä ongelmia on osittain ratkaistu kalastusrajoituksilla ja elinympäristöjen ennallistamisilla, mutta patojen luomat fyysiset esteet muodostavat edelleen vakavia uhkia luonnonpopulaatioille (Ignatius & Haapasaari 2018). Lisäksi ilmastonmuutos lisää niitä stressitekijöitä, jotka jo nyt vaikuttavat lohipopulaatioihin, mikä tekee lohikalosta alttiimpia esimerkiksi tartuntataudeille (Miller ym. 2014). Itämeren lohikantoihin kohdistuvien pitkäaikaisten haitallisten vaikutusten ja lajin korkean rahallisen arvon vuoksi istutuksella on ollut tärkeä rooli kantojen ylläpitämisessä (MMM 2015). Arvioimmekin istutusten jatkuvan runsaina myös tulevaisuudessa, mikä ainakin osittain auttaa lohipopulaatioihin kohdistuvien kielteisten tulevaisuuden vaikutusten hallinnassa ja odotamme siten lohikalojen saalismäärissä vain lievää vähenemistä pilottialueilla. Istutuksiin liittyy myös lajien genetiikan kannalta ongelmia ja yhteiskunnallisesti on myös havaittavissa painetta korvata istutuksia tehokkaammalla lisääntymisalueiden ennallistamisella sekä liikkumisesteiden eli patojen purkamisella tai paremmilla kalateillä tulevaisuudessa.

Merikutuisissa siikakannoissa on jo havaittavissa merkkejä lämpenemisen, jääpeitteen vähenemisen ja rehevöitymisen negatiivisesta vaikutuksesta (Veneranta ym. 2013). Siikakantojen odotetaan vähenevän pilottialueilla myös tulevaisuudessa. Made on punaisen listan laji Ruotsissa, ja sen odotetaan vähenevän tulevaisuudessa lämpenevien vesien ja muiden stressitekijöiden, kuten saastumisen ja happamoitumisen vuoksi (Stapanian ym. 2010). Silakkakantojen odotetaan aluksi hieman lisääntyvän vesien lämpenemisen vuoksi, mutta vain jos silakan kalastus on kestävällä tasolla (Bartolino ym. 2014). Silakkaan voi myös vaikuttaa negatiivisesti suolapitoisuuden väheneminen tai ruoan saatavuuden heikkeneminen (SmartSea 2018a; Engelhard & Heino 2006). Muikun (*Coregonus albula*) lisääntymisalueet rajoittuvat nykyään Pohjanlahden pohjoisimmille alueille oletettavasti etelän liian korkean suolapitoisuuden vuoksi (Veneranta ym.

2013). Jos ilmastonmuutoksen seurauksena suolapitoisuus alenee, voi muikku mahdollisesti lisääntyä hankealueella tulevaisuudessa. Muikkukantojen voidaan odottaa kasvavan hankealueella myös, jos silakkakanan koko pienenee (SmartSea 2018a). Tosin muikku suosii myös viileämpiä vesiä (Bergström ym. 2011), mikä saattaa rajoittaa sen esiintymistä hankealueen eteläisillä osilla tulevaisuudessa, vaikka suolapitoisuus putoaisikin lajille edullisemmalle tasolle.

Seuraavan 100 vuoden aikana pilottialueille odotetaan saapuvan pysyvä kanta ainakin kahdesta uudesta vieraslajista. Nämä ovat mustatäplätokko (*Neogobius melanostomus*) ja hopearuutana (*Carassius gibelio*), joita tavataan jo erityisesti Suomenlahdella ja Saaristomerellä. Tulevaisuudessa pilottialueille saapuvien vieraslajien määrä riippuu siitä, mihin toimenpiteisiin vieraslajien leviämisen suhteen Itämeren alueella ryhdytään esimerkiksi laivojen painolastivesien kautta. Vaikka vieraslajien pelätään vaikuttavan negatiivisesti alkuperäiseen lajistoon kilpailun ja saalistuksen kautta, uusien vieraskalalajien leviäminen ei ole vielä johtanut kotoperäisten lajien häviämiseen, vaikka ne voivatkin aiheuttaa muutoksia kotoperäisten lajien populaatiokokoihin. Huolimatta vieraslajien aiheuttamista uhista on myös mahdollista, että vieraslajeja voidaan kalastaa ja käyttää kaupallisesti hyödyksi, kuten ihmisiravintona. Mustatäplätokkoa kalastetaan jo sekä kaupallisesti että virkistyskalastuksessa esimerkiksi Latviassa ja Venäjällä (ICES 2019). Myös haitallinen vieraslaji kyttyrälohi (*Oncorhynchus gorboscha*) on viime aikoina havaittu Ruotsin länsirannikolla sekä Jyllannissa Tanskassa, ja on myös vaarana, että laji jatkaa edelleen leviämistään Itämereen (Petersson ym. 2018). Toisaalta Venäjä on myös pyrkinyt aiempina vuosina istuttamaan lajia Itämereen, ja toistaiseksi murtovesialueille tehdyt istutukset eivät ole olleet kovin onnistuneita, mikä antaa toivoa tulevaisuudesta.

Yhteenvedon voidaan todeta, että indikaattorit **kylmän veden kalasaaliit** sekä **tärkeimmät markkinalajien saaliit**, jotka pilottialueilla koostuvat pääasiassa kylmään veteen sopeutuneista kalalajeista, laskevat todennäköisesti tulevaisuudessa. Sen sijaan indikaattorin **lämpimän veden kalasaaliit**, kuten mm. ahvenen, hauen, kuhan ja särkikalajien määrän odotetaan lisääntyvän lämpenevän veden myötä. Siksi on mahdollista, että tulevaisuudessa joistakin lämpimän veden lajeista voi muodostua kalastuksen kannalta keskeisiä markkinalajeja, kun taas osaa kylmän veden lajeista saatetaan kalastaa tulevaisuudessa vähäisemmässä määrin. On kuitenkin tärkeää muistaa, että ekologiset prosessit ovat monimutkaisia ja esimerkiksi lämpimän veden kalojen saalislajeihin ilmastonmuutos

voi vaikuttaa negatiivisesti ja johtaa siten välillisesti negatiivisiin vaikutuksiin myös lämpimän veden kalapopulaatioissa. Vieraslajit mustatäplätokko ja hopearuutana ovat sisällytetty mukaan indikaattoriin lämpimän veden kalasaaliit, koska ei ole selvää näyttöä, että ne vahingoittaisivat kotoperäisiä lajeja. Näin kalasaaliiden kannalta niistä voi olla hyötyä ihmisille. Ekologisesti vieraslajien leviäminen uusille alueille on kuitenkin aina negatiivista ja näin ollen niiden leviäminen on arvioitu negatiivisena palvelussa ”lisääntymis- ja poikasalueiden ylläpito” indikaattorin ”lämpimän veden kalalajien lisääntymis- ja poikasalueet” alla.

Kasviperäinen tuotanto (kasvit ja levät)

Hankealueen rannikolla tyrni (*Hippophaë rhamnoides*) on ainoa merkittävä taloudellisesti hyödynnetty kasvilaji. Se kasvaa karuilla ja avoimilla rannikkoalueilla, joissa se saa paljon suoraa auringonvaloa. Laji esiintyy luonnostaan myös lämpimämmässä ilmastossa (GBIF 2021), joten ilmastonmuutoksen myötä kohoava keskilämpötila ei todennäköisesti aiheuta uhkaa lajille hankealueella. Lajiin haitallisesti vaikuttavista suorista tai epäsuorista ilmastonmuutoksen seurauksista ei ole selvää tietoa, vaikkakin jää voi mahdollisesti hyödyttää lajia. Tyrni kestää hyvin jään raapivaa vaikutusta, kun taas jää poistaa kilpailevaa kasvillisuutta, joten jääpeitteen väheneminen tulevaisuudessa voi vaikuttaa tyrniin negatiivisesti. Tämä ei kuitenkaan ole täysin selvä yhteys, ja ilmaston lämpenemisen ja kasvukauden pitenemisen vuoksi (von Storch ym. 2015; Christidis ym. 2007) arvioimme kuitenkin tyrnin **sadon** hieman kasvavan tulevaisuudessa (Asiantuntijaryhmä 2020). Pilottialueista lajia esiintyy merkittävässä määrin vain Utgrynnan-Molpehällornan alueella.

Vesiviljely, ja pintaveden käyttö

Sekä Ruotsin että Suomen kansallisten strategioiden mukaan **kalanviljelyn** odotetaan lisääntyvän tulevina vuosina (mm. YM 2016, 2020; HaV 2020a). Maailmanlaajuisesti viljellyn kalan kysyntä on korkea, sillä monet luonnonvaraiset kalakannat ovat liikakalastettuja (Hilborn ym. 2003) ja samalla ihmiskalastus kasvaa (YK 2010). Nykyään jo 40 % kaikesta ihmisen suoraan syömästä kalasta on peräisin kalanviljelylaitoksilta (Goldburg & Naylor 2005). Valitettavasti viljeltyjä kaloja ruokitaan usein luonnonvaraisista kaloista tuotetulla rehulla, mikä osaltaan vaikuttaa negatiivisesti luonnonvaraisiin kalakantoihin maailmanlaajuisesti. Lisäksi kalanviljely on useiden muiden ympäristöongelmien aiheuttaja, kuten elinympäristöjen tuhoutumisen, taudinaiheuttajien leviämisen ja rehevöitymisen (Naylor ym. 1998). Odotamme kuitenkin kalanviljelyn lisääntyvän pilottialueillamme EU:n sinisen talouden toimintaohjelman sekä molempien maiden kansallisten strate-

gioiden vuoksi. On epäselvää, miltä kalanviljely näyttää tulevaisuudessa ja tapahtuuko se merellä vai rannikoilla suljetuissa systeemeissä, mutta odotamme, että 100 vuoden päästä kalanviljelymenetelmät ovat ympäristöystävällisempiä teknologisen kehityksen ansiosta. Mikäli kalanviljelyä aiotaan tulevaisuudessa harjoittaa maalla, **meriveden käyttö** näihin järjestelmiin lisääntyy. Arvioimme myös, että kalanviljelylaitoksissa **viljeltävien kalalajien määrät** kasvavat tulevaisuudessa kalatuotteiden kysynnän ja lämpimämmän veden ansiosta, mikä mahdollistaa uusien lajien käytön kalanviljelyssä. Koska merellä tapahtuva vesiviljely on viime vuosina lopetettu hankealueen Ruotsin puolella ympäristösyistä, on odotettavissa, että erityisesti siellä kalanviljelyn lisääntyminen tapahtuu maalla sijaitsevilla suljetuissa järjestelmissä. Husumbuktenin pilottialueella meriveden käyttö voi myös lisääntyä tulevaisuudessa, mikäli alueen teollinen toiminta lisääntyy.

Eläin- ja kasviperäiset kuidut ja muut luonnonmateriaalit raaka-aineena

Tulevaisuudessa on mahdollista, että käytämme materiaaleja kasveista, levistä tai eläimistä tavoilla, joita on vaikea kuvitella nykyhetkessä. Meren eliöitä tutkitaan maailmanlaajuisesti uusien lääkkeiden, luonnontuotteiden ja yhdisteiden lähteinä (Munro ym. 1999; Faulkner 2001; Mazur-Marzec ym. 2014). Suomessa ja Ruotsissa järviruokoa on perinteisesti käytetty kattomateriaalina ja runsaana ja yleisenä kasvina, järviruokoa voisi olla mahdollinen materiaali lähde myös tulevaisuudessa (Dervishi & El-Zoubi 2012). Jo nyt järviruokoa nähdään mahdollisena turpeen korvikkeena kasvualustana puutarhoilla ja marjaviljelmillä ja sen rahallinen arvo saattaa nousta tulevaisuudessa (John Nurminen Säätiö 2021). Nykyään sinisen kasvun tavoittelussa nähdään myös suuri potentiaali uusissa kala- ja mikrolevätuotteissa (Ahvonen ym. 2019; Latokartano 2018). Kalatalouden innovaatio-ohjelmassa on kartoitettu laajasti uusia mahdollisia tapoja käyttää kalamateriaalia tulevaisuuden elintarvikkeissa ja muissa tuotteissa (Ahvonen ym. 2019). Nykyään suuri osa silakkasaaliista Suomessa ja Ruotsissa käytetään rehuna, mutta kalamateriaalin käyttömahdollisuuksia nähdään tulevaisuudessa lääketieteeseen, kosmetiikkaan ja uusien elintarvikkeiden saralla, jolloin tuotteiden korkeampi käsittelyaste voisi johtaa parempaan tuottoon (Ahvonen ym. 2019). Luonnonvaraisten kalojen laajamittainen käyttö eläinten rehuna ei ole kestävää ja siksi on parempi, että tulevaisuudessa käyttö keskittään ihmisravinnoksi ja laadukkaampiin jalostettuihin tuotteisiin, jotka on valmistettu kestävästi. Odotamme, että Itämeri pilottialueineen on todennäköisesti kasvava lähde **sinisille tuotteille** tulevaisuudessa.

3.2.2. Yleiset muutokset säätelypalveluissa

Perustuotanto ja ravinteiden kierrätys ovat esimerkkejä säätelypalveluista (Inácio ym. 2018; Haines-Young & Potschin 2012). Nämä palvelut koostuvat ekosysteemi prosesseista, jotka ylläpitävät elämälle suotuisia ympäristöolosuhteita. Alla on lueteltu yleiset muutokset säätelypalveluissa, joiden odotetaan tapahtuvan kaikilla pilottialueilla.

Ekosysteemien ja lajien tuottama suodatus/varastointi/kasautuminen

Huomattavat muutokset ympäristöolosuhteissa vaikuttavat lajien ja ekosysteemien kykyyn suodattaa, sitoa ja varastoida erilaisia aineita (esim. ravinteita), sekä muuttavat ekosysteemeissä orgaanisen aineen kiertoa ja ravintoverkkojen toimintaa. BSAP:n mukaiset ravinteiden vähennystavoitteet vaikuttavat jatkossa toteutuessaan hankealueen kokonaisravinnemääriin, mikä tulee heijastumaan laajasti ekosysteemien toimintaan. Tässä hankkeessa käytettyjen tulevaisuusmallien mukaan kasviplanktonin kokonaistuotannon odotetaan laskevan tulevaisuudessa. Samanlaisia mallinnettuja tulevaisuuden muutoksia havaitsivat Meier ym. 2012. Suurimman laskun odotetaan tapahtuvan piilevien ja panssarilevien tuotannossa. Kasviplanktonin tuotanto muodostaa suurimman osan vuotuisesta perustuotannosta ja se tukee pelagisten ja pohjaeläinten sekundäärituotantoa (esim. Hjerne ym. 2019; Zdon ym. 2021). **Perustuotannon** vähenemisellä odotetaan olevan myönteinen vaikutus Pohjanlahden keskiosien ekosysteemeihin, sillä matala pelaginen perustuotanto on luonnostaan tyypillistä Pohjanlahdella. Myös **typensidonnan** odotetaan vähenevän tässä hankkeessa käytettyjen tulevaisuusmallien mukaan. Tämä muutos liittyy ilmiöön, jossa vähemmän rehevöitynyt meren tila johtaa korkeampaan N/P-suhdelukuun (eli typen ja fosforin suhdelukuun) ja tästä johtuen typensidonnan heikkenemiseen (Friedland ym. 2012). Typensidonnasta pääasiassa vastuussa olevat sinilevät voivat käyttää liuenutua epäorgaanista typpeä (DIN) ja siirtyä typensidontaan, kun DIN-lähteiden saatavuus vähenee (esim. Agawin ym. 2007). Typensidonnan vähenemisellä katsotaan olevan myönteinen vaikutus ekosysteemitasolla, koska sen myötä ylimääräisten ravinteiden kertyminen veteen vähenee edelleen.

Sinisimpukalla (*M. trossulus x edulis*) on tärkeä rooli veden suodattamisessa ja poistamisessa tehokkaasti ravinteita ja haitallisia aineita vedestä (Viitasalo ym. 2017). Koska meriveden suolapitoisuuden odotetaan laskevan tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen vuoksi, hankealueen pohjoisimmat sinisimpukkapopulaatiot

todennäköisesti tulevat kärsimään tai jopa häviämään. Lisäksi tässä hankkeessa käytetyt lajien levinneisyysmallit ennustavat sinisimpukoille soveltuvien alueiden merkittävää vähenemistä myös hankealueen eteläosissa matalan suolapitoisuuden ja korkean lämpötilan yhteisvaikutuksen vuoksi. Tämä johtaisi **sinisimpukoiden suodatuskapasiteetin** laskuun hankealueella tulevaisuudessa. Ekosysteemitasolla vaikutuksen odotetaan olevan negatiivinen, ei vain heikentyneen suodatuskapasiteetin vuoksi, vaan myös siksi, että sinisimpukat ovat tärkeä elinympäristö ja ravinnonlähde muille lajeille (esim. Zander ym. 2015; Kautsky 1981).

Erosion hallinta

Tärkeimmät rannikon geomorfologiaa muuttavat tekijät ovat merenpinnan muutokset, aallokot ja virtaukset, myrskyaallot, talviset jääolosuhteet ja rannan rakenteellinen kestävyys eroosiolle (von Storch ym. 2015). Nämä tekijät ovat vastuussa sekä rannikolla tapahtuvasta eroosiosta että aineen kasautumisesta. Ilmastonmuutoksen vaikutuksen tunnistaminen merialueiden geomorfisiin muutoksiin on haastavaa ja vaikutus myös vaihtelee alueellisesti riippuen mm. rannan altistuksesta avomereltä tuleville voimille. Aallokoiden odotetaan lisääntyvän Itämeren pohjoisosassa tulevaisuudessa, kun merijään laajuus ja kesto vähenevät ilmaston lämpenemisen myötä (von Storch ym. 2015; Saraiva ym. 2019; SmartSea 2018b). Tämä lisää veden rannikkoalueisiin kohdistavaa rasitusta ja vaikuttaa kokonaiseroosioon. Merijää vaikuttaa rannikon eroosioon kuitenkin myös, sillä jää raapii ja muokkaa matalia pohja-alueita ja kasaa materiaalia uusille alueille vuosittain. Näin ollen jään vaikutus eroosiovoimana vähenee, mutta aallokoiden vaikutus lisääntyy tulevaisuudessa. Arvioimme siis, että eroosion liikkeellepaneva voima muuttuu tulevaisuudessa, mutta on vaikea arvioida, kuinka tämä vaikuttaa eroosion kokonaissuuruuteen (Łabuz 2015). Lisäksi pohjoisella Itämerellä maankohoamisen odotetaan edelleen ylittävän merenpinnan nousun vielä sadan vuoden päästä, joten merenpinnan nousuun liittyvää eroosiota ei ole odotettavissa hankealueella. Matalien rannikkoalueiden rakenteellisella kestävyydellä eroosiolle on myös erittäin tärkeä rooli. Hankealueen matalia pohja-alueita hallitsevat juurtuneet makrofyytit, kuten vidat, ärviät ja järviruoko. Stabiloimalla sedimenttejä, vähentämällä eroosiota ja veden sameutta laaja-alainen kasvillisuus parantaa veden laatua ja vähentää kokonaisuudessaan rannikkoalueiden eroosiota (Madsen ym. 2001). Hankkeen lajien levinneisyysmallien mukaan **makrofyttien hallitsemien vedenalaisten elinympäristöjen** laajuuden odotetaan kasvavan hieman lämpimämpien vesien, lisääntyneen valon läpäisevyyden (BSAP) ja jään vähenemisen

myötä tulevaisuudessa, ja vaikutuksen arvioidaan olevan positiivinen ekosysteemitasolla.

Materiaalivirtojen puskurointi ja hallinta

Tämä palvelu kuvaa materiaalivirtoja ekosysteemeissä. Kun kasviplanktonia eivät kuluta muut vapaassa vesipatsaassa elävät eliöt, se uppoaa ja kerääntyy merenpohjaan, jossa pohjaeliöstö ja bakteerit syövät ja hajottavat siitä osan. Liiallinen sedimentaatio voi vaikuttaa kielteisesti ekosysteemiin, koska merenpohja voi muuttua hapettomaksi liiallisen orgaanisen aineen ja mikrobien hajottamisprosessien vuoksi ja tappaa siten pohjalla elävät eliöt (Bianchi ym. 2000). Eri kasviplanktonryhmistä piilevät ovat usein hallitseva lajiryhmä vesipatsaassa (Carstensen ym. 2015) ja suuri osa piilevistä päättyy sedimentaation kautta merenpohjaan (Heiskanen & Kononen 1994). Tässä hankkeessa käytettyjen ilmastomallien ja ravinteiden vähennystavoitteiden (BSAP) mukaan piilevien ja panssarilevien määrä laskee tulevaisuudessa, mikä saattaa johtaa sedimentaation vähenemiseen. Sedimentaation vähenemisellä odotetaan olevan lievä myönteinen vaikutus hankealueella tulevaisuudessa, koska merenpohjan hapettomuuden kehittymisen riski on pienempi. On myös muita sedimentaatioon vaikuttavia tärkeitä tekijöitä, kuten jokien valunnan sedimenttikuorma. Pohjois-Euroopan sateiden odotetaan lisääntyvän ilmastomuutoksen seurauksena, mutta on edelleen kiistanalaista, miten tämä vaikuttaa jokien valuntaan vuotuisesti, kun samalla haihdunnan odotetaan lisääntyvän runsaasti (von Storch ym. 2015). Tässä hankkeessa käytetyt ilmastomallit ennustavat vuotuisen valunnan lievää kasvua. Tärkeämpää on kuitenkin se, että vuotuisten valuntasykliä odotetaan muuttuvan huomattavasti alueilla, joilla tällä hetkellä on lumen sulamisesta johtuvia voimakkaita kevättulvia (von Storch ym. 2015; Sonnenborg 2015; Lotsari ym. 2010). Tulevaisuuden ilmastossa kevättulvat todennäköisesti aikaistuvat ja niiden suuruus pienenee lumisateen vähentymisen ja lumen kertymisajan lyhenemisen vuoksi. Tästä johtuen jokien merkittävä sedimentin kokonaiskuljetus todennäköisesti vähenee, kun tulvahuippujen eroosiovoima pienenee (von Storch ym. 2015; Lotsari ym. 2010). Näistä useista syistä johtuen vuotuisen **sedimentin kertymisnopeuden** odotetaan laskevan tulevaisuudessa, millä on myönteinen vaikutus ekosysteemitasolla.

Tulvahallinta ja -suojelu

Tulevaisuuden tuuliennusteiden tulokset vaihtelevat suuresti tutkimusten välillä (von Storch ym. 2015). Yhteinen piirre monille tuulimallinuksille on kuitenkin tuulen nopeuden lisääntyminen merialueilla, jotka ovat talvisin jään peitossa nykyisessä ilmastossa, mut-

ta eivät tulevaisuudessa. Merkitsevä aallonkorkeus, eli korkeimman aaltokolmanneksen (33 %) keskiarvo, riippuu alueellisista tuulioloista ja meren virtauksista. Koska tulevaisuuden tuuliennusteissa on paljon epävarmuutta, on myös aalto-olosuhteita vaikea arvioida luotettavasti. Kuitenkin erityisesti pohjoisella Itämerellä jääpeitteen vähenemisen odotetaan lisäävän merkitsevää aallonkorkeutta, mikä kasvattaisi vuosittain rannikkoalueiden tulvien todennäköisyyttä (von Storch ym. 2015; SmartSea 2018b; HELCOM & Baltic Earth 2021). Lisäksi Perämerelle on ennustettu suhteellisesti suurempia muutoksia merkitsevässä aallonkorkeudessa kuin Selkämerelle (SmartSea 2018b). Näin ollen hankealueella **merkitsevän aallonkorkeuden** odotetaan keskimäärin kasvavan ja tällä on negatiivinen vaikutus ”tulvahallinnan”-ekosysteemipalveluun. Tulevaisuudessa tulvien ja korkeiden aaltojen aiheuttamat vahingot vaikuttavat todennäköisesti enemmän rannikkoalueiden rakennuksiin ja muuhun infrastruktuuriin.

Lisääntymis- ja poikasalueiden ylläpito

Riittävien tuotantopalvelujen, kuten elinvoimaisten kalakantojen, turvaamiseksi ekosysteemeissä on oltava hyvät edellytykset lajien lisääntymiseen ja poikasvaiheiden kehittymiseen ja kasvuun. Veden valon läpäisevyyttä mitataan Secchi-syvyytenä ja se toimii vesistön trofisen tilan mittarina. Tämä mittaustapa heijastaa vedessä ravinteiden määrää, a-klorofylli-pitoisuutta ja orgaanisten aineiden määrää. Pääasialliset ympäristötekijöihin liittyvät uhat kalojen lisääntymiselle johtuvat rehevöitymisestä ja korkeasta DOM- (liuennut orgaaninen aines) ja POM-pitoisuudesta (hiukkasmaainen orgaaninen aines) vedessä, mikä voi suoraan tai epäsuorasti muuttaa ravinto-olosuhteita, suhteellisia happipitoisuuksia ja sedimentaatiota, jotka voivat häiritä kutua sekä alkio- ja poikaskehitystä (Winfield 2004; Leach ym. 1977). Tässä hankkeessa käytettyjen mallien mukaan **Secchi-syvyys** kasvaa tulevaisuudessa hieman Husumbuktenin ja Utgrynnan-Molpehällornan pilottialueilla ja pysyy samana Yttre Täftejärdenissä. Alueiden väliset erot liittyvät malleissa vesistöalueiden välillä vaihteleviin jokien valuntaennusteisiin. Yleensä joen valunnan väheneminen johtaisi Secchi-syvyyden kasvamiseen, koska jokivesi kuljettaisi valuma-alueelta vähemmän ravinteita ja humusaineita mereen, mikä johtaisi kirkkaampiin vesiin (Paczkowska ym. 2020). Tässä hankkeessa käytetyissä malleissa valunnan kuitenkin odotetaan kasvavan hieman tulevaisuudessa. Näin ollen tulevaisuuden Secchi-syvyyden odotettu kasvu on useiden tekijöiden summa: BSAP:n mukaiset pienenevät ravinnepitoisuudet, vähemmän perustuotantoa ja vähemmän a-klorofylliä vedessä. Kaiken kaikkiaan veden

valon läpäisevyyden kasvulla on myönteinen vaikutus ekosysteemitasolla.

Biologinen monimuotoisuus vähenee maailmanlaajuisesti. Tämä suuntaus tulee myös jatkumaan, ellei tiukempiin toimenpiteisiin ryhdytä elinympäristöjen pilaantumisen ehkäisemiseksi ja vähentämään yleisiä ihmistoiminnasta aiheutuvia negatiivisia luontovaiikutuksia (Worm ym. 2006; Kontula & Raunio 2018). Itämerellä, jonka monimuotoisuus on luonnostaan pienempi kuin valtamerien, lajien häviämällä voi olla suuri vaikutus ekosysteemeihin (Dahl ym. 2013). Useat aiemmin yleiset lajit ja luontotyytit ovat vähenemässä (Eide ym. 2020; Hyvärinen ym. 2019; Kontula & Raunio 2018), joten arvioimme, että uhanalaisia lajeja esiintyy pilottialueilla enemmän tulevaisuudessa. Toisin sanoen odotamme, että **punaisen listan lajien määrä** todennäköisesti lisääntyy tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen ja muiden ihmisvaikutusten rasittamissa ekosysteemeissä. On tärkeää huomata, että tämä muutos johtuu aiemmin elinvoimaisten ja silmälläpidettävien lajien vähenemisestä, ei uusien, harvinaisten lajien ilmaantumisesta alueelle. Samoin **vedenalaisten ja rantojen elinympäristöjen monimuotoisuuden** odotetaan vähenevän hieman tässä hankkeessa käytettyjen mallien mukaan lämpimämpien vesien ja suolapitoisuuden laskun vuoksi. Lajien ja elinympäristöjen monimuotoisuuden väheneminen saattaa aiheuttaa muutoksia mm. ravintoverkoissa ja lajien välisissä vuorovaikutussuhteissa (Gray ym. 2014), ja heikentää ekosysteemien mahdollisuuksia ylläpitää elinvoimaisia kalojen lisääntymis- ja poikasalueita. Odotamme myös hankealueelle saapuvan tulevaisuudessa uusia vieraslajeja, jotka pahimmassa tapauksessa vaikuttavat kotoperäisten lajien elinoloihin ja lisäävät luonnon monimuotoisuuden vähenemistä.

Hankkeessa arvioimme, että ilmastonmuutoksella on kohtalainen negatiivinen vaikutus **kylmän veden kalalajien lisääntymis- ja poikasalueisiin** veden lämpenemisen vuoksi. **Lämpimän veden kalalajien lisääntymis- ja poikasalueet** sen sijaan voivat lisääntyä meriveden lämpenemisen seurauksena (MacKenzie ym. 2007). Ilmastonmuutoksesta johtuvien mahdollisten kalastovaikutusten torjumiseksi ja lieventämiseksi arvioimme, että kylmän veden kalojen lisääntymis- ja poikasalueiden suojelua lisätään tulevaisuudessa runsaammin ja lämpimän veden kalojen osalta suojelua lisätään hieman (**% suojelluista lisääntymis- ja poikasalueista**). Tutkimukset osoittavat, että lisääntymis- ja poikasalueiden määrä korreloi rannikon petokalakantojen koon kanssa (Sundblad ym. 2014), ja että elinvoimaiset kalakannat tarvitsevat suurempia suojelualueita riittävin rajoituksin (IUCN 2016).

Tuholaisten ja vieraslajien hallinta

Haitalliset leväkukinnat esiintyvät Itämerellä pääosin kesällä ja alkusyksystä ja koostuvat syanobakteereista eli sinilevistä, jotka voivat tuottaa mm. ihmisille, muille nisäkkäille ja kaloille myrkyllisiä aineita veteen (Karjalainen ym. 2007; Jonasson ym. 2010). Sinilevät hyötyvät yleisesti korkeammista veden lämpötiloista, veden lämpötilakerrostuneisuudesta, korkeista ravinnepitoisuuksista ja alhaisesta N/P-suhdeluvusta (typpi/fosfori), mikä antaa niille kilpailuedun muihin kasviplankton ryhmiin nähden (Wagner & Adrian 2009). Tässä hankkeessa käytetyt ilmastomallit ennustavat, että sinilevien tuotanto tulee tulevaisuudessa hieman lisääntymään vesien lämpenemisen vuoksi jopa BSAP:n mukaisilla ravinnevähennyksillä. Lisäksi Selkämerellä ja Perämerellä sinilevien kevätukinnan on arvioitu alkavan 2100-luvun tienoilla nykyistä noin kuukautta aikaisemmin lämpimämpien keväiden ja jääpeitteen vähenemisen vuoksi (Neumann 2010). Vaikka kaikki sinilevät eivät tuota myrkyjä (Stal ym. 2003), **haitallisten sinileväkukintojen** riski kasvaa, kun vedessä on enemmän sinileviä. Lisäksi toksiineja tuottavien sinilevien on osoitettu hyötyvän suoraan ilmastonmuutoksen aiheuttamista muutoksista vesiekosysteemeissä muihin kasviplanktonryhmiin verrattuna, kuten vuodenaikojen ja vuotuisten sääilmiöiden muutoksista, lämpötilan noususta ja lisääntyneestä vertikaalisesta veden lämpökerrostumisesta (Paerl & Huisman 2009). Haitallisten leväkukintojen näkökulmasta ilmastonmuutoksen odotetaan vaikuttavan negatiivisesti ”tuholaisten ja vieraslajien hallinta” -ekosysteemipalveluun. Tulevaisuudessa odotamme myös lisää vieraslajeja (**vieraslajien esiintyminen**) hankealueellemme veden lämpötilojen noustessa. Vieraslajit voivat aiheuttaa ympäristöhaittoja tai taloudellisia haittoja. Ne voivat uhata luonnon monimuotoisuutta kilpailemalla kotoperäisten lajien kanssa tai saalistuksen kautta, ja ne voivat levittää uusia taudinaiheuttajia alueelle (Leppäkoski ym. 2002; Occhipinti-Ambrogi 2007; Gollash ym. 2015). Vieraslajit sietävät usein vaihtelevia ympäristöolosuhteita hyvin ja ilmastonmuutoksen oletetaan suosivan niitä (Dukes & Mooney 1999; Jones & Cheung 2015; Holopainen ym. 2016). Lisäksi satoja aluksia purjehtii Itämerelle ja sieltä pois päivittäin ja suuri osa vieraslajeista löytää tiensä Itämerelle laivojen painolas-tivesien kautta, ja merireittien jatkuva käyttö lisää myös vieraslajien leviämisen todennäköisyyttä (Leppäkoski ym. 2002). Odotamme siis vieraslajien määrän lisääntyvän tulevaisuudessa ja ennakoimme siten negatiivisia vaikutuksia ekosysteemiin.

Biogeokemialliset prosessit

Tämä palvelu kuvaa biogeokemiallisia prosesseja vedessä ja pohjasedimentin pinnalla. Veden viipymä

on teoreettinen aika, jonka kuluessa vesistösystemin vesivarasto uusiutuu kertaalleen. Itämerellä veden viipymä on noin 30–40 vuotta. Veden viipymä vaikuttaa myrkyllisten yhdisteiden ja ravinteiden kiertoon. Pitkä veden viipymä tarkoittaa, että nämä yhdisteet kiertävät meressä tai merialueella pitkään (Snoeijis & Andrén 2017). Veden viipymään vaikuttavat monet tekijät, mikä tekee indikaattorin tulevaisuuden muutoksen arvioinnista epävarmaa. Ilmaston lämpeneminen ja talven jääpeitteen väheneminen lisäävät tuulista aiheutuvaa veden pintavirtausta talvella, kun taas kesällä lämpeneminen lisää veden kerrostumista, mikä taas vähentää pintaveden virtausta ja pidentää viipymäaika (Asiantuntijaryhmä 2020). Jääpeitteen vähenemisen ja merijääkauden lyhenemisen vuoksi odotamme kuitenkin kokonaisvaikutuksen näkyvän lievästi **veden viipymän** lyhenemisenä hankealueella tulevaisuudessa (Asiantuntijaryhmä 2020), ja tämän odotetaan vaikuttavan positiivisesti meren ekosysteemiin, sillä ylimääräiset ravinteet ja myrkylliset yhdisteet kiertävät merialueelta pois hieman nopeammin.

Tiedot ilmastomuutoksen ja muiden ihmisen toimien tulevaisuuden vaikutuksista Itämeren sedimentin biogeokemiallisiin prosesseihin ovat vielä melko rajallisia ja arviot epävarmoja (von Storch ym. 2015). Tulevaisuuden denitrifikaatiota BSAP:n ravinnevähennysten mukaisesti pahimmassa ilmastoskenaariossa on kuitenkin mallintaneet Meier ym. (2012) Itämerelle. Heidän mallinsa ennustivat, että **denitrifikaation tehokkuus** paranee hieman BSAP:n ravinnevähennysten ansiosta vuoteen 2099 mennessä ilmaston lämpenemisestä huolimatta (ks. myös Friedland ym. 2012 vastaavista tuloksista). Lisäksi tässä hankkeessa käytetty biogeokemiallinen malli ennustaa denitrifikaation tehokkuuden lievästi kasvua hankealueella. Tämä tarkoittaisi, että ravinnetasoihin nähden denitrifikaatio on tehokasta, jolloin NO_3 pelkistyy typpikaasuksi N_2 , ja siten biologisesti saatavilla oleva tyyppi poistuu vesiekosysteemistä. Paremmalla denitrifikaation tehokkuudella odotetaan olevan myönteinen vaikutus ekosysteemitasolla, sillä BSAP:n mukaisilla ravinnevähennyksillä ravinteiden kierron oletetaan lähentyvän Pohjanlahden luonnollista ravinnekiertoa.

Veden kemialliset olosuhteet

BSAP:n mukaiset ravinteiden vähennystavoitteet tulevat toteutuessaan vaikuttamaan hankealueen veden ravinnetasapainoon ja muuttamaan nitraatin (NO_3 pintavedessä), ammoniumin (NH_4 pintavedessä) ja fosfaatin (PO_4 pintavedessä) pitoisuuksia kasvukauden aikana. Hankkeessa käytettyjen mallien mukaan tulevaisuudessa **ammonium-** ja **fosfaattipitoisuudet** tulevat vähenemään vertailujaksoon verrattuna.

Arvioimme tällä yleisellä ravinnetason laskulla olevan positiivisia vaikutuksia alueen ekosysteemeihin. Veden **nitraattipitoisuuden** puolestaan odotetaan kohoavan fosforin pitoisuuksien voimakkaamman laskun myötä, mikä tarkoittaa, että kasviplanktonin kasvua rajoittaa fosfori ja näin ollen veteen kertyy ylimääräistä tyyppiä. Ravinnetasot ovat vaihdelleet Pohjanlahdella viime vuosikymmeninä, mutta keskimääräiset ravinnetasot eivät ole muuttuneet kovin rajusti mallien vertailujakson (1976-2005) ja nykyisen ajan (2010-2020) välillä, mikä antaa jonkin verran lisää luotettavuutta mallinnetuille arvoille. Selkämereen päätyy tällä hetkellä myös ravinnepitoista vettä Itämeren pääaltaalta (Rolff & Elfving 2015) ja mikäli BSAP:n mukaiset ravinnevähennykset toteutuvat tulevaisuudessa koko Itämerellä, mukaan lukien Itämeren pääallas, ravinnevähennysten hyödylliset vaikutukset tulevat heijastumaan laajoille merialueille.

Suolapitoisuuden odotetaan tulevaisuudessa laskevan hieman hankealueella mallien mukaan lähinnä lisääntyneen sateisuuden ja valunnan muutosten vuoksi. Odotamme siksi lievästi negatiivista vaikutusta ekosysteemitasolla, sillä merilajit elävät jo nyt sietokykynsä rajalla alhaisen suolapitoisuuden vuoksi, joten pienetkin muutokset voivat muodostaa uhkia lajeille. On kuitenkin tärkeää huomata, että suolaisuusennusteissa on paljon epävarmuutta ja että tämä on yleinen ilmiö tulevaisuuden ilmastomalleissa, mikä johtuu vesitaseen ennusteiden suurista epävarmuustekijöistä (von Storch ym. 2015). Pohjaa läheisen veden **happipitoisuuden** odotetaan pysyvän hankealueella suunnilleen samalla tasolla vertailujaksoon nähden hankkeessa käytettyjen mallien mukaan. Pieniä alueellisia eroja on kuitenkin malleissa havaittavissa, sillä syvässä vesissä happipitoisuus nousee hieman, kun taas matalilla alueilla happipitoisuus hieman laskee huomattavasti lämpimämpien vesien vuoksi. Joka tapauksessa odotettavissa oleva happipitoisuuden muutos hankealueen kaikissa osissa on niin pieni, että sillä ei odoteta olevan merkittäviä ekologisia tai biogeokemiallisia vaikutuksia. Korkeammat lämpötilat vähentävät luonnollisesti hapen liukoisuutta meriveden sekä kiihdyttävät monia biologisia ja biogeokemiallisia prosesseja, ja korkeampi lämpötila yhdistettynä kohonneisiin ravinnepitoisuuksiin olisi erittäin haitallista eliöstölle sekä biogeokemiallisiin prosesseihin (von Storch ym. 2015; Viitasalo & Bonsdorff 2021; Neumann & Friedland 2011). Jos BSAP:n mukaiset ravinteiden vähennystavoitteet kuitenkin toteutuvat, lämpötilan nousun haitallinen vaikutus happitasoihin jää minimaaliseksi.

Ilmaston säätely kasvihuonekaasujen (GHG) pitoisuuksia vähentämällä

Meret ja valtameret ympäri maailmaa ovat absorboineet suuren osan (30 %) ihmisen vapauttamasta hiilidioksidista teollistumisen alusta lähtien (Havenland 2012). Pienenä merenä Itämeren rooli tässä on pieni, mutta silti tärkeä. Fossiilisten polttoaineiden poltosta johtuvan ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousun ja sitä seuraavan hiilidioksidin meriin imeytymisen seurauksena maailmanlaajuisesti merivedet happamoituvat (esim. Omstedt ym. 2012). Vesien happamuutta mitataan pH-arvolla. Hankealueella odotamme tulevaisuudessa hieman alhaisempaa **pH-arvoa** ja happamampia vesiä, valitun ilmastoskenaarion, kirjallisuuden ja asiantuntijalausuntojen perusteella (esim. HELCOM & Baltic Earth 2021). Huolimatta valtamerien ja merien tärkeästä roolista ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden tasapainottamisessa, pH:n aleneminen ja happamoituminen voivat uhata Itämeren lajeja ja ekosysteemejä. Näin ollen alenevan pH:n kokonaisvaikutuksen tulkitaan olevan negatiivinen ekosysteemipalveluihin nähden. Happamoitumisella on todennäköisesti vakavia seurauksia erityisesti kalkkikuorisille organismeille, kuten simpukoille (von Storch ym. 2015; Fitzer ym. 2018). Lisäksi happamoituminen voi vaikuttaa keskeisiin fysiologisiin prosesseihin, kuten kasvuun, aineenvaihduntaan ja lisääntymiseen, mikä saattaa vaikuttaa pohjaeläinyhteisöjen runsauteen, monimuotoisuuteen ja toimintaan (von Storch ym. 2015). On myös viitteitä, että happamoitumisen ja lämpenemisen yhteisvaikutus aiheuttaa muutoksia Itämeren mikrobi- ja eläinplanktoniyhteisöihin (Viitasalo & Bonsdorff 2021).

Hiilivarasto on ekosysteemiin varastoitunutta hiiltä. Se koostuu kaikesta hiilestä, joka kertyy meren ekosysteemeihin ja sen orgaanisiin komponentteihin yhteyttämällä ja sekundäärituotannon kautta. Siihen lukeutuu myös hiili, joka on hautautunut meren pohjasedimenttiin. Kaikki elolliset organismit koostuvat hiilestä ja toimivat siten myös hiilivaraston osana, mutta olemme käyttäneet indikaattoria kuvaamaan hiilivarastoa vidoissa, järviruo'oissa, hauruissa, sini-simpukoissa, valkokatkoissa (*Monoporeia affinis*) ja liejusimpukoissa (*Limecola balthica*). Nämä lajit ovat yleisiä ja koska ne olivat mukana tämän hankkeen lajien levinneisyysmallinnuksessa, oli niiden perusteella mahdollista arvioida tulevaa lajistoon sitoutunutta hiilivarastoa. Eliöihin varastoitunut hiili on erittäin riippuvaista kullakin pilottialueella esiintyvistä lajeista ja ekosysteemeistä. Myös joillakin lajeilla on korkeampi hiilen pitoisuus kuin toisilla ja lajien levinneisyysmallinnuksen avulla voitiin arvioida, mitkä lajit todennäköisimmin esiintyvät alueilla tulevaisuudessa ja siten

vaikuttavat hiilivarastoon. Mallinnuksen mukaan tulevaisuuden **hiilivarastoissa** on eroja pilottialueiden välillä: Yttre Täftefjärdenissä odotetaan pientä hiilivaraston kasvua, Husumbuktenissa ei odoteta tapahtuvan merkittävää muutosta ja Utgrynnan-Molpehällornassa hiilivarasto saattaa laskea hieman. Ekosysteemipalvelun näkökulmasta hiilivaraston lisääntyminen merkitsisi positiivista muutosta, koska enemmän hiiltä sitoutuisi eläviin organismeihin ja mahdollisesti sedimenttiin ilmakehän sijasta.

3.2.3. Yleiset muutokset kulttuuripalveluissa

Kulttuuripalvelut ovat aineettomia etuja, joita ihminen saa luonnosta. Näitä ovat esimerkiksi luonnon käyttö virkistystarkoituksiin, esteettiset kokemukset, kulttuuriperintö ja kulttuuri-identiteetti. Tässä osiossa luetellaan kulttuuripalveluissa tapahtuvat yleiset muutokset, joita odotamme alueelle tulevaisuudessa.

Ranta- ja merialueiden käyttö

Ihmiset käyttävät ja nauttivat ranta- ja merialueista monin eri tavoin päiväretkistä luontopoluille ja purjehduksesta uimiseen sekä viikonlopun viettoon rannikon kesämökeillä. Monet paikalliset ihmiset hyödyntävät hankealueen ja erityisesti Merenkurkun mahdollisuuksia vapaa-ajanviettoon, mutta matkailun kannalta alueella on vielä paljon käyttämätöntä potentiaalia. Matkailu Suomessa on kaukana monista muista Euroopan maista, ja maan sisällä se on keskittynyt Etelä- ja Pohjois-Suomeen (Jänkölä 2019; Hiltunen 2019). Tämä johtuu osittain joidenkin alueiden huonommasta saavutettavuudesta ja kansallisista matkailun kehittämistoimenpiteistä (Jänkölä 2019). Ruotsissa matkailun kehittämiseen on viime vuosikymmeninä panostettu enemmän. Kuitenkin myös Ruotsin puolella Merenkurkun matkailun kasvupotentiaalia on havaittavissa. Markkinoilla havaitut muutokset osoittavat, että lähivuosikymmeninä ympäristötietoisuus, luonto ja hyvinvointi määräävät matkailun kehittämisen suuntaa nykyistä enemmän (Jänkölä 2019; OECD 2018). Lisäksi pienemmät ja eksklusiiviset matkakohteet ja lähiruoka kiinnostavat enemmän matkustajia. Merenkurku kauniine luontoineen, saaristoineen ja kiehtovan geologian osalta on erinomainen kohde matkailun kehittämiselle tästä näkökulmasta. Lisäksi kulttuuriperintö on ollut erityisesti Keski- ja Etelä-Euroopassa yksi vanhimmista ja tärkeimmistä matkailun luojista (Richards 1996; Thorburn 1986). Tämä potentiaali on jäänyt suurelta osin käyttämättä Merenkurkun alueella, jolla on runsaasti kulttuuriperintökohteita, jotka voisivat tarjota mahdollisuuksia matkailun kehittämiseen.

Matkailuun liittyvien sosiaalisten ja globaalien trendien ennustaminen sadan vuoden päähän on haastavaa ja sisältää epävarmuuksia. OECD (2018) on määritellyt matkailulle globaalit megatrendit vuoteen 2040 asti. Nämä trendit ennustavat, että matkailijoiden määrä kasvaa maailmanlaajuisesti tulevaisuudessa, kestävä matkailun (vähähiilinen, resurssitehokas, sosiaalisesti kestävä) kysyntä kasvaa, uudet teknologiat tekevät matkustamisesta helpompaa ja taloudellisempaa, ja liikenne tulee kehittymään (liikenne-innovaatiot, reitit jne.). Nämä suuntaukset voivat jossain määrin heijastua myös vuoteen 2120 asti. Kestävä matkailun voidaan odottaa olevan suurempi määrittävä tekijä myös ensi vuosikymmeninä kuin nyt. Kuljetusratkaisujen teknologiset edut ja kehitys ovat sadan vuoden kuluttua vieläkin voimakkaampaa, jolloin monille vaikeapääsyisille alueille on helpompaa matkustaa. Nämä tulevaisuuden matkailun trendit ja näkökohdat osoittavat matkailun kasvua Merenkurkun alueelle ja koko hankealueelle. Lisäksi kotimaan ja naapurimaista suuntautuva matkailu voisi olla suosittu sadan vuoden kuluttua, kun ihmiset hakevat kestäviä valintoja. Matkailu vaatii aina infrastruktuuria, majoituskohteita ja nähtävyyksiä (Jänkä 2019), ja tulevien vuosikymmenten aikana tehtävä kehitys matkailun saralla edistäisi alueen matkailulle tietä moniksi vuosikymmeniksi. Myös ”Ilmastomatkailu”, vaikkakin ristiriitaista, voi lisätä tulevaisuudessa pohjoisille alueille suuntautuvaa matkailua ja jo nyt on viitteitä, että Suomeen ja Ruotsiin on matkustettu kesäisin viileämmän ilmaston vuoksi (HELCOM & Baltic Earth 2021).

Matkailun sekä Merenkurkun alueen ja koko hankealueen käytön lisääntymisen odotetaan keskittyvän kesäkuukausiin. Ilmastomuutoksesta johtuen hankealueen laajan talvikäytön odotetaan vähenevän merkittävästi. Leudot talvet ja heikot jääolosuhteet vähentävät mahdollisuuksia jästä ja saaristosta nauttimiseen hiihtäen, luistelemalla tai moottorikelkalla, ja koko merialueen talvikäyttö todennäköisesti vähenee tulevaisuudessa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että matkailun ja **matkailijoiden määrän** odotetaan kasvavan tulevaisuudessa koko hankealueella, mutta erityisesti Merenkurkun alueella. Matkailun kasvu edellyttää infrastruktuurin parantamista, ja satamapalvelujen ja venesatamien **venepaikkojen määrän** sekä veneilijöiden määrän (**turistiveneiden määrä**) odotetaan kasvavan. Tulevaisuudessa matkailijoiden määrän kasvun ja alueella odotettavien matkailun kehittämistoimenpiteiden myötä **ulkoilumahdollisuuksien määrän** ennustetaan alueella lisääntyvän. **Talvikäytön ja jäätä virkistyskäyttöön käyttävien ihmisten määrän** odotetaan vähenevän hankealueella tulevaisuudessa.

Kulttuuriperintö

Kulttuuriperintö on tärkeä osa kulttuuripalveluita hankealueella ja erityisesti Merenkurkun alueella. Alueen matkailualueiden lisäksi maalla sekä veden alla sijaitsevilla kulttuuriperinnöllä on olemassaoloarvoa sekä sosiaalista että historiallista arvoa (Díaz-Andreu 2017). Merenkululla ja kalastuksella on hankealueella vahva historia, jonka johdosta hankealueelta on löydetty useita hylkyjä sekä erilaisia kulttuuriperintökohteita saarilta ja mantereelta. Pilottialueista erityisesti Utgrynnan-Molpehällornan alueella on useita kulttuurihistoriallisesti arvokkaita kohteita. Itämeren ainutlaatuiset murtovesiolosuhteet ovat tukeneet puuhylyjen ja muiden perintökohteiden säilymistä (Fors & Björdal 2013; Björdal ym. 2012). Tulevaisuudessa tekniikan kehityksen myötä alueelta odotetaan löytyvän lisää vanhoja hylkyjä ja mahdollisia muita vedenalaisia kulttuuriperintökohteita, mikä lisää hankealueen vedenalaisia kulttuuriperinnön arvoa. Ilmastomuutoksella voi kuitenkin olla kielteisiä vaikutuksia vedenalaiseen kulttuuriperintöön, vaikka osa muutosten lopullisista seurauksista on edelleen epävarmoja (Kaslegard 2011; Fors & Björdal 2013; Harkin ym. 2020). Korkeammat lämpötilat, happamoituminen, mahdollinen lisääntynyt eroosio maalla ja rannoilla, aallokon vaikutus ja muutokset veden kemiallisessa koostumuksessa voivat vaikuttaa negatiivisesti vedenalaiseen kulttuuriperintöön (Perez-Alvaro 2016; Kaslegard 2011). Kun vaikutuksiin lasketaan mukaan odotettu merialueiden hyödyntämisen lisääntyminen ja muut ihmisperäiset tekijät, kuten veneily, rannikkorakentaminen ja hylkysukelluksen aiheuttamat paineet, kokonaisvaikutuksen **hylkyihin ja muihin vedenalaisiin kulttuuriperintökohteisiin** odotetaan olevan negatiivinen tulevaisuudessa. Ilmastomuutoksella voi olla tulevaisuudessa myös erilaisia heikentäviä vaikutuksia maalla ja saarilla sijaitseviin kulttuuriperintökohteisiin (Sabbioni ym. 2008), koska ne ovat alttiina sääille. Maalla sijaitsevien kulttuuriperintökohteiden mahdollinen haavoittuvuus liittyy mm. lisääntyvään aaltotoiminnan riskiin, kasvavaan sademäärään, maaperän kosteuteen, muutoksiin maaperän kemiassa ja pH:ssa sekä äärimmäisiin sääolosuhteisiin. Lisäksi odotettavissa oleva matkailun lisääntyminen voi muodostaa uhkia hankealueen kulttuuriperintökohteille erityisesti mantereella ja sitä lähellä olevilla saarilla, kun taas syrjäisimmät alueet ja saaret voivat välttää matkailun paineet. Näistä syistä johtuen pilottialueiden **maalla sijaitsevien kulttuuriperintökohteiden** tilan odotetaan heikkenevän ainakin jossain määrin tulevaisuudessa.

Esteettiset, symboliset ja perintöön (bequest) liittyvät -arvot

Pilottialueiden esteettistä arvoa tulevaisuudessa arvioitiin **ihmistoiminnasta koskemattoman ympäristön laajuus** -indikaattorilla. Koskemattoman ja luonnon-tilaisen näköistä ympäristöä arvostetaan nykyään ja tullaan todennäköisesti arvostamaan tulevaisuudessakin, mutta sadan vuoden kuluttua sen odotetaan olevan hankealueella paikoin hieman harvinaisempaa. Kestävempien energialähteiden suuri kysyntä ennustaa tulevaisuudessa lisää merituulipuistoja Itämerelle (Euroopan komissio 2020; IRENA 2019; HELCOM & Baltic Earth 2021), mikä voi heikentää meriympäristön esteettistä arvoa myös hankealueella ja joillakin pilottialueilla. Vesiviljelyn odotettu lisääntyminen (Euroopan komissio 2021a) vähentää myös merialueen ja rantaviivojen esteettistä arvoa. Kulttuuripalvelujen symbolista arvoa arvioitiin pilottialueiden ikonisten lajien määrällä ja elinvoimaisuudella. Ikonisten lajien arvioidaan luonnehtivan hankealuetta ja antavan alueelle symbolista merkitystä. Tulevaisuuden tilaa arvioitiin n. 20 eri lajille (esim. haurut; merikotka *Haliaeetus albicilla*; Itämerennorppa *Pusa hispida botnica*; siika; ja lohi), jotka arvioitiin merkittävimiksi, tunnetuimmiksi ja arvostetuimmiksi alueella (luettelo lajeista löytyy liitteistä Taulukosta A4). Biologisen monimuotoisuuden odotetaan yleisesti vähenevän tulevaisuudessa ja saman laskun arvioitiin tapahtuvan monien hankealueen **ikonisten lajien populaatioissa** kirjallisuuden, punaisen listan ja tulevaisuuden uhkien perusteella (esim. Kontula & Raunio 2018; SLU 2020; Lehtiniemi ym. 2021). Perintöarvot eli muut perintöön liittyvät tuotokset kuin kulttuuriperintö, tarkoittavat esimerkiksi yhteisön halukkuutta säilyttää kasveja, eläimiä, ekosysteemejä, maata ja merimaisemia tulevien sukupolvien nauttimista ja käyttöä varten. Tätä palvelua arvioitiin **merisuojealueiden määrän ja laajuuden** perusteella. EU:n biodiversiteettistrategi-

an tavoitteena on vuoteen 2030 mennessä perustaa suojelualueita vähintään 30 %:lle Euroopan merialueista (Euroopan komissio 2021b). Suojelualueiden määrän kasvua odotetaan tälle vuosikymmenelle, mutta suojelutavoitteita sadan vuoden päähän on vaikea arvioida. On mahdollista ja toivottavaa, että vaikka merialueiden käyttö lisääntyy tulevaisuudessa, koko merialuetta hoidettaisiin kokonaisvaltaisemmin ja tulevaisuudessa myös määrättäisiin lisää alueita merensuojeluun. Uudet suojelualueet kuitenkin perustettaisiin hankealueelle paikkoihin, joissa niille olisi eniten tarvetta, mutta pilottialueilla ei havaittu suurta potentiaalista lisääntymisestä nykyisten suojelualueiden lisäksi. Myös merensuojelualueiden ekologinen kytkeytyneisyys on alkamassa saada enemmän huomiota päätöksenteossa ja kytkeytyneisyyteen keskittyvät suojelutoimenpiteet voivat tarkoittaa uusia kriteerejä suojelualueiden perustamiselle tulevaisuudessa.

3.2.4. Pilottialuekohtaiset muutokset palveluissa

Tässä osiossa eritellään tarkemmin ekosysteemipalveluissa tapahtuvia muutoksia eri pilottialueilla.

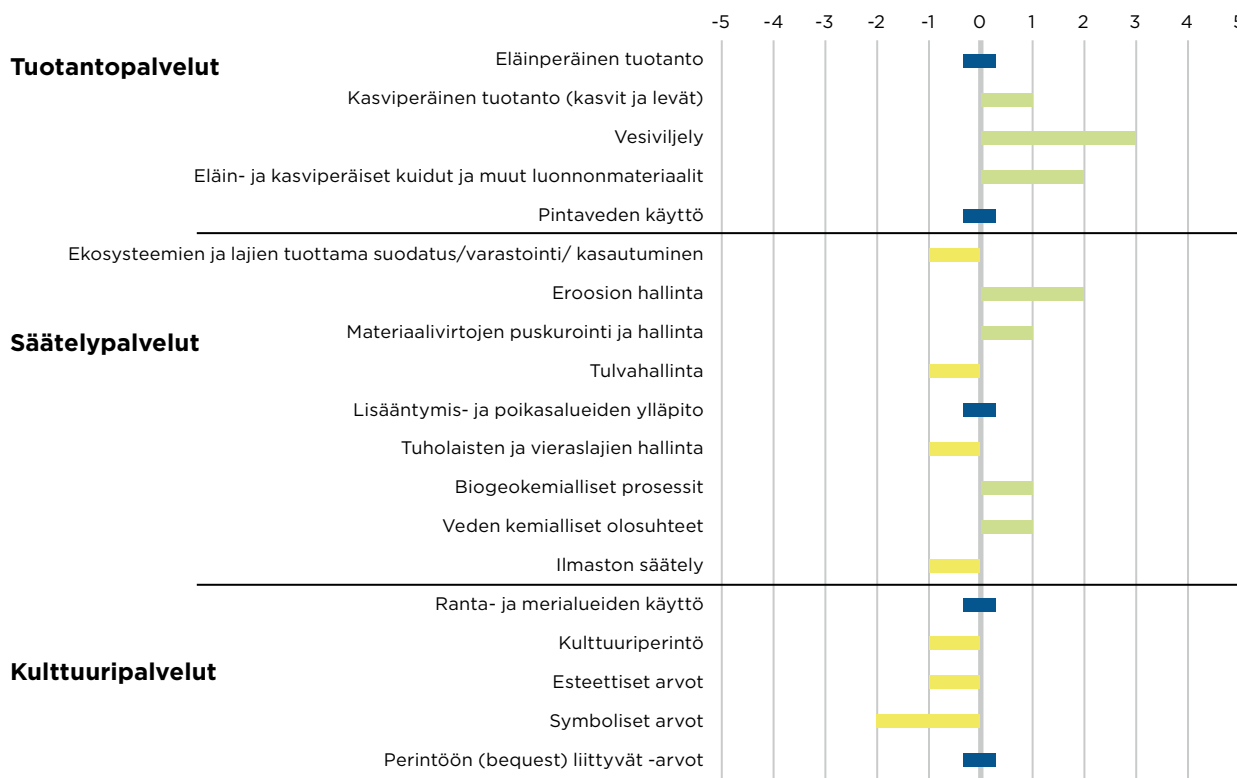
Taulukko 1: A, B, C. MESAT-tulokset Utgrynnan-Molpehällornan (A), Yttre Täftefjärdenin (B) ja Husumbuktenin (C) pilottialueille. Likert-asteikolliset arvot kunkin ekosysteemipalvelun odotetuille tuleville muutoksille on laskettu keskiarvona indikaattoriarvojen odotetuista tulevista muutoksista. Tarkemmat muutosten erittelyt on esitetty taulukossa, ja arvioinnissa käytetyt materiaalit ja lähteet on esitetty liitteenä olevassa Taulukossa A3. Tulosten osiot 3.2.1, 3.2.2 ja 3.2.3 tarjoavat lisää taustatietoja odotetuista muutoksista. Selitykset Likert-asteikolle koskien ekosysteemipalveluja ja indikaattoreita: 0 = ei muutosta, +1/-1 = lievä positiivinen/negatiivinen muutos, +2/-2 = kohtalainen positiivinen/negatiivinen muutos, +3/-3 = huomattava positiivinen/negatiivinen muutos, +4/-4 = laaja positiivinen/negatiivinen muutos, +5/-5 äärimmäinen positiivinen/negatiivinen muutos.

A. Ekosysteempipalvelu		Indikaattori	Muutoksen erittely
Tuotantopalvelut	Eläinperäinen tuotanto	0 Lämpimän veden kalasaalis	2 Arvioidut lajit: ahven, hauki, särkikalat, kuha, ja vieraslajit mustäplätokko ja hopearuutana.
		Kylmän veden kalasaalis	-1 Arvioidut lajit: lohi, siika, silakka, made, taimen, kuore.
		Kaupallisten lajien saaliit	-1 Arvioidut lajit: lohi, siika, silakka, ahven, kuore.
	Kasviperäinen tuotanto (kasvit ja levät)	1 Sato	1 Tyrnisaadon kasvu lämpimämmässä ilmastossa.
		Lajien lkm.	0 Ei odotettua muutosta.
	Vesiviljely	3 Sato	2 Lievää odotettua kasvua. Suojelu- ja EMMA-alueiden vuoksi vesiviljelyn painetta odotetaan enemmän Utgr. ulkopuolella.
Lajien lkm.		3 Teknologisen kehityksen, kysynnän ja lämpimän veden vuoksi viljeltyjen lajien määrän odotetaan kasvavan.	
Eläin- ja kasviperäiset kuidut ja muut luonnonmateriaalit	2 Sato	2 Kohtalaista odotettua kasvua (erityisesti silakkapohjaisten tuotteiden) politiikan ja sinisen kasvun vuoksi.	
Pintaveden käyttö	0 Käytetyn veden määrä	0 Ei laajamittaista käyttöä nykyään eikä kasvua odoteta alueen kaukaisen sijainnin mantereelta johdosta.	
Säätelypalvelut	Ekosysteemien ja lajien tuot-tama suodatus/varastointi/ kasautuminen	-1 Typensidonta	1 Vähennemistä BSAP:n johdosta (posit. vaikutus ekosysteemiin).
		Perustuotanto	1 Vähennemistä BSAP:n johdosta (posit. vaikutus ekosysteemiin).
		Suodatuskapasiteetti	-4 Sinisimpukan suodatuskapasiteetin odotetaan laskevan.
	Erosion hallinta	2 Elinympäristöjen laajuus (makrofytyt)	2 Sedimenttiä sitovien kasvilajien määrän kasvu mallien mukaan tuottaa positiivisen vaikutuksen ekosysteemitasolla.
	Materiaalivirtojen puskurointi ja hallinta	1 Sedimentin kertymisnopeus	1 Sedimentin kertymisnopeuden vähenemisen odotetaan tuottavan positiivisia vaikutuksia ekosysteemitasolla.
	Tulvahallinta	-1 Merkitsevä aallonkorkeus	-1 Lievää kasvua odotetaan jääpeitteen vähenemisen vuoksi.
	Lisääntymis- ja poikasalueiden ylläpito	0 Habitaattien monimuotoisuus	-1 Monimuotoisuuden vähentyminen ihmispaineiden vuoksi.
		Secchi-syvyys	2 Näkösyvyyden odotettu kasvu (ilmastonmuutos vs. BSAP)
		Punaisen listan lajien määrä	-2 Monimuotoisuuden lasku lisää uhanalaisten lajien määrää.
		Lisääntymisalueet (kylmä)	-2 Kylmän veden kalalajeille vähemmän suotuisia lisääntymisalueita.
		Lisääntymisalueet (lämmin)	1 Lämpimän veden kalalajeille lisää suotuisia lisääntymisalueita.
		% suojellut alueet	1 Suojeltujen lisääntymisalueiden määrän odotetaan kasvavan.
	Tuholaisten ja vieraslajien hallinta	-1 Haitalliset sinileväkukinnat	-1 Määrän kasvua odotetaan lämpimämpien vesien vuoksi.
		Vieraslajien esiintyminen	-1 Määrän ja runsauden kasvua odotetaan hieman.
	Biogeokemialliset prosessit	1 Denitrifikaation tehokkuus	1 BSAP:n johdosta tehokkuuden kasvua odotetaan.
		Veden viipymä	1 Lievää laskua odotetaan (positiivinen vaikutus ekosysteemiin).
	Veden kemialliset olosuhteet	1 NO3 pintavesi	-1 NO3 kertyy veteen biomassan sijasta kun perustuotanto vähenee fosforin ollessa kasvua rajoittava tekijä.
		NH4 pintavesi	3 Valuma-alueelta saapuvan typen määrän odotetaan vähenevän.
		PO4 pintavesi	4 Fosforin määrän odotetaan vähenevän.
		Suolapitoisuus	-1 Lievä pitoisuuden lasku ja negatiivisia vaikutuksia lajeihin.
Happipitoisuus		0 Ei odotettua muutosta (rehevöitymisen lasku vs. lämpö)	
Ilmaston säätely	-1 Hiilivarasto	-1 Lievä väheneminen hiilivarastossa odotettua.	
	pH	-1 Happamampi vesi ja negatiiviset vaikutukset ekosysteemitasolla.	
Kulttuuripalvelut	Ranta- ja merialueiden käyttö	0 Turistien lkm.	2 Turismin ja investointien odotetaan kasvavan.
		Venepaikkojen lkm.	1 Turismiin kytkeytyvän infrastruktuurin odotetaan kasvavan.
		Turistiveneiden lkm.	2 Veneilyn odotetaan lisääntyvän.
		Virkistyskäyttö talvella	-4 Ilmastomallit ennustavat jään paksuuden vähenemistä 80%.
		Ulkoilumahdollisuuksien lkm.	1 Investointien odotetaan lisäävän mahdollisuuksien määrää.
	Kulttuuriperintö	-1 Vedenalainen	-1 Mm. korkeammat lämpötilat ja pH vaikuttaa negatiivisesti.
		Maalla sijaitseva	-1 Mm. sadanta, lämpötilat ja turismi vaikuttaa negatiivisesti.
	Esteettiset arvot	-1 Koskemattoman ympäristön laajuus	-1 Tuulipuistojen ja vesiviljelyn lähialueilla odotetaan vähentävän myös Utgrynnanin esteettisiä arvoja.
	Symboliset arvot	-2 Ikonisten lajien lkm.	-2 Monimuotoisuuden vähenemisen vuoksi myös ikonisten lajien lukumäärän odotetaan vähentyvän.
	Perintöön (bequest) liittyvät -arvot	0 Merisuojelualueiden määrä ja laajuus	0 Mm. Natura 2000-alueet, UNESCO:n maailmanperintöalue ja EMMA-alueet peittävät ca. 39 % alueesta. Ei odotettua kasvua.

B. Ekosysteempipalvelu		Indikaattori	Muutoksen erittely	
Tuotantopalvelut	Eläinperäinen tuotanto	0 Lämpimän veden kalasaalis	2 Arvioidut lajit: ahven, hauki, särkikalat, kuha, ja vieraslajit mustat-äplätokko ja hopearuutana.	
		Kylmän veden kalasaalis	-1 Arvioidut lajit: lohi, siika, silakka ja taimen.	
		Kaupallisten lajien saaliit	-1 Arvioidut lajit: lohi, siika, silakka ja ahven.	
	Vesiviljely	3 Sato	2 Ei kalankasvatusta juuri nykyisellään, mutta kohtalaista kasvua odotetaan. Oletettavasti rannikolla suljetuissa systeemeissä.	
		Lajien lkm.	3 Teknologisen kehityksen, kysynnän ja lämpimän veden vuoksi viljeltyjen lajien määrän odotetaan kasvavan.	
	Eläin- ja kasviperaiset kuidut ja muut luonnonmateriaalit	1 Sato	1 Lievää odotettua kasvua politiikan ja sinisen kasvun vuoksi.	
Pintaveden käyttö	1 Käytetyn veden määrä	1 Ei laajamittaista käyttöä nykyään, mutta vesiviljelyn määrän kasvu tulevaisuudessa voi lisätä veden tarvetta.		
Säätelypalvelut	Ekosysteemien ja lajien tuottama suodatus/ varastointi/ kasautuminen	1 Typensidonta	1 Vähennemistä BSAP:n johdosta (posit. vaikutus ekosysteemiin).	
		Perustuotanto	1 Vähennemistä BSAP:n johdosta (posit. vaikutus ekosysteemiin).	
	Erosion hallinta	2 Elinympäristöjen laajuus (makrofytyt)	2 Sedimenttiä sitovien kasvilajien määrän kasvu mallien mukaan tuottaa positiivisen vaikutuksen ekosysteemitasolla.	
	Materiaalivirtojen puskurointi ja hallinta	1 Sedimentin kertymisnopeus	1 Sedimentin kertymisnopeuden vähenemisen odotetaan tuottavan positiivisia vaikutuksia ekosysteemitasolla.	
	Tulvahallinta	-1 Merkitsevä aallonkorkeus	-1 Lievää kasvua odotetaan jääpeitteen vähenemisen vuoksi.	
		Lisääntymis- ja poikasalueiden ylläpito	-1 Habitaattien monimuotoisuus	-1 Monimuotoisuuden vähentyminen ihmispaineiden vuoksi.
			Secchi-syvyys	0 Ei odotettua muutosta.
			Punaisen listan lajien määrä	-3 Monimuotoisuuden lasku lisää uhanalaisten lajien määrää.
			Lisääntymisalueet (kylmä)	-2 Kylmän veden kalalajeille vähemmän suotuisia lisääntymisalueita.
			Lisääntymisalueet (lämmin)	2 Lämpimän veden kalalajeille lisää suotuisia lisääntymisalueita.
	% suojellut alueet	1 Suojeltujen lisääntymisalueiden määrän odotetaan kasvavan.		
	Tuholaisten ja vieraslajien hallinta	-1 Haitalliset sinileväkunnat	-1 Määrän kasvua odotetaan lämpimämpien vesien vuoksi.	
		Vieraslajien esiintyminen	-1 Määrän ja runsauden kasvua odotetaan hieman.	
	Biogeokemialliset prosessit	1 Denitrifikaation tehokkuus	1 BSAP:n johdosta tehokkuuden kasvua odotetaan.	
		Veden viipymä	1 Lievää laskua odotetaan (positiivinen vaikutus ekosysteemiin).	
	Veden kemialliset olosuhteet	1 NO3 pintavesi	-1 NO3 kertyy veteen biomassan sijasta kun perustuotanto vähenee fosforin ollessa kasvua rajoittava tekijä.	
		NH4 pintavesi	3 Valuma-alueelta saapuvan typen määrän odotetaan vähenevän.	
		PO4 pintavesi	4 Fosforin määrän odotetaan vähenevän.	
		Suolapitoisuus	-1 Lievä pitoisuuden lasku ja negatiivisia vaikutuksia lajeihin.	
		Happipitoisuus	0 Ei odotettua muutosta (rehevöitymisen lasku vs. lämpö)	
Ilmaston säätely	0 Hiilivarasto	1 Lievä kasvu hiilivarastossa odotettua mallien mukaan.		
	pH	-1 Happamampi vesi ja negatiiviset vaikutukset ekosysteemitasolla.		
Kulttuuripalvelut	Ranta- ja merialueiden käyttö	1 Turistien lkm.	3 Turismin ja investointien odotetaan kasvavan.	
		Venepaikkojen lkm.	2 Turismin kytkeytyvän infrastruktuurin odotetaan kasvavan.	
		Turistiveneiden lkm.	2 Veneilyn odotetaan lisääntyvän.	
		Virkistyskäyttö talvella	-4 Ilmastomallit ennustavat jään paksuuden vähenemistä 80%.	
		Ulkoilumahdollisuuksien lkm.	2 Investointien odotetaan lisäävän mahdollisuuksien määrää.	
	Kulttuuriperintö	-2 Vedenalainen	-1 Mm. korkeammat lämpötilat ja pH vaikuttaa negatiivisesti.	
		Maalla sijaitseva	-2 Mm. sadanta, lämpötilat ja turismi vaikuttaa negatiivisesti.	
	Esteettiset arvot	0 Koskemattoman ympäristön laajuus	0 Ei odotettua muutosta.	
	Symboliset arvot	-2 Ikonisten lajien lkm.	-2 Monimuotoisuuden vähenemisen vuoksi myös ikonisten lajien lukumäärän odotetaan vähentyvän.	
	Perintöön (bequest) liittyvät -arvot	0 Merisuojelualueiden määrä ja laajuus	0 Ei odotettua muutosta.	

C. Ekosysteempipalvelu		Indikaattori	Muutoksen erittely	
Tuotantopalvelut	Eläinperäinen tuotanto	0 Lämpimän veden kalasaalis	2 Arvioidut lajit: ahven, hauki, särkikalat, kuha, ja vieraslajit mustat-äplätokko ja hopearuutana.	
		Kylmän veden kalasaalis	-1 Arvioidut lajit: lohi, siika, silakka, made ja taimen.	
		Kaupallisten lajien saaliit	-1 Arvioidut lajit: lohi, siika, silakka ja ahven.	
	Vesiviljely	3 Sato	2 Ei kalankasvatusta juuri nykyisellään, mutta kohtalaista kasvua odotetaan. Oletettavasti rannikolla suljetuissa systeemeissä.	
		Lajien lkm.	3 Teknologisen kehityksen, kysynnän ja lämpimän veden vuoksi viljeltyjen lajien määrän odotetaan kasvavan.	
Eläin- ja kasviperäiset kuidut ja muut luonnonmateriaalit	1 Sato	1 Lievää odotettua kasvua politiikan ja sinisen kasvun vuoksi.		
Pintaveden käyttö	2 Käytetyn veden määrä	2 Veden käyttöä teollisuuteen nykyään. Teollisen toiminnan ja kalanviljelyn lisääntyminen tulevaisuudessa voi lisätä entisestään.		
Säätelypalvelut	Ekosysteemien ja lajien tuottama suodatus/ varastointi/ kasautuminen	1 Typensidonta	1 Vähennemistä BSAP:n johdosta (posit. vaikutus ekosysteemiin).	
		Perustuotanto	1 Vähennemistä BSAP:n johdosta (posit. vaikutus ekosysteemiin).	
	Erosion hallinta	2 Elinympäristöjen laajuus (makrofytyt)	2 Sedimenttiä sitovien kasvilajien määrän kasvu mallien mukaan tuottaa positiivisen vaikutuksen ekosysteemitasolla.	
	Materiaalivirtojen puskurointi ja hallinta	1 Sedimentin kertymisnopeus	1 Sedimentin kertymisnopeuden vähenemisen odotetaan tuottavan positiivisia vaikutuksia ekosysteemitasolla.	
	Tulvahallinta	-1 Merkitsevä aallonkorkeus	-1 Lievää kasvua odotetaan jääpeitteen vähenemisen vuoksi.	
	Lisääntymis- ja poikasalueiden ylläpito	-1 Habitaattien monimuotoisuus	-1 Monimuotoisuuden vähentyminen ihmispaineiden vuoksi.	
			1 Näkösyvyys	1 Näkösyvyyden odotettu kasvu (ilmastonmuutos vs. BSAP)
			-3 Punaisen listan lajien määrä	-3 Monimuotoisuuden lasku lisää uhanalaisten lajien määrää.
			-3 Lisääntymisalueet (kylmä)	-3 Kylmän veden kalalajeille vähemmän suotuisia lisääntymisalueita.
			2 Lisääntymisalueet (lämmin)	2 Lämpimän veden kalalajeille lisää suotuisia lisääntymisalueita.
			1 % suojellut alueet	1 Suojeltujen lisääntymisalueiden määrän odotetaan kasvavan.
	Tuholaisten ja vieraslajien hallinta	-2 Haitalliset sinileväkukinnat	-1 Määrän kasvua odotetaan lämpimämpien vesien vuoksi.	
		Vieraslajien esiintyminen	-2 Määrän ja runsauden kasvua odotetaan hieman.	
	Biogeokemialliset prosessit	1 Denitrifikaation tehokkuus	1 BSAP:n johdosta tehokkuuden kasvua odotetaan.	
		Veden viipymä	1 Lievää laskua odotetaan (positiivinen vaikutus ekosysteemiin).	
	Veden kemialliset olosuhteet	1	-1 NO3 pintavesi	-1 NO3 kertyy veteen biomassan sijasta kun perustuotanto vähenee fosforin ollessa kasvua rajoittava tekijä.
			2 NH4 pintavesi	2 Valuma-alueelta saapuvan typen määrän odotetaan vähenevän.
			3 PO4 pintavesi	3 Fosforin määrän odotetaan vähenevän.
			-1 Suolapitoisuus	-1 Lievä pitoisuuden lasku ja negatiivisia vaikutuksia lajeihin.
			0 Happipitoisuus	0 Ei odotettua muutosta (rehevöitymisen lasku vs. lämpö).
Ilmaston säätely	-1	0 Hiilivarasto	0 Ei odotettua muutosta.	
		pH	-1 Happamampi vesi ja negatiiviset vaikutukset ekosysteemitasolla.	
Kulttuuripalvelut	Ranta- ja merialueiden käyttö	0 Turistien lkm.	1 Turismin ja investointien odotetaan kasvavan hieman.	
		Venepaikkojen lkm.	1 Turismiin kytkeytyvän infrastruktuurin odotetaan kasvavan hieman.	
		Turistiveneiden lkm.	1 Veneilyn odotetaan lisääntyvän hieman.	
		Virkistyskäyttö talvella	-4 Ilmastomallit ennustavat jään paksuuden vähenemistä 80%.	
		Ulkoilumahdollisuuksien lkm.	1 Investoinnit voivat lisätä mahdollisuuksien määrää hieman.	
	Kulttuuriperintö	-2	-1 Vedenalainen	-1 Mm. korkeammat lämpötilat ja pH vaikuttaa negatiivisesti.
			Maalla sijaitseva	-2 Mm. sadanta, lämpötilat ja turismi vaikuttaa negatiivisesti.
	Esteettiset arvot	-1 Koskemattoman ympäristön laajuus	-1 Teollisen toiminnan odotetaan vähentävän alueen esteettisiä arvoja tulevaisuudessa.	
	Symboliset arvot	-2 Ikonisten lajien lkm.	-2 Monimuotoisuuden vähenemisen vuoksi myös ikonisten lajien lukumäärän odotetaan vähentyvän.	
	Perintöön (bequest) liittyvät -arvot	1 Merisuojelualueiden määrä ja laajuus	1 Ei suojelualueita nykyään. Tulevaisuudessa lievä kasvu mahdollista.	

Utgrynnan-Molpehällorna

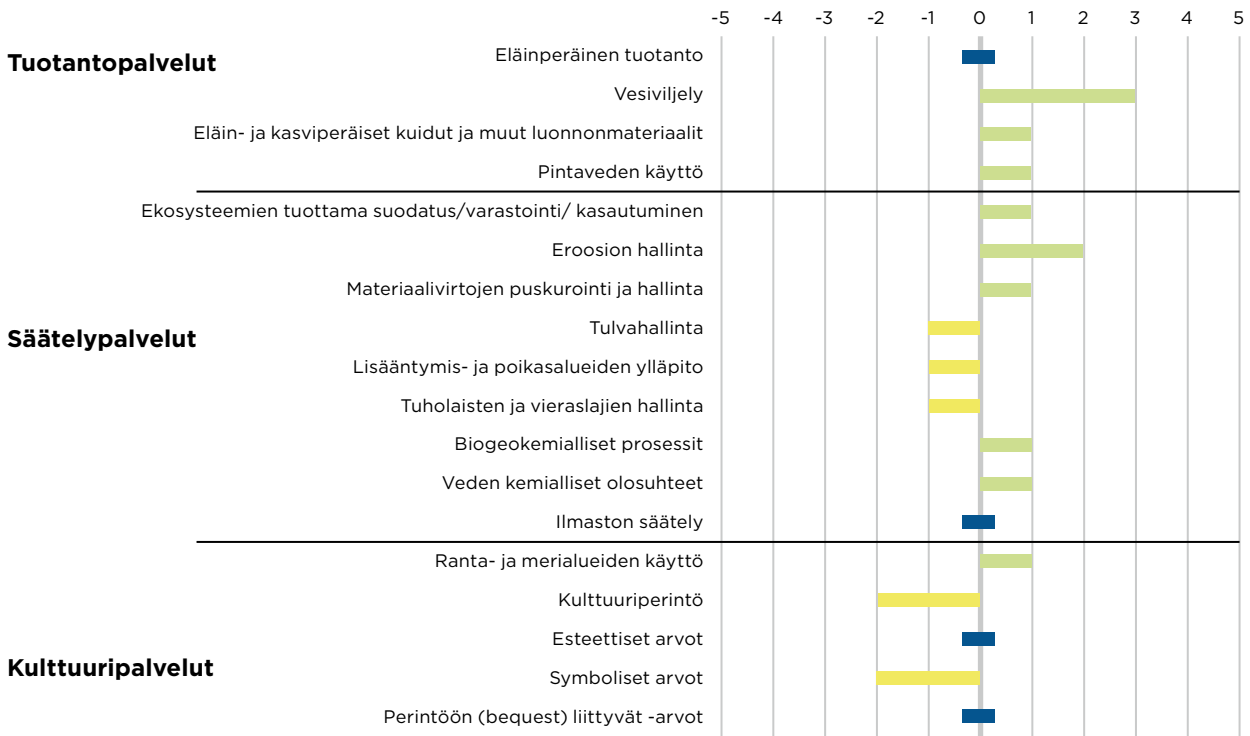


Kuva 5. Utgrynnan-Molpehällornan pilottialueen ekosysteemipalvelujen (CICES-luokkatason palvelut) odotettavissa olevat muutokset sadan vuoden päästä ilmastonmuutoksesta ja ravinteiden vähennystavoitteista johtuen (BSAP). Palveluiden arvioimiseen käytetyt indikaattorit löytyvät Taulukosta 1. Palvelujen arvioitu tuleva muutos on laskettu indikaattoreiden keskiarvona. Selitykset ekosysteemipalvelujen Likert-asteikolliselle muutokselle: 0 = ei muutosta, +1/-1 = lievä positiivinen/negatiivinen muutos, +2/-2 = kohtalainen positiivinen/negatiivinen muutos, +3/-3 = huomattava positiivinen /negatiivinen muutos, +4/-4 = laaja positiivinen/negatiivinen muutos, +5/-5 äärimmäinen positiivinen/negatiivinen muutos.

Utgrynnan-Molpehällornan pilottialueen ekosysteemipalvelujen CICES-luokkatason tulokset löytyvät Kuvasta 5 ja indikaattorikohtaiset tulokset Taulukosta 1. Tässä hankkeessa käytettyjen indikaattoreiden perusteella tuotantopalvelujen odotetaan kokonaisuudessaan lisääntyvän tulevaisuudessa. Tämä johtuu lähinnä merialueiden ja luonnonvarojen odotetusta lisääntyvästä hyödyntämisestä. Ilmastonmuutoksen ja BSAP:n mukaisten ravinteiden vähennystavoitteiden vaikutukset näkyvät säätelypalveluissa. Ilmastonmuutoksen odotetaan vaikuttavan negatiivisesti palveluihin, kuten ”tuholaisten ja vieraslajien hallinta”, ”ilmaston säätely” ja ”tulvahallinta ja -suojelu”, kun taas BSAP:n täytäntöönpanolla odotetaan olevan po-

sitiivinen vaikutus mm. palveluihin ”veden kemialliset olosuhteet”, ”materiaalivirtojen puskurointi ja hallinta” (sedimentaatio) ja ”biogeokemialliset prosessit”. Utgrynnan-Molpehällornan kulttuuripalvelut heijastelevat merialueiden käytön odotettua lisääntymistä (esim. matkailu kesäaikaan) ja ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät tulevaisuuden kulttuuriperinnön odotetuissa vaikutuksissa ja symbolisissa arvoissa sekä jään kytkeytyvien kulttuuripalvelujen vähenemisessä. Utgrynnan-Molpehällorna on laaja merialue, jossa ihmisen toiminta saattaa tulevaisuudessa lisääntyä, mikä voi vaikuttaa myös alueen esteettisiin arvoihin.

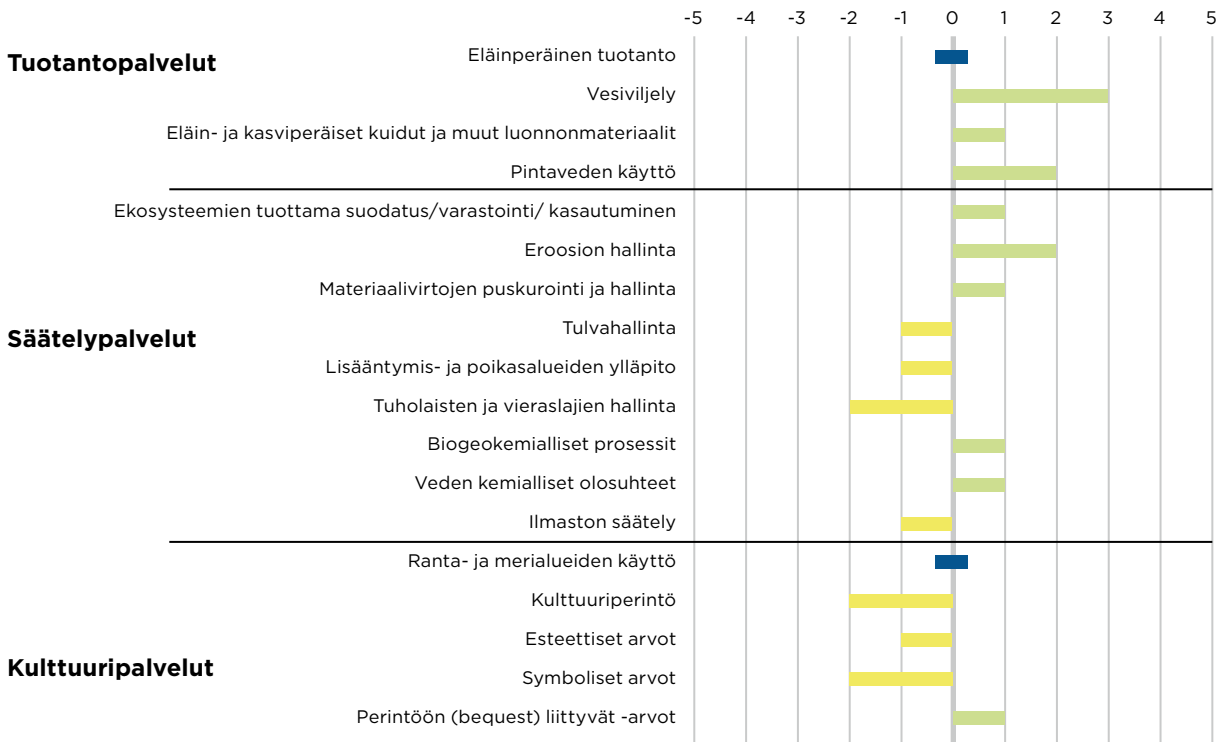
Yttre Tättefjärden



Kuva 6. Yttre Tättefjärdenin pilottialueen ekosysteemipalvelujen (CICES-luokkatason palvelut) odotettavissa olevat muutokset sadan vuoden päästä ilmastonmuutoksesta ja ravinteiden vähennystavoitteista johtuen (BSAP). Palveluiden arvioimiseen käytetyt indikaattorit löytyvät Taulukosta 1. Palvelujen arvioitu tuleva muutos on laskettu indikaattoreiden keskiarvona. Selitykset ekosysteemipalvelujen Likert-asteikolliselle muutokselle: 0 = ei muutosta, +1/-1 = lievä positiivinen/negatiivinen muutos, +2/-2 = kohtalainen positiivinen/negatiivinen muutos, +3/-3 = huomattava positiivinen/negatiivinen muutos, +4/-4 = laaja positiivinen/negatiivinen muutos, +5/-5 äärimmäinen positiivinen/negatiivinen muutos.

Yttre Tättefjärdenin pilottialueen ekosysteemipalvelujen CICES-luokkatason tulokset löytyvät Kuvasta 6 ja indikaattorikohtaiset tulokset Taulukosta 1. Tässä hankkeessa käytettyjen indikaattoreiden perusteella tuotantopalvelujen odotetaan kokonaisuudessaan lisääntyvän tulevaisuudessa. Tämä johtuu lähinnä merialueiden ja luonnonvarojen odotetusta lisääntyvistä hyödyntämisestä. Ilmastonmuutoksen ja BSAP:n mukaisten ravinteiden vähennystavoitteiden vaikutukset näkyvät säättelypalveluissa myös Yttre Tättefjärdenissä. Ilmastonmuutoksen odotetaan vaikuttavan negatiivisesti palveluihin, kuten ”tuholaisten ja vieraslajien hallinta” ja ”lisääntymis- ja poikasalueiden ylläpito”, kun taas BSAP:n täytäntöönpanolla odotetaan olevan positiivinen vaikutus mm. palveluihin ”veden kemialliset olosuhteet” ja ”biogeokemialliset prosessit”. Yttre Tättefjärdenin kulttuuripalvelut heijastelevat odotettua merialueiden käytön lisääntymistä etenkin kesäisin (matkailu) ja ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät tulevaisuuden kulttuuriperinnössä sekä symbolisissa arvoissa.

Husumbukten



Kuva 7. Husumbuktenin pilottialueen ekosysteemipalvelujen (CICES-luokkatason palvelut) odotettavissa olevat muutokset sadan vuoden päästä ilmastonmuutoksesta ja ravinteiden vähennystavoitteista johtuen (BSAP). Palveluiden arvioimiseen käytetyt indikaattorit löytyvät Taulukosta 1. Palvelujen arvioitu tuleva muutos on laskettu indikaattoreiden keskiarvona. Selitykset ekosysteemipalvelujen Likert-asteikolliselle muutokselle: 0 = ei muutosta, +1/-1 = lievä positiivinen/negatiivinen muutos, +2/-2 = kohtalainen positiivinen/negatiivinen muutos, +3/-3 = huomattava positiivinen /negatiivinen muutos, +4/-4 = laaja positiivinen/negatiivinen muutos, +5/-5 äärimmäinen positiivinen/negatiivinen muutos.

Husumbuktenin pilottialueen ekosysteemipalvelujen CICES-luokkatason tulokset löytyvät Kuvasta 7 ja indikaattori-kohtaiset tulokset esitetään Taulukossa 1. Useat Husumbuktenin pilottialueen ekosysteemipalveluissa odotetut muutokset ovat samankaltaisia kuin Utgrynnan-Molpehällornan ja Yttre Tätfefjärdenin pilottialueilla ja esimerkiksi tuotantopalveluiden odotetaan kasvavan tulevaisuudessa. Ilmastonmuutoksen

vaikutukset ja BSAP:n mukaiset ravinteiden vähennystavoitteet voivat myös tuottaa Husumbuktenissa hyvin samankaltaisia muutoksia kuin muilla pilottialueilla. Suurin ero Husumbuktenissa on, että alueella on teollista toimintaa, joka voi vaikuttaa rannikkoalueen tarjoamiin tuotantopalveluihin (pintaveden käyttö). Mikäli teollinen toiminta lisääntyy tulevaisuudessa, vaikutus mm. alueen kulttuuripalveluihin on negatiivinen.

3.3. Pohdinta

3.3.1. Ekosysteemipalvelujen tulevaisuus

Ekosysteemipalveluissa tapahtuvia tulevaisuuden muutoksia arvioitiin pahimmassa mahdollisessa ilmastotarkennusarviossa (RCP8.5) ja HELCOMin ravinteiden vähennyssuunnitelmien (BSAP) mukaan. Arviointi tehtiin kolmelle pilottialueelle, joiden mm. ympäristöissä, ihmispaineen tasossa ja lajikoostumuksissa oli eroja. Näistä eroista huolimatta pilottialueiden ekosysteemipalveluiden tulevaisuuden muutoksissa havaittiin myös useita yhtäläisyyksiä. Tärkeimmät trendit olivat, että tuotantopalveluiden odotetaan kasvavan ja kulttuuripalvelujen vähenevän tulevaisuudessa. Säättelypalveluissa vaste tulevaisuuden muutoksiin oli vaihtelevaa ja noin puolella palveluista havaittiin positiivisia muutoksia ja puolella negatiivisia. Suurin kasvu tuotantopalveluissa liittyy merialueiden ja niiden resurssien käytön odotettavissa olevaan lisääntymiseen tulevaisuudessa. EU:n sinisen kasvun strategiaa viedään eteenpäin myös Suomessa ja Ruotsissa ja molempien maiden hallitukset tukevat sitä edistäviä hankkeita (YM 2016, 2020; HaV 2020a; Ahvonen ym. 2019), joten voimme odottaa, että meren hyödyntäminen kasvaa sadan vuoden päästä. Erityisesti erilaisten kalapohjaisten tuotteiden, lääketieteelliseen ja kosmetiikkaan käyttöön tarkoitettujen materiaalien sekä vesiviljelyn (parempi tuotto lämpimässä ilmastossa) odotetaan lisääntyvän (Ahvonen ym. 2019). Ilmastonmuutoksen suurin suora vaikutus tuotantopalveluihin näkyy tulevaisuuden kalasaaliissa, sillä odotamme kylmään veteen sopeutuneiden kalalajien (esim. lohi ja siika) saaliiden vähenevän tulevaisuudessa, kun taas lämpimän veden kalojen (esim. ahven, hauki ja särkikalat) saaliiden odotetaan lisääntyvän. Tämän arvioidaan muuttavan myös kaupallisesti keskeisimpiä kalalajeja tulevaisuudessa. Lohikalalajien odotetaan kärsivän ilmastonmuutoksesta, ja vaikka kalanistutukset ja parempi elinkaarihallinta (kutualueiden ennallistaminen ja virtavesien liikkumisesteiden poistaminen) tulevaisuudessa ehkäisisivät kaikkein haitallisimpia vaikutuksia kaupalliseen arvoon, odotamme silti, että kalastuksen paikallinen tuotto lajeihin nähden laskee tulevaisuudessa. Toisaalta tulevaisuuden muutokset voivat painostaa ja ohjata alaa kehittämään ja jatkojalostamaan kuluttajille tarkoitettuja tuotteita myös vähemmän arvokkaista kalalajeista, kuten särkikaloista. Tärkeää on myös huomioida, että vaikka odotamme MESAT-arvioinnissa tuotantopalvelujen kokonaismäärän lisäystä, kasvu ei liity suoraan pelkästään meren tarjoamiin resursseihin ja niiden määrän kasvuun, vaan erityisesti merestä saatavien tuotteiden ja palvelujen

kysynnän kasvuun tulevaisuudessa. Meren resurssien käytön lisääminen on mahdollista, mutta jos sitä ei tehdä kestävästi, se tulee vaikuttamaan negatiivisesti säättelypalveluihin sekä kulttuuripalveluihin. Odotamme tuotantopalvelujen kasvavan pääasiassa kestävästi emmekä ole arvioineet merkittäviä haitallisia vaikutuksia tuotantopalvelujen lisääntymiseen liittyen säättelypalveluissa tai kulttuuripalveluissa.

Säättelypalveluissa tiettyjä ekosysteemipalveluja koskevat positiiviset tulevaisuuden muutokset (esim. veden kemialliset olosuhteet ja biogeokemialliset prosessit; Taulukko 1) liittyvät yksinomaan BSAP:n mukaiseen rehevöitymisen lieventymisen myönteisiin vaikutuksiin. Tämä vahvistaa myös toisinaan esille nostettua arviota, että rehevöitymisellä on suurempi vaikutus lajeihin ja ekosysteemeihin kuin mitä ilmastonmuutoksella on seuraavan 100 vuoden aikana (Viitasalo & Bonsdorff 2021; Olsson ym. 2015). Erityisesti tämä koskettaa hankealueen eteläisiä osia, jotka saavat tällä hetkellä ravinnepitoisia vesiä Itämeren päänalta (Rolff & Elfving 2015). BSAP:n seuraavien ravinnevähennysten odotetaan vaikuttavan positiivisesti moniin biogeokemiallisiin prosesseihin hankealueella ja parantavan useiden lajien elinoloja (HELCOM 2021). Arvioimme ilmastonmuutoksen kielteisten vaikutusten näkyvän tulevaisuudessa säättelypalveluiden sisällä erityisesti palveluissa ”tuholaisten ja vieraslajien hallinta” sekä ”lisääntymis- ja poikasalueiden ylläpito”. Odotetut muutokset näissä palveluissa liittyvät erityisesti vesien lämpenemisen ja suolapitoisuuden laskun negatiivisiin vaikutuksiin. Lämpenemisen odotetaan lisäävän haitallisten leväkukintojen todennäköisyyttä, parantavan vieraslajien elinoloja sekä heikentävän kylmempään veteen sopeutuneiden kalalajien lisääntymis- ja kasvualueita (Wagner & Adrian 2009; Paerl & Huisman 2009; Dukes & Mooney 1999; Jones & Cheung 2015). Vieraslajien lisääntyvä runsaus hankealueella voi johtaa muutoksiin ekosysteemitasolla ja muuttaa lajien vuorovaikutussuhteita tulevaisuudessa, kun taas lisääntyvät haitalliset leväkukinnat voivat satunnaisesti huonontaa veden laatua ja aiheuttaa muutoksia paikallisesti pohjan happiolosuhteissa. Lisäksi hankealueella maankohoamisen odotetaan lieventävän merenpinnan nousuun liittyviä ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia, kuten erityisen voimakkaiden tulvien haittavaikutuksia, joiden odotetaan olevan paljon haitallisempia etelämpänä Itämerellä, jossa maankohoaminen on heikompaa (esim. von Storch ym. 2015). Kuitenkin jäättömät talvet lisäävät aallokon aiheuttamaa tulvariskiä rannikolla tulevaisuudessa talvikausina.

Kulttuuripalvelujen osalta ilmastonmuutoksen odotetaan vaikuttavan negatiivisesti kulttuuriperintökoh-

teisiin, jotka voivat kärsiä happamoitumisesta, myrskystä ja korkeammista lämpötiloista (Perez-Alvaro 2016; Kaslegard 2011; Sabbioni ym. 2008), sekä jäähän liittyviin kulttuuripalveluihin (esim. pilkkiminen, hiihto ja luistelu), jotka todennäköisesti vähenevät suuresti tulevaisuudessa ilmaston lämpenemisen myötä. Yksi ilmastonmuutoksen positiivinen seuraus nähtiin myös pilottialueiden kesämatkailussa, sillä ilmastonmuutoksen odotetaan lisäävän paikallista matkailua. Kesän korkeammat lämpötilat ja toisaalta viileys eteläisempään Eurooppaan nähden voivat lisätä alueen vetovoimaa ja yleistä pohjoisten seutujen houkuttelevuutta matkakohteena ilmastonmuutoksen vuoksi voimakkaasti lämpenevien alueiden asukkaille (Jänkälä 2019; OECD 2018). Toisaalta merialueiden käytön lisääntyminen ihmistoiminnan seurauksena (esim. vesiviljely, merituulipuistojen lisääntyminen) tulevaisuudessa tulee vaikuttamaan negatiivisesti hankealueen esteettisiin kulttuuriarvoihin (Firestone & Kempton 2007).

Suuria eroja ekosysteemipalvelun kohtaamien muutosten suuruusluokassa tulevaisuudessa ei havaittu eri pilottialueiden välillä. Pilottialueet sijaitsevat suhteellisen lähellä toisiaan, joten suurin osa alueella vaikuttavista hydrologisista, kemiallisista ja fysikaalisista voimista ovat samat, mikä tuottaa melko samanlaisia seurauksia palveluihin kaikilla pilottialueilla. Pääasialliset erot pilottialueiden välillä tulevaisuuden palvelutarjonnassa liittyivät eroihin alueiden ihmistoiminnan määrässä: eri pilottialueiden nykyinen ja oletettu tuleva käyttö vesiviljelyyn, teollisuuteen, kalastukseen, matkailuun, uusiutuviin energialähteisiin, ennallistamiseen ja suojelutoimintaan. Lisäksi on tärkeää huomata, että palvelujen muutoksia ei voi verrata suoraan pilottialueiden välillä, koska arvioinnit on sidottu kunkin pilottialueen nykyiseen tilaan ja nykytilat voivat vaihdella eri pilottialueiden välillä.

Ekosysteemipalvelujen tulevaisuuden muutosten ennustaminen ei ole yksinkertaista. Sata vuotta on erittäin pitkä aika, ja kun arvioimme muutoksia tulevaisuuteen, kasvaa arvioiden epävarmuus jokaisen vuosikymmenen myötä. Malleilla voimme koota ennusteita tulevaisuudesta tiettyjen ympäristömuutustujen osalta, vaikka myös nämä ennusteet sisältävät paljon epävarmuutta. Kun mallinnetuista tuloksista siirrytään edelleen lajien ja ekosysteemien toimintaan, ja vielä edelleen ekosysteemipalveluiden tuotantoon, kasvaa epävarmuus joka vaiheessa. Siksi esittämämme tulokset ovat parhaimmillaankin epävarmoja. Lisäksi on tärkeää huomioida, että kaikkia lajeihin, ekosysteemeihin ja ekosysteemipalvelutarjontaan tulevaisuudessa vaikuttavia tekijöitä ei voitu ottaa huomioon MESAT-arvioinnissa. Ilmastonmuutoksen

ja ravinteiden vähentämistavoitteiden lisäksi on myös muita ekosysteemien toimintaan vaikuttavia tulevaisuuden tekijöitä, kuten ilman ja vesien saastuminen, liikakalastus, lajien vuorovaikutussuhteet, maanpeitteen muutokset ja meriroska (von Storch ym. 2015). Mutta koska näissä uhissa tapahtuvista tulevaisuuden muutoksista ei ole tarkkaa kuvaa, pyrimme huomioimaan vain ne muutoksen aiheuttajat, joista meillä on pätevä tulevaisuuden hypoteesi. Eli ilmastonmuutos, rehevöitymiskehitys sekä merialueiden käytön lisääntyminen ihmistoiminnassa.

3.3.2. Metodologiset näkökulmat

MESAT tarjoaa kätevän työkalun ekosysteemipalvelujen kokonaisvaltaiseen arviointiin tietyllä alueella, mutta arviointiin liittyy joitain näkökohtia, jotka on hyvä huomioida. Mitä tahansa ekosysteemipalvelujen arviointimenetelmää käytettäessä on erittäin tärkeää pitää mielessä, että menetelmä on vain niin hyvä kuin käytetyt indikaattorit. Indikaattorit puolestaan eivät ole koskaan täydellisiä kuvaamaan ja mittaamaan moninaisia ja laajoja palveluja (Hattam ym. 2015). Useita ekosysteemipalveluja on lähtökohtaisesti erittäin vaikeaa mitata. Jotkin taustalla olevista mekanismeista esimerkiksi säätelypalveluissa ovat edelleen huonosti ymmärrettyjä (esim. Ahtiainen & Öhman 2014; Daily 1997). Näin ollen jotkin käytetyistä indikaattoreista voivat kuvata ekosysteemipalveluita hieman puutteellisesti. Lisäksi aineistojen puute rajoittaa käytettyjen indikaattoreiden mittaustarkkuutta. Monista indikaattoreista on vain vähän avoimesti saatavilla olevaa materiaalia tai mitattua dataa, mikä vähensi tässä hankkeessa käytettyjen indikaattoreiden määrää. Ilmastonmuutoksesta johtuvien tulevaisuuden muutosten arvioiminen indikaattoreille tuotti lisävaikeuksia. Joitain indikaattoreita, joiden nykytilasta oli selkeää tietoa, jouduttiin jättämään pois arviointiprosessista, koska ei ollut selvää, miten ja kuinka voimakkaasti ilmastonmuutos vaikuttaisi niihin. Indikaattoreiden laatustandardit ovat tärkeitä, mutta niistä johtuen myös käytettävissä olevien indikaattoreiden määrä usein vähenee runsaasti ja tämä taas tekee ekosysteemipalveluiden arvioinnista epäluotettavampaa. Saatavilla olevien aineistojen määrän vähyyden ekosysteemipalveluiden arviointiin Itämerellä on yleinen ongelma ja siksi aiempi tutkimus onkin keskittynyt vain hyvin pieneen osaan eri ekosysteemipalveluita (Ahtiainen & Öhman 2014).

Likert-asteikollisella tulevaisuuden muutoksella on sekä etuja että haittoja MESAT-arvioinnissa. Indikaattoriarvojen nykytilan ja tulevaisuuden eron muuntaminen Likert-asteikolliseksi mahdollistaa indikaattorien

vertailun, mikä on MESAT-työkalun yksi tärkeimmistä eduista. Tässä hankkeessa tulevaisuuden muutoksen muuntaminen Likert-asteikolliseksi loi kuitenkin haasteita, sillä alkuperäisessä menetelmässä muunnos on laskettava (Inácio ym. 2018) absoluuttisista indikaattorin arvoista. Koska minkään indikaattorin tarkat tulevaisuuden arvot eivät tietenkään ole tiedossa, jouduimme arvioimaan muutoslaskelmia varten indikaattoreille tulevaisuuden arvot (mikäli niitä ei saatu suoraan malleista). Joillekin indikaattoreille tulevaisuuden arvojen suuruuden arvioiminen ei ollut mahdollista ja näissä tilanteissa Likert-asteikollinen muutos arvioitiin suoraan EConnect-projektiryhmässä kirjallisuuden ja asiantuntijalausuntojen perusteella ilman erillistä muutoksen laskentaa. Tällä tavalla menetelmä on kuitenkin erittäin herkkä subjektiivisille arvioinneille. Sen vuoksi EConnect-projektiryhmä piti tämän virhelähteen mielessä arviointeja tehdessään, ja kirjallisuutta, asiantuntijalausuntoja ja muuta saatavilla olevaa tietoa etsittiin ja arvioitiin mahdollisimman kattavasti.

Ekosysteemipalvelut ovat lukuisia ja moninaisia, ja joillakin palveluilla on suurempi vaikutus ihmisten hyvinvointiin kuin toisilla (Daily 1997). Vaikkakin äärimmäisen tärkeää, palvelujen arvottaminen toisiinsa nähden (englanniksi weighing) on erittäin vaikeaa ja tätä arvottamista on käsitelty kirjallisuudessa laajasti eri tavoin (esim. Armoškaitė ym. 2020; Daily 1997) kuitenkin vankkaa tai yleisesti hyväksyttyä arvotus-

menetelmää löytämättä. Palvelujen arvottamisen huono puoli on se, että jos arvottamisprosessin taustalla oleva tieto ei ole riittävän kattavaa, on mahdollista, että menetelmällä saavutetaan vähemmän todellisuutta kuvaava tulos kuin ilman palvelujen arvottamista. Palvelujen arvottamista varten ei useinkaan löydy tarpeeksi luotettavaa tietoa ja myös MESAT-arvioinnista arvottamisprosessi puuttuu. Näin ollen kaikkia eri palveluja kohdellaan tasavertaisina, vaikka ne eivät ole samanarvoisia tarjottujen etujen kannalta. Yksi esimerkki tästä koskee biologista monimuotoisuutta. Biologinen monimuotoisuus on tasapainoisten ekosysteemien edellytys, ja terveet ja kestävät ekosysteemit tuottavat vakaita ekosysteemipalveluita, jotka hyödyttävät ihmispopulaatiota (esim. Palumbi ym. 2009; Elmqvist ym. 2003). On tärkeää huomata, että biologinen monimuotoisuus on yksi avaintoimijoista ekosysteemipalveluiden tarjonnassa (esim. Cardinale ym. 2012; Peterson ym. 1998). Biologisen monimuotoisuuden on arvioitu vähenevän tulevaisuudessa ja tämä tulee vaikuttamaan osaan indikaattoreita. Onkin tärkeää korostaa, että ilmastonmuutos ja muut ihmistoiminnan paineet tulevat oletettavasti heikentämään biologista monimuotoisuutta tulevina vuosikymmeninä (esim. Bellard ym. 2012; Ojaveer ym. 2010; Worm ym. 2006) ja MESAT ei pysty antamaan biologiselle monimuotoisuudelle sitä arvoa ekosysteemipalveluarvioinnissa, joka sillä pitäisi olla.

4. Ekosysteemi- palveluindeksi (ESI)

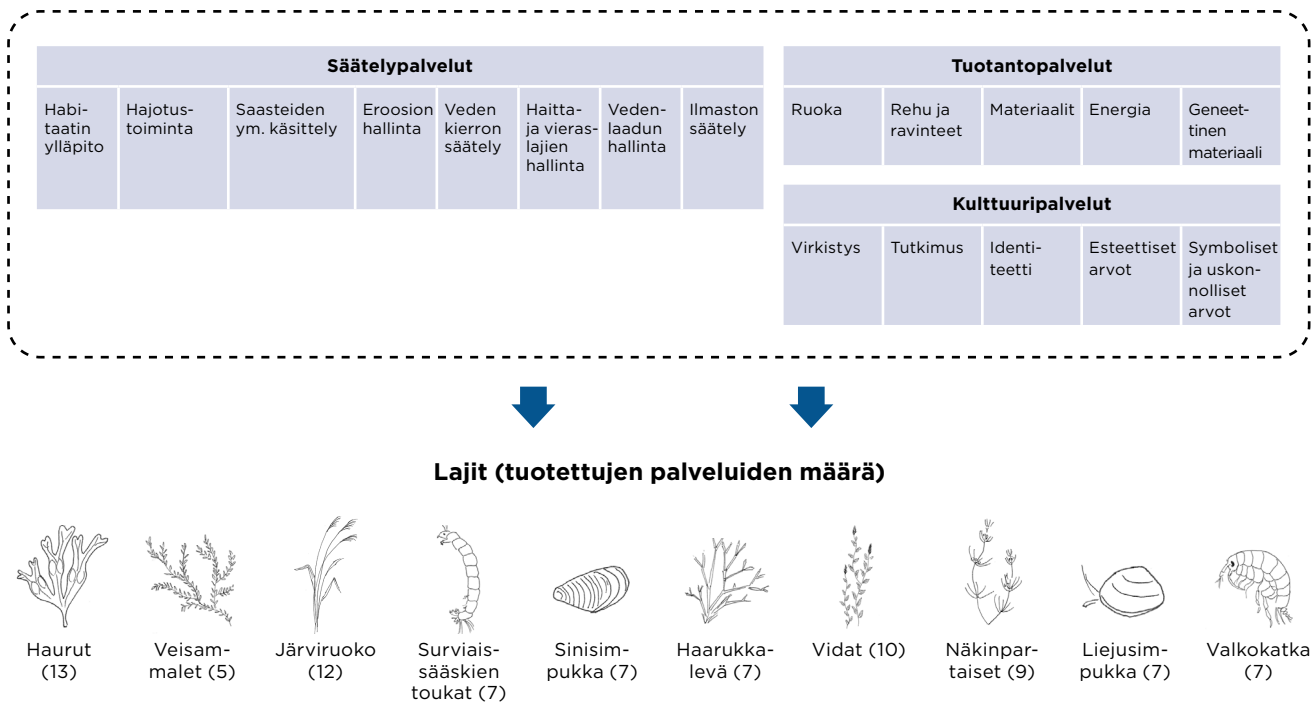
Luonnon palveluiden ja tuotteiden tuotantoon liittyvien tekijöiden ymmärtäminen on vaikeaa, koska ekosysteemit ovat monimutkaisia yksiköitä, joissa lähes lukematon määrä eri komponentteja on vuorovaikutuksessa keskenään. Erilaiset palvelujen mittaamiseen käytetyt laskentajärjestelmät ja indeksit eivät kerro koko totuutta mistään ekosysteemistä, mutta niistä voidaan katsoa tärkeitä signaaleja hyvinvoinnin edistymisestä tai taantumasta (Banzhaf & Boyd 2012). Ekosysteemi palveluindeksi (ESI) on mittaustapa, joka liittyy, mutta ei suoraan mittaa luonnon arvoa ihmiselle (Boyd & Banzhaf 2007). Tällainen itsenäinen ekosysteemi palveluindeksi voi toimia ympäristöön liittyvän hyvinvoinnin hyötyjen ja menetysten mittapuuna, ja sen avulla voidaan verrata ekosysteemi palveluja tilassa ja ajassa. Indeksien rakentamiseen on monia tapoja, mutta useimmiten indeksin arkkitehtuuri vaatii sekä taloudellista että ekologista sisältöä ja analysointia (Banzhaf & Boyd 2012). Yksi usein käytetty menetelmä on palvelujen mittaaminen ja arvottaminen WTP-menetelmällä (englanniksi willingness to pay). Tässä hankkeessa päätimme rakentaa ekosysteemi palveluindeksin Pohjanlahden eri elinympäristöjen ja lajien tarjoamiin palveluihin nojaten ja välttää arvottamasta erillisiä palveluita, sillä arvottamisprosessi on haastava ja subjektiivinen, sekä sisältää monia virhelähteenmahdollisuuksia. Hankkeessa tuotettu indeksi tarjoaa työkalun arvioida ja vertailla ekosysteemi palveluja koko hankealueella, sekä arvioida numeerisesti niissä mahdollisesti tapahtuvia tulevia muutoksia. Indeksillä kokoaa laajan valikoiman palveluita yhteen yksinkertaiseksi mittariksi sekä kuvaa niiden alueellista ja ajallista jakautumista. Indeksillä voi auttaa vastaamaan kysymykseen siitä, kuinka ilmastonmuutos voi vaikuttaa tulevaisuudessa ekosysteemi palveluihin laajemmassa mittakaavassa.

4.1. Menetelmät palveluiden arvioimiseen

Indeksien laskentaan valittiin yhteensä 10 hankealueella esiintyvää lajia tai lajiryhmää. Lajit valittiin sen perusteella, että niillä on vahva ekologinen merkitys alueella ja kyky tarjota ekosysteemi palveluja. Valitut

lajit ja lajiryhmät esiintyvät yleisesti hankealueella ja niillä on erityinen merkitys alueen palveluiden tuottamisessa, ja monilla niistä on myös keskeinen rooli ekosysteemin toiminnassa. Indeksien laskennassa mukana olevat lajit ja lajiryhmät olivat haurut (*Fucus* spp.), vidat (*Potamogeton perfoliatus*, *Stuckenia pectinata*), vesisammalet (mm. *Fontinalis* spp., *Drepanocladus* spp.), haarukkalevä (*Furcellaria lumbricalis*), järviruoko (*Phragmites australis*), näkinpartaislevät (mm. *Chara* spp., *Nitella* spp.), sinisimpukka (*Mytilus trossulus x edulis*), liejusimpukka (*Limecola balthica*), surviaissäskien toukat (mm. *Chironomus* spp., *Tanytarsus* spp.) ja valkokatka (*Monoporeia affinis*). Täydellinen luettelo kaikista laskentaan käytetyistä lajeista ja lisätietoa niiden ekologisesta merkityksestä löytyy EConnect-raportista *Ilmasto ja lajien levinneisyys Pohjanlahden keskiosissa*.

Lajien ja lajiryhmien palvelujen tarjonnan arviointi perustui MERIAVAIN-hankeeseen tehtyyn laajaan työhön Itämeren elinympäristöjen ja ekosysteemi palvelujen välisistä kytköksistä CICES luokitusjärjestelmää käyttäen (Haines-Young & Potschin 2012; ks. myös tämän raportin osiot 2.0 ja 3.0). MERIAVAIN-hankeeseen tehtiin laaja kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arviointi, jossa kerättiin ja yhdistettiin tietoa siitä, kuinka montaa ja millaisia ekosysteemi palveluja eri Itämeren luontotyypit tarjoavat. Arviointi tehtiin LuTU-luontotyypeille (Suomen luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa käytetyt luontotyypit, jotka perustuvat HELCOM HUB-luontotyypeihin) ja koska tässä hankkeessa indeksien laskentaan käytetyt lajit sisältyvät myös LuTU-luontotyypeihin, materiaalin käyttö oli suoraviivaista. MERIAVAIN-hankeeseen arvioinnin perustana käytettiin CICES-palveluita, mutta näistä valittiin vain parhaiten soveltuvat palvelut Itämeren ympäristöön. Tässä hankkeessa käytimme samaa palveluiden kokonaisuutta kuin MERIAVAIN-hankeeseen (Kuva 8). Koska ekosysteemi palvelujen arviointi tehtiin MERIAVAIN-hankeeseen kaikille Suomen merialueille yhteensä, käytimme heidän arviointiaan ainoastaan pohjana omalle tarkemmalle arviolemme hankealueen osalta. Arvioimme palvelut kullekin indeksissä käytetyille lajille ja lajiryhmälle kirjallisuuslähteitä ja asiantuntija-arvioita käyttäen (Kuva 8).



Kuva 8. Eri lajeille ja lajiryhmille arvioidut ekosysteemipalvelut ja niiden määrä. Lajien ja niiden tuottamien ekosysteemipalveluiden arviointiin käytettiin kirjallisuutta sekä asiantuntijalausuntoja, ja tuloksia käytettiin ekosysteemipalveluindeksin rakentamiseen. Ekosysteemipalvelujen nimet eivät ole virallisia CICES-nimiä, vaan lyhennettyjä versioita.

Haurut ja järviruoko katsottiin tuottavan eniten erilaisia ekosysteemipalveluja arvioitujen lajien osalta hankealueella. Lajien tuottamien palveluiden arvioinnin jälkeen lajit luokiteltiin indeksin laskentaa varten niiden tuottamien palvelujen lukumäärän mukaan: 5 tai vähemmän palveluja = luokka 1; 6–8 palvelua = luokka 2; 9–11 palvelua = luokka 3; ja 12 tai enemmän palveluja = luokka 4. Luokittelu toteutettiin, jotta lajit ja lajiryhmät, jotka tuottavat enemmän palveluja ja joilla on siten enemmän arvoa ihmisille, saavat indeksissä suuremman arvon verrattuna muihin. Lisäksi, kun tietyssä ekosysteemissä esiintyy useita lajeja ja kaikki tuottavat suuren määrän erilaisia ekosysteemipalveluja, on todennäköisempää, että ne tarjoavat myös samoja palveluja, mikä antaa ekosysteemille resilienssiä ja on arvokasta tästä syystä (Peterson ym. 1998). Emme myöskään havainneet lajeja, jotka tuottivat vain vähän palveluita, mutta olisivat yksin vastuussa tietyn palvelun tuottamisesta ja siten ekologisessa mielessä erittäin arvokkaita. Näin ollen ei ollut tarvetta antaa erityistä painotusta millekään alemmissa luokissa olevista lajeista.

4.2. Mallinnus & indeksin rakentaminen

Eri lajien ja lajiryhmien levinneisyydet vertailujaksolla (1976–2005) ja tulevaisuudessa (2070–2099) perustuivat näille ajanjaksoille tehtyihin lajien levinneisyysmalleihin (species distribution models, SDM). Lajien levinneisyysmallinnus on pohjimmiltaan tekniikka, jolla luodaan karttoja laajoilta alueilta harvemman lajihavaintotiedon pohjalta. Lajien levinneisyysmalleille annetaan syötetietoina lajien havaintoaineisto sekä havaintoaineiston ohessa näiden paikkojen ympäristöolosuhteita ja -parametreja koskevat tiedot. Mallit päättelevät tiedoista eri lajien reaktiot/vasteet ympäristöoloihin ja yleistävät lajeille elinympäristövaatimukset tutkimusalueella. Näiden tietojen perusteella mallit luovat karttoja lajien esiintymistodennäköisyydestä eri alueilla.

Tulevaisuuden lajien levinneisyysennusteita varten mallinnus toistetaan käyttämällä mallinnettuja tulevaisuuden ympäristöolosuhteita. Näin voidaan ennustaa, missä lajille sopivat alueet mahdollisesti sijaitsevat tulevaisuudessa. Tässä hankkeessa käytimme mallin-

nettuja tulevaisuuden ympäristöolosuhteita, jotka perustuivat Ruotsin ilmatieteen ja hydrologian laitoksen (SMHI) ja ilmatieteen laitoksen tuottamaan tulevaisuuden mallinnukseen. Näissä malleissa tulevaisuuden oletetaan kehittyvän siten, että kasvihuonekaasupitoisuudet kasvavat RCP8.5 -skenaarion mukaan (pahin ilmastoskenario) ja meren ravinnetasot laskevat BSAP:n ravinteiden vähennystavoitteiden mukaisesti. Lisätietoja lajien levinneisyysmallinnuksesta löytyy EConnect-raportista *Ilmasto ja lajien levinneisyys Pohjanlahden keskiosissa*.

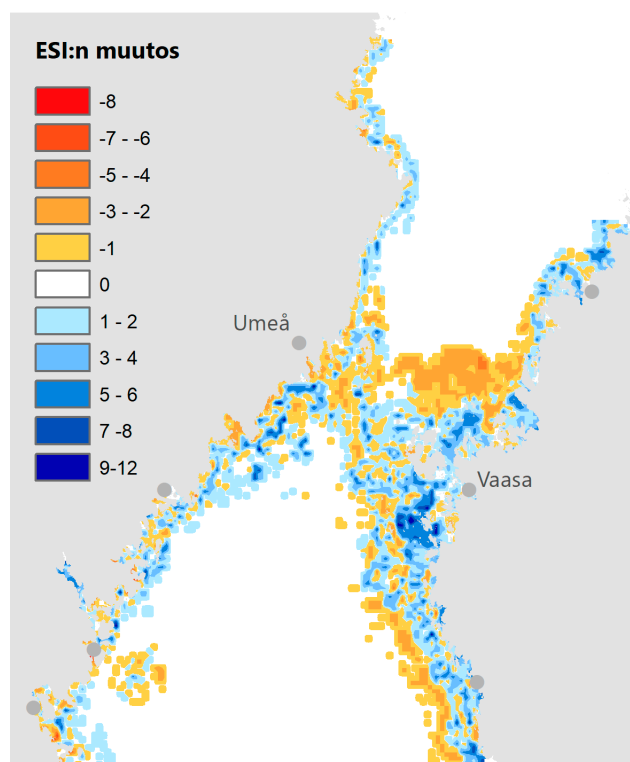
Lajien levinneisyysmallit ajettiin todennäköisyysmalleina, mikä tarkoittaa, että tuloksena saatava kartta näyttää arvot, jotka voidaan tulkita ennustetuksi lajin esiintymistodennäköisyyksiksi kyseisellä alueella. Malleihin lisättiin jokaista lajia varten tietty lajikohtainen kynnyсарvo, jotta voitiin keskittyä todennäköisimpiin (ja siten lajille sopivimpiin) esiintymisalueisiin. Käytännössä mallit esiteltiin hankealueen ja lajiston hyvin tunteville biologeille, jotka arvioivat jokaisen lajin mallia löytääkseen mallinnetulle todennäköisyydelle kynnyсарvon, joka sisältää optimaalisesti kaikki lajin tunnetut esiintymät, mutta jättää pois alueet, joissa lajin tiedetään olevan harvinainen tai ei esiinny lainkaan. Tämän jälkeen mallit leikattiin näillä kynnyсарvoilla ja jäljelle jääneiden mallinnettujen alueiden katsottiin kuvaavan lajeille todennäköisimpiä esiintymisalueita.

Kunkin lajin esiintymispaikoille annettiin lajikohtainen arvo, joka kuvasi niiden kykyä tuottaa ekosysteemipalveluita, kuten on kuvattu aiemmin osiossa 4.1. Mallinnus tehtiin 2 km x 2 km ruudukkoon, ja mallit summattiin lajikohtaisten arvojen mukaan. Jos esimerkiksi 2 km x 2 km ruudukon sisälle oli mallinnettu haurujen, sinisimpukoiden, liejusimpukoiden, yksivuotisten rihmalevien ja järviruo'on esiintyminen vertailujaksolla, se sai kokonaisindeksi-arvoksi $4+2+2+1+4 = 13$ kunkin lajin ekosysteemipalveluja kuvaavien arvojen perusteella. Jos tulevaisuudessa mallinnuksen mukaan sinisimpukat ja haurut katoaisivat ruudukosta, niin indeksi putoaisi $2+1+4$ eli 7:ään, laskien 46% , $((13-7)/13)*100$.

Hankealueen kokonais-ekosysteemipalveluindeksin arvo laskettiin kaikkien hankealueen ruudukoiden arvojen summana. Hankealueen ekosysteemipalveluissa sadan vuoden päästä tapahtuvan muutoksen tutkimista varten, vertailujakson indeksiarvoa verrattiin tulevaisuuden indeksiarvoon. Koska indeksin muutoksessa saattaisi olla mielenkiintoisia alueellisia eroja hankealueen sisällä, tuloksista tuotettiin myös kartta, josta spatiaaliset muutokset saatettiin nähdä.

4.3. Tulokset

Lajikohtaisten ekosysteemipalveluiden määrää kuvaavien arvojen, mallinnetun lajien levinneisyyden ja näistä yhdessä lasketun ekosysteemipalveluindeksin mukaan hankealueella kokonaisuudessaan indeksi tulee keskimäärin kasvamaan hieman, 3% . Tämä muutos on kuitenkin niin vähäinen, että sillä ei käytännössä ole merkittäviä vaikutuksia odotettavissa oleviin kokonaispalveluihin hankealueen mittakaavassa. Mielenkiintoisempaa on, että indeksin muutoksessa on huomattavia alueellisia eroja (Kuva 9). Selkein mallissa havaittava kuvio on nähtävissä Merenkurkussa ja hankealueen Suomen rannikolla, sillä matalien rannikkoalueiden ekosysteemipalvelut näyttävät indeksin mukaan kasvavan, kun taas rannikon syvemmällä alueilla ekosysteemipalveluiden muutos on negatiivinen tulevaisuudessa vertailujaksoon verrattuna. Indeksien ja siten ekosysteemipalveluiden negatiivinen muutos Suomen rannikon syvillä alueilla ja erityisesti Merenkurkussa heijastavat sinisimpukoiden, liejusimpukoiden ja valkokatkan levinneisyysalueiden vähenemistä, ja kaikki nämä lajit tarjoavat suhteellisen



Kuva 9. Ekosysteemipalveluindeksi (ESI) kasvaa useimmilla Suomen rannikon matalilla alueilla ja vähenee syvemmällä alueilla. Ruotsin rannikolla ei havaittu selkeää indeksin vähenemistä syvemmille alueilla, vaan indeksi muuttuu alueellisesti enemmän. Indeksien keskimääräinen muutos koko hankealueella on lievästi positiivinen ja kasvaa 3% .

paljon ekosysteemipalveluita. Sinisimpukoihin tulee vaikuttamaan negatiivisesti veden suolapitoisuuden lievän laskun ja lämpötilan nousun yhteisvaikutus, kun taas liejusimpukat tulevat kärsimään suolapitoisuuden ja ravinnepitoisuuksien laskusta, ja valkokatka veden lämpötilan noususta. Lisäksi suurin yhtenäinen alue, jolla on havaittavissa negatiivinen vaikutus ekosysteemipalveluihin aivan Merenkurkun pohjoispuolella, johtuu valkokatkan ennustetusta vähenemisestä. Valkokatka on tärkeä ekologinen rooli syvillä pehmeillä pohjilla, sillä se kuluttaa pohjille kertyvää orgaanista ainesta ja samalla möyhii ja hapettaa pohjasedimenttejä. Ekosysteemipalveluiden voimakas lasku syvillä pehmeillä pohjilla ei kuitenkaan ole välttämättä niin rajua kuin indeksi antaa olettaa, sillä indeksin laskusta jätettiin pois toinen samankaltaisen ekologisen lokeron täyttävä lajiryhmä liejuputkimadot (*Marenzelleria* spp.). Liejuputkimadot jätettiin indeksistä pois, sillä kyseessä on vieraslajiryhmä Itämerellä ja niiden esiintyminen alueella on joskus ongelmallista. Ne hapettavat myös pohjasedimenttejä ja tarjoavat ekosysteemipalveluita, mutta niiden erittäin tehokas kaivautuminen voi myös vapauttaa myrkyjä pohjasedimenteistä ja lajit saattavat vaikuttaa kotoperäisten lajien elinolosuhteisiin.

Indeksin suhteellisen suuri kasvu Suomen matalalla rannikolla ja myös Ruotsin rannikolla ja Merenkurkun matalissa osissa heijastaa sitä, että monet matalien vesien lajit hyötyvät tulevaisuuden lämpimistä vesistä, pidemmästä kasvukaudesta, jääpeitteen vähenemisestä ja veden näkösyvyyden kasvusta (BSAP). Tällaisia lajeja ovat vidat, vesisammalet ja näkinpartaislevät. Lisäksi jääpeitteen väheneminen hyödyttää hauruja, jotka tuottavat suuren määrän ekosysteemipalveluita ja saattavat mallien mukaan alkaa esiintyä matalammissa vesissä tulevaisuudessa. Syy siihen, että Ruotsin rannikolla ei nähdä vastaavaa laskua indeksissä kuin Suomen rannikolla siirryttäessä syvemmillä vesillä, johtuu oletettavasti Ruotsin rannikon topografiasta. Ruotsin rannikko on jyrkkää, joten lajeille ja erityisesti yhteyttäville lajeille, jää suhteellisen kapea alue, jolla esiintyy. Todennäköisesti lajien tulevaisuuden levinneisyyteen ja ekosysteemipalveluihin vaikuttavat tekijät ovat pitkälti samat hankealueen molemmilla puolilla, mutta koska Ruotsissa syvyys putoaa niin nopeasti, voi indeksin laskentaresoluutio olla liian karkea selkeän muutoksen havaitsemiseksi palveluissa. Lisäksi sinisimpukoita esiintyy Ruotsin rannikolla kapealla kaistaleella, ja lajin esiintyminen ja runsaus on Suomen puolella rannikkoa paljon suurempi, joten lajin väheneminen on myös suhteellisesti suurempaa Suomen rannikolla ja tämä ero näkyy indeksissä.

BSAP:n mukaiset ravinteiden vähennystoimet vaikuttavat indeksiin myös yleisesti ottaen positiivisesti. Rehevöitymisen hillitseminen parantaa useiden lajien elinoloja esimerkiksi lisäämällä veden näkösyvyyttä, parantamalla pohjan happiolosuhteita ja vähentämällä sedimentaatiota. Erityisesti haurujen ja haarukkalävän esiintymistodennäköisyys paranee BSAP:n ansiosta.

4.4. Pohdinta

Ekosysteemipalveluindeksi tarjoaa mielenkiintoisen katsauksen ekosysteemipalveluiden mahdollisiin muutoksiin koko hankealueella tulevaisuudessa. Indeksi heijastelee sekä ilmastonmuutoksen kielteisiä vaikutuksia että BSAP:n rehevöitymisen lieventämisen myönteisiä vaikutuksia lajeihin ja palveluihin. Lisäksi ilmastonmuutos voi hyödyttää joitakin lajeja (esim. jään vähenemisen vaikutus hauruihin) ja BSAP voi rajoittaa joidenkin lajien menestystä (esim. fosforin määrän vähenemisellä on epäsuorasti vaikutus liejusimpukoiden ravinnonsaantiin). Indeksi kuvaa hyvin sitä, että meren ympäristöolosuhteiden muuttuessa muuttuu myös pohja-alueiden soveltuvuus lajeille. Tämä tarkoittaa, että lajit siirtyvät esiintymään uusille sopivammille alueille ja näin myös niiden tuottamat palvelut siirtyvät. Joillakin alueilla ekosysteemipalveluiden määrä siis laskee ja toisilla lisääntyy, ja muutos tulee todennäköisesti olemaan mosaiikkimaista. Kun voimme olettaa lajien levinneisyyden ja ekosysteemipalvelujen määrän muuttuvan alueellisesti, olisi tärkeää varmistaa laajemmassa mittakaavassa, että lajeilla on mahdollisuus liikkua ja siirtyä sopivammille alueille ja että ihmistoiminta (esim. meri- ja rantarakentaminen, ruoppaukset, tuulivoima) eivät ole esteenä lajien siirtymiselle. Lisäksi indeksin mukaan tärkeiden syvien vesien ja kovaan pohjaan sopeutuneiden lajien tuottamat palvelut tulevat heikkenemään erityisesti Suomen rannikolla ja Merenkurkussa. Tämä korostaa sitä, että alueet, joilla laskun odotetaan tapahtuvan, olisi otettava huomioon merialuesuunnittelussa, jotta voitaisiin varmistaa, ettei lajien tilanne entisestään heikkene ihmistoiminnan vaikutuksesta.

Matala Merenkurkun alue on ekologisesti tärkeää aluetta, joka lähentää Suomen ja Ruotsin rannikkoa ja toimii myös lajien mahdollisena liikkumis- ja leviämiskeinona maiden välillä. Merenkurkun matalaa aluetta on laajalti pidetty alueena, jossa ilmastonmuutoksen vaikutukset murtovesilajeihin ja ekosysteemeihin näkyvät ensimmäisenä, sillä mereiset lajit elävät alueella suolapitoisuuden suhteen lähellä sietokykynsä rajoja ja koska matalilla alueilla veden lämpeneminen tulee olemaan voimakkaampaa. Tässä hankkeessa tuotettu

ekosysteemipalveluindeksi heijastaa tätä muutosta Merenkurkun alueella, koska palveluiden siellä odotetaan yleisesti vähenevän.

Indeksin heikkona puolena on, että se ei ota laajasti huomioon kaikkia alueella esiintyviä lajeja ja siten palveluita, vaan keskittyy tiettyihin lajeihin ja lajiryhmiin. Esimerkiksi kalalajit ja kasviplankton sekä eläinplankton ovat tärkeitä lajiryhmiä Itämeren ekosysteemeissä, ja ne tuottavat suoraan ja epäsuorasti palveluita ihmisille, mutta niitä ei pystytty ottamaan ekosysteemipalveluindeksissä huomioon. Syynä tähän on se, että mallinnuksen kautta rajoitteena olivat saatavilla oleva mallinnukseen soveltuva aineisto ja sen käytettävyys

indeksin rakentamisessa. Itämerellä tavattavia makrofytyttejä ja pohjaeläimistöä on kartoitettu laajasti, mikä mahdollistaa näiden lajien levinneisyyden mallintamisen tulevaisuuteen. Toisaalta on myös mielenkiintoista keskittyä tiettyihin tärkeisiin lajeihin ja saada tietoa putkilokasvien, makrolevien ja pohjien selkärangattomien tuottamista palveluista. Lisäksi tässä hankkeessa käytetyt menetelmät tulevaisuuden ekosysteemipalveluiden arviointiin, eli MESAT-työkalu ja ekosysteemipalveluindeksi täydentävät toisiaan: MESAT kuvaa muutoksia pienemmässä mittakaavassa, mutta laajemmalle joukolle erilaisia ekosysteemipalveluja, ja indeksi kuvaa tärkeiden lajien tuottamien ekosysteemipalveluiden muutoksia laajemmassa mittakaavassa.

5. Johtopäätökset

Hankkeen tavoitteena oli tuottaa uutta materiaalia siitä, miten ilmastonmuutos voi vaikuttaa hankealueeseen sadan vuoden päästä. Koko alueen kattavia ennusteita ei ole aiemmin tehty ilmastonmuutoksen vaikutuksista lajien levinneisyyteen, ekosysteemi-palveluihin tai elinympäristöjen kytkeytyneisyyteen. Tuotettu materiaali on tarkoitettu paitsi suuren yleisön käyttöön myös käytettäväksi ilmastonmuutokseen sopeutumisessa ja yhteiskunnallisessa suunnittelussa. Ilmastonmuutoksen mereen kohdistuvien vaikutusten ennustaminen voi auttaa suunnittelemaan mahdollisiin muutoksiin sopeutumista myös luonnonsuojelun näkökulmasta ja ymmärtämään, mitkä alueet voivat olla tulevaisuudessa erityisen tärkeitä lajeille ja ekosysteemeille.

Tässä hankkeessa käytetyt ilmastomallit osoittavat, että suurimmat ympäristömuutokset tapahtuvat veden lämpötilassa ja jääpeitteessä, ja siten niillä on suurin vaikutus lajeihin ja ekosysteemeihin. Lajien levinneisyyteen voimakkaasti vaikuttavan suolapitoisuuden ei odoteta muuttuvan merkittävästi seuraavien sadan vuoden kuluessa, vaikka tulevaisuuden suolapitoisuutta koskevat ennusteet ovatkin varsin epävarmoja. Jos suolapitoisuus alenisi enemmän kuin mallit ennustavat, muutokset lajien levinneisyydessä voisivat olla selkeämpiä ja vaikuttaa edelleen niiden tuottamiin ekosysteemi-palveluihin. Yleisesti ottaen mallien mukaan hankealueen kasvisto ja eläimistö tulevat olemaan myös tulevaisuudessa pitkälti samankaltaisia kuin vertailujaksolla. Tulevaisuudessa tapahtuvien lajien levinneisyyteen liittyvien merkittävimpien muutosten taustalla ovat aiempaa lämpimämmät ja kirkkaammat vedet, jääpeitteen oheneminen ja nykyistä hieman alhaisempi suolapitoisuus. Merilajit, jotka elävät jo nyt alhaisen suolapitoisuuden suhteen kestokykynsä rajoilla (esim. sinisimpukka), voivat vähentyä tulevaisuudessa, samoin kuin viilleitä vesiä suosivat lajit (esim. valkokatka). Lisäksi oheneva ja vähenevä jääpeite hyödyttää erityisesti monivuotisia leviä ja kasveja, koska jää ei hankaa kasvustoja pois joka vuosi. BSAP:ssa esitettyjen ravinteiden vähennystavoitteiden saavuttaminen johtaisi kirkkaampiin vesiin, mikä hyödyttää useimpia lajeja, jotka ovat alun perin sopeutuneet matalampiin ravinnetasoihin. Lisää

odotettavissa olevista muutoksista lajien levinneisyyteen voi lukea EConnect-raportista *Ilmasto ja lajien levinneisyys Pohjanlahden keskiosissa*.

Muutoksien ekosysteemien kytkeytyneisyydessä sekä ekosysteemi-palveluiden tarjonnassa tulevaisuudessa odotetaan seuraavaan muutoksia lajien levinneisyydessä ja runsaudessa. Ekosysteemi-palveluissa tuotantopalveluiden ennakoidaan lisääntyvän tulevaisuudessa, kun taas ilmastonmuutoksen ja BSAP:n vaikutusten säätelypalveluihin odotetaan olevan moninaisia (toiset palvelut lisääntyvät ja toiset vähenevät). Kulttuuripalveluissa hankealueen hyödyntäminen kesäaikaan oletettavasti lisääntyy, kun taas talveen liittyvät kulttuuripalvelut vähenevät. Ilmastonmuutos voi myös tulevaisuudessa vaikuttaa negatiivisesti alueen kulttuuriperintöarvoihin. Lisäksi ekosysteemi-palveluindeksiin ja mallinnettuihin lajeihin sidottujen ekosysteemi-palvelujen ei odoteta muuttuvan tuotettujen palveluiden määrässä, mutta koska lajien levinneisyysalueiden odotetaan muuttuvan, siirtyvät tiettyjen palvelujen tuotantoalueet eri alueille.

Kytkeytyneisyysanalyysien tulokset viittaavat siihen, että Merenkurkku on lajeille tärkeä reitti Ruotsin ja Suomen välillä. Lajien liikkuminen on helpompaa Pohjanlahden Suomen puoleisella alueella, koska ranta on matala, minkä johdosta ekosysteemit ovat monilajisia ja laajoja. Ruotsin puolella lajien liikkumista vaikeuttaa monin paikoin jyrkästi syvenevä rannikko, mikä rajoittaa monien lajien esiintymisen melko kapealle vyöhykkeelle ja heikentää niiden leviämismahdollisuuksia eri ekosysteemien välillä. Ruotsin rannikkoa Pohjanlahden keskiosissa voidaan siis pitää luontaisesti pirstoutuneena ja herkkänä elinympäristönä. Elinalueiden keskinäistä kytkeytyneisyyttä käsittelevien analyysien tarkemmat tulokset ovat luettavissa EConnect-raportista *Ecological connectivity and resilience of marine protected areas in the central Gulf of Bothnia*. Lajit ja ekosysteemit voivat sopeutua ympäristönsä muutoksiin, jos muutokset ovat asteittaisia ja tapahtuvat pitkän ajan kuluessa (Jansen ym. 2007; Viitasalo ym. 2015). Ihmisen aiheuttama ilmastonmuutos ei ole asteittainen ilmiö vaan etenee nopeasti (Jansen ym. 2007; Viitasalo ym. 2015) ja asettaa valtavia haasteita

lajien sopeutumiskyvyille (Viitasalo ym. 2015; Urban 2015).

Hankkeessa käytettyjen mallien mukaiset ympäristömuuttujiin liittyvät muutokset ovat linjassa muiden Itämeren ja Pohjanlahden tulevaisuutta koskevien ennusteiden kanssa (erityisesti HELCOM & Baltic Earth 2021 ja Meier ym. 2021). On syytä muistaa, että hankkeen tulokset koskevat tiettyjä skenaarioita, lajeja, ekosysteemipalveluita ja ekologista kytkeytyneisyyttä käsitteleviä analyysejä hankealueella eivätkä välttämättä ole yleistettävissä laajemmin. Tulokset antavat viitteitä siitä, miten tutkitut lajit voivat reagoida ilmastomuutokseen ja miten ilmastomuutos voi vaikuttaa näihin lajeihin liittyviin erilaisiin ekosysteemipalveluihin ja elinalueiden keskinäiseen kytkeytyneisyyteen. On kuitenkin huomattava, että jos tulevaisuus noudattelee toista ilmastoskenaariota kuin mitä tässä tutkimuksessa on käytetty tai jos BSAP-ohjelmaa ei onnistuta toteuttamaan, tulevaisuus voi näyttää erilaiselta kuin tässä hankkeessa on esitetty. Lisäksi, kuten aiemmin todettiin, ilmastomuutoksen vaikutusten ennustamiseen liittyy paljon epävarmuutta.

EConnect-hanke on keskittynyt ilmastomuutoksen vaikutuksiin Pohjanlahden keskiosissa. Kuten tässäkin raportissa on toistuvasti todettu, myös muilla teki-joilla on merkittävä vaikutus meren tulevaisuuteen. Yksi näistä stressitekijöistä on biodiversiteetin köyhtyminen, joka liittyy läheisesti ilmastomuutokseen. Tasapainoinen ja toimiva ekosysteemi on ihmisen hyvinvoinnin perusta, ja ympäristökriiseihin reagoimatta jättäminen voi vaarantaa ihmisen hyvän elämänlaadun (IPBES-IPCC 2021). On ratkaisevan tärkeää, että biodiversiteetin köyhtymisen ja ilmastomuutoksen torjumiseksi tehtyjä toimenpiteitä ei nähdä toisistaan erillisinä asioina. Sen sijaan tulisi tehdä toimia, joilla voidaan samanaikaisesti vastata molempiin ongelmiin (Pörtner ym. 2021). Sama pätee muihinkin ympäristöongelmiin, kuten rehevöitymiseen, saastumiseen, merien roskaantumiseen ja muihin lisääntyneestä ihmistoiminnasta johtuviin haasteisiin, jotka vaikuttavat Itämereen ja Pohjanlahteen. Esimerkiksi rehevöitymisen vähentäminen auttaa samanaikaisesti hillitsemään ilmastomuutoksen vaikutuksia. Jos ymmärrämme tämän, olemme lähempänä tavoitettamme saavuttaa terve meriympäristö kuin mihin pääsisimme keskittymällä kuhunkin ongelmaan erikseen.

Liitteet

A1 MESAT menetelmät

Tietokoneavusteinen MESAT-työkalu on rakennettu toimimaan MS Excel -muodossa. Työkalun avulla arvioidaan ekosysteemipalveluiden tarjonnassa tapahtuvia suhteellisia muutoksia indikaattoreiden avulla (Inácio ym. 2018). MESATin sisällä ekosysteemipalvelut on luokiteltu Haines-Young & Potschinin (2012) kehittämän CICES-luokitusjärjestelmän version 4.3 mukaan (uusinta CICES-versiota 5.1 ei käytetty, koska versio 4.3 oli parhaiten MESAT-yhteensopiva ja palveli paremmin hankkeen tarpeita). CICES erottelee kaikki palvelut tuotanto-, säätely-, ja kulttuuripalveluihin. Näiden palveluiden päätasojen sisällä palvelut on jaettu edelleen hierarkkisesti divisioihin, ryhmiin ja luokkiin, jotka etenevät kohti tarkemmin rajattuja palveluita kullakin tasolla. Tässä työssä keskityimme vain CICES-luokitusjärjestelmän luokka-tason palveluihin, jotka ovat kaikkein tarkimmin rajattuja palveluita. MESAT-työkalussa palveluiden tarjonnan muutoksia arvioidaan indikaattoreiden avulla. Indikaattoreita käytetään palveluiden arvioimiseen, koska useimpia palveluita ei voida kvantifioida suoraan vaan arviointiin tarvitaan tarkempia mittareita (Egoh ym. 2012). MESAT käyttää EU-hankkeen MAES (Maes ym. 2016) indikaattorijoukkoa, koska sillä on suora vastaavuus CICES-luokitusjärjestelmän kanssa, ja indikaattorit kattavat meriympäristöt hyvin. Inácio ym. (2018) määritteli lisäksi uusia indikaattoreita tilanteisiin, joissa MAES-indikaattorijoukko ei tarjonnut sopivia indikaattoreita tietyille palveluille. Samoin tehtiin tässä hankkeessa, sillä joitakin alueellisesti tärkeitä indikaattoreita tunnistettiin, mutta vastaavuus puuttui MAES-indikaattorijoukosta ja myös Inácion ym. (2018) määrittelemistä indikaattoreista. Uudet indikaattorit valittiin tiedon saatavuuden, asiantuntija-arvioiden ja mallinnetun tiedon perusteella. Tämän hankkeen lopullinen indikaattorijoukko koostui 39 indikaattorista, vaikka kaikkia indikaattoreita ei arvioitu kaikilla pilottialueilla (Taulukko 1) alueellisten tietojen puutteen vuoksi. Nämä 39 indikaattoria edustivat 19 palvelua (5 tuotantopalvelua, 9 säätelypalvelua sekä 5 kulttuuripalvelua), jotka olivat mahdollista arvioida pilottialueilla.

A1.1 Arviointiprosessi

MESAT-arviointi alkaa pilottialueiden huolellisella määrittelyllä ja jatkuu sitten arviointiajanjaksojen määrittämiseen. Tässä hankkeessa MESAT-arvioinnin nykyisyyden ajanjaksoksi asetettiin vuodet 2010–2020 ja tulevaisuuden ajanjaksoksi vuodet 2100–2120. SMHI:n ja Ilmatieteen laitoksen ilmastomalleissa sekä lajien levinneisyysmalleissa vertailuajanjakso ja tulevaisuuden ajanjakso poikkesivat MESAT-arvioinnissa käytetyistä nykyisyyden ja tulevaisuuden ajanjaksoista. Malleissa vertailujaksona olivat vuodet 1976–2005 ja tulevaisuuden vuosina 2070–2099. Syytä tähän MESAT-menetelmän ja käytettyjen mallien aikajaksojen epäsuhtaisuuteen oli se, että malleissa ajanjaksot ovat sidottuja johtuen mm. mallien taustalla vaikuttavien säteilypakotteiden vuoksi, eikä niitä voida muuttaa (lisätietoa tästä ja käytetyistä malleista löytyy EConnect-raportista *Ilmasto ja lajien levinneisyys Pohjanlahden keskiosissa*) ja MESAT-arvioinnissa tavoitteena oli verrata nykyisiä palveluita 100 vuoden päähän tulevaisuuden palveluihin. Näin ollen MESAT-arvioinnissa malleista saatua dataa käytettiin pohjana perusteellisille asiantuntija-arvioille, joiden tarkoituksena oli arvioida mallinnustuloksia lähemmäs MESAT ajanjaksoja. Mallinnetun tiedon arvioinnissa käytettiin apuna kirjallisuuslähteitä sekä historiallisia ja nykypäivän ympäristömuuttujien tietoja.

Ajanjaksojen määrittämisen jälkeen arviointiin indikaattoreiden nykyiset ja tulevat arvot kaikille pilottialueille. Tässä hankkeessa käytettiin sekä kvantitatiivisia että kvalitatiivisia menetelmiä arviointiin. Indikaattoreille, joille voitiin käyttää mallinnettua dataa, nykyiset ja tulevaisuuden indikaattoriarvot saatiin suoraan malleista. Indikaattorit, joita ei voitu mallintaa, arviointiin käyttämällä mitattuja nykyarvoja (esim. nykyinen kalasaalis) ja tulevaisuuden kaikkein todennäköisimmät muutokset näihin arvoihin arviointiin kirjallisuus- ja asiantuntijaperusteisesti. Mallinnettu data sisälsi ympäristömuuttujatietoja (esim. suolapitoisuus, lämpötila, Secchi-syvyys, happipitoisuus, ravinnepitoisuudet, merijää) sekä lajien levinneisyysaineistoa, jota käytettiin laskettaessa erilaisia indikaattoreita, mm. sinisimpukoiden vedensuodatuskyky, elinympäristöjen

laajuus (makrofyytit) ja hiilivarasto. Liitteen Taulukko A3 yhdistää kaikki eri indikaattoreiden arvioinnissa käytetyt lähteet ja taustatiedot. Pilottialueiden mitattujen nykyisten indikaattoriarvojen lähteinä käytettiin kirjallisuutta ja erillisiä tietokantoja. Muutamista indikaattoreista puuttui sekä mallinnetut että mitatut indikaattoriarvot. Nämä indikaattorit hyväksyttiin kuitenkin arviointiprosessiin, mikäli näiden indikaattoreiden tulevasta muutoksista oli vahva asiantuntijankemys tässä hankkeessa tarkastellun ilmastokeskenaarion (RCP8.5) ja ravinneskenaarion (BSAP) muutosten suhteen.

Indikaattoriarvojen muutosten tarkastelemiseksi toisiinsa nähden ja vertailukelpoisten tulosten saamiseksi, nykyisten ja tulevaisuuden indikaattoriarvojen muutokset muunnettiin Likert-asteikon muutoskategoriksi (Kuva 3). Likert-asteikon muutosluokka vaihtelee välillä -5 ja +5, ja miinusarvot osoittavat ekosysteemipalvelun tarjonnan vähenemistä ja plus-arvot osoittavat palveluiden tarjonnan kasvua, kun taas arvo 0 kuvaa, että ekosysteemipalvelutarjonnassa ei havaittu muutosta nykyisyyden ja tulevaisuuden välillä. Kohdistus eri muutosluokkiin tehtiin MESAT-työkalussa räätälöidyllä funktiolla, jossa luokka laskettiin indikaattorin nykyarvon, tulevaisuuden ja tiettyjen raja-arvojen perusteella (katso lisää Inácio ym. 2018). Mallinnettujen indikaattoreiden (nyky- ja tulevaisuuden arvot malleista) muutosluokat saatiin suoraan MESAT funktiosta (huom. vuosien 2010–2020 nykyarvoja saatettiin muuttaa asiantuntija-arviointiperusteisesti hieman mallien vuosien 1976–2005 vertailujakson arvoista, kuten yllä on mainittu). Indikaattoreille, joista oli tiedossa mitatut nykyarvot, tehtiin kirjallisuuteen ja asiantuntija-arvioihin perustuva arvio tulevaisuuden arvoista muutosluokan laskemiseksi MESAT funktiolla. Tilanteissa, joissa muutosluokan suora laskeminen ei ollut mahdollista, eli indikaattoreille ei ollut saatavilla mitattuja nykyarvoja tai tarkka arvio tulevaisuuden arvoista oli vaikea laskea, perustettiin asiantuntijaryhmä arvioimaan indikaattoreiden muutosluokkaa suoraan ilman funktiopohjaista laskentaa. Näille indikaattoreille tehtiin laaja kirjallisuusselvitys tulevasta muutoksista ja kuultiin useita asiaankuuluvia asiantuntijoita. Tämän jälkeen kerätty aineisto arvioi-

tiin erillisissä työpajoissa asiantuntijaryhmässä, joka koostui 8–11 EConnect-projektiryhmän jäsenestä, joilla oli monipuolista tietämystä Itämeren ympäristöstä ja biologiasta, ja muutosluokka määritettiin kerätyn tiedon perusteella. Lisäksi on tärkeää huomioida, että MESAT funktio lukee indikaattorin arvon nousun automaattisesti positiiviseksi muutokseksi ja päinvastoin, vaikka joidenkin indikaattoriarvojen nousu voi heijastaa negatiivisia muutoksia ekosysteemissä (esim. indikaattori ”haitallisten sinileväkukintojen määrä”). Näiden indikaattoreiden osalta muutosluokkaa muutettiin vastaavasti (eli muutos +2 muutettiin -2:ksi, jos vaikutus ekosysteemitasolla oli negatiivinen).

Lopuksi MESAT-työkalu luo aggregoidun tulosityhdistelmän ekosysteemipalveluiden tarjonnan kuvausta varten. Aggregointi tai tulosten yhdistäminen tehdään laskemalla kunkin hierarkkisen CICES-tason muutosarvoluokkien keskiarvo. Koska keskityimme tässä työssä CICES-luokkatason palveluihin, aggregointi tapahtuu vain luokkatasolla. Tämä tarkoittaa, että jokaiselle palvelulle lasketaan muutosluokka laskemalla *kaikkien palvelua kuvaavien indikaattoreiden* muutosluokkien keskiarvo.

A2 Pilottialueet

Utgrynnan-Molpehällorna

Utgrynnan-Molpehällorna on laaja, 1103 km² kattava merialue Merenkurkun saaristossa hankealueen Suomen puolella, sijoittuen lounaaseen alueen suurimmasta saaresta nimeltä Raippaluoto. Alue on EU:n vesipuitedirektiivin (WFD) edellyttämää vesistöalueen suunnittelua ja hoitoa varten rajattu vesimuodostuma. Osa Utgrynnan-Molpehällornan alueesta kuuluu Unescon Merenkurkun saariston ja Ruotsin Korkearannikon muodostamaan maailmanperintöalueeseen, ja lisäksi myös osa alueista Natura 2000 -luonnonsuojelualueverkostoon (esim. Ollqvist & Överholm 2010). Alue ulottuu kauas avomerelle ja lukuisat saaret muodostavat mosaiikkimaista maisemaa luoden samalla erilaisia elinympäristöjä avoimista, säille alltiista rannoista, suojaisempiin rantoihin ja laguuneihin. Suomen

puolella Merenkurkun aluetta rannat ovat tyypillisesti erittäin matalia ja Utgrynnan-Molpehällornan alueella suurin syvyys ulottuu 65 metriin, kun taas keskisyvyys on 15 metriä. Suolapitoisuus alueella on noin 4,8 ‰ ja alueella esiintyy monia merilajeja (VELMU 2020).

Utgrynnan-Molpehällornan alue tarjoaa laajan valikoiman elinympäristöjä monille eri lajeille menestyä. Avoimilla kivi- ja kalliopohjaisilla alueilla ruskoleviin kuuluvat rakkohauru *Fucus vesiculosus* ja itämerenhauru *Fucus radicans* luovat elinympäristöjä muille lajeille ja haurujen muodostaman vyöhykkeen alapuolella haarukkalevä (*Furcellaria lumbricalis*) ja sinisimpukat (*Mytilus trossulus x edulis*) asuttavat kovapohjaisia alustoja (VELMU 2020; Natura 2000 tietolomake 2018). Putkilokasvit, kuten vidat (esim. *Potamogeton* spp.), haurat (*Zannihellia* spp.) ja ärviät (*Myriophyllum* spp.), sekä useat näkinpartaislevälajit kasvavat pehmeillä pohjasedimenteillä luoden vedenalaisia niittyjä, joista selkärangattomat ja useat kalalajit löytävät ruokaa ja suojaa. Alue tarjoaa lisääntymis- ja poikasaluetta kalalajeille, jotka munivat leväpeitteisille avoimille rannoille, kuten silakka (*Clupea harengus membras*) tai suojaosille kasvipeitteisille lahdille, kuten hauki (*Esox lucius*) ja ahven (*Perca fluviatilis*). Syvemmillä pehmeäpohjaisilla alueilla tavataan selkärangattomia kuten surviassääskien toukkia, liejusimpukkaa (*Limecola balthica*), liejuputkimatoja (*Marenzelleria* spp.) ja valkokatkoja (*Monoporeia affinis*). Saarilla pesii useita merilintulajeja (esim. haahka *Somateria mollissima*, riskilä *Cephus grylle*) ja alueen poikki kulkee tärkeä lintujen muuttoreitti, joka tarjoaa levähdyspaikkoja muuttaville linnuille. Lisäksi alueella elää Itämerennorppia (*Pusa hispida botnica*) ja harmaahylkeitä (*Halichoerus grypus*). Osa alueen ulkosaaristosta on sisällytetty Suomen ekologisesti merkittäviin vedenalaisiin meriluontoalueisiin (EMMA) runsaiden makroleväesiintymien ja alueen tärkeän roolin kalojen lisääntymis- ja poikasalueina perusteella (Lappalainen ym. 2020).

Koska Utgrynnan-Molpehällornan alue ulottuu kauas avomerelle, pitkä etäisyys mantereesta on johtanut melko vähäiseen ihmistoimintaan useimmilla saarilla. Mannerta lähempänä olevilla saarilla on kuitenkin nykyään enemmän ihmistoimintaa ja kesämökkejä. Alueen saarilla on myös runsaasti kulttuurihistoriallisia kohteita, jotka muistuttavat alueen historiasta ja merkityksestä perinteisessä kalastuksessa ja merenkulussa (Claudino-Sales 2019). Saarilla sijaitsee mm. vanhoja kalastajamajoja ja -kylä sekä majakointa (SeaGIS2.0). Myös hylt muistuttavat vanhoista ajoista. Alueen saarilla vieraillee kesän aikana lukuisia purjehtijoita ja veneilijöitä, ja myös järjestettyjä retkiä

saarille tarjotaan, vaikkakin pienemmässä määrin. Utgrynnan-Molpehällornan pintavesien ekologinen tila on hyvä, mutta merkkejä heikkenemisestä on nähtävillä (SYKE 2020). Klorofylli- ja fosforipitoisuudet ovat ajoittain kohonneita, ja alueen vesiin ja tilaan vaikuttavat ravinnepitoisten vesien virtaukset muilta merialueilta etelämpää.

Yttre Täftefjärden

Yttre Täftefjärden on 36 km² kattava rannikkovesialue lähellä Uumajaa hankealueen Ruotsin puolella. Se on Täftefjärdenin alueen, johon virtaa Täfteån joki, uloin osa. Pilottialueella tavataan erilaisia luontotyyppisiä laguuneista pieniin saariin ja matalista rannoista syvempiin avovesimäisiin alueisiin. Suolapitoisuus on noin 3,4 ‰. Yttre Täfteåfjärden on suhteellisen tiheästi asuttu alue, ja sen rannoilla sijaitsee paljon kesämökkejä ja taloja, mutta myös joitain vähemmän hyödynnettyjä saaria tavataan.

Yttre Täftefjärdenin matalalle rannikkoalueelle on ominaista maankohoaminen, joka on jopa 10 mm vuodessa (Poutanen & Steffen 2014). Alueelta löytyy matalapohjaisia laguuneja, joissa esiintyy tiheää kasvillisuutta, ja joiden joukossa esim. ahven ja hauki lisääntyvät (Snickars ym. 2009; Berglund ym. 2013; Donadi ym. 2020). Laguuneissa kasvillisuuden monimuotoisuus on korkea (Naturvårdsverket 2011; Mikkola ym. 2019), mutta osa alueen laguuneista on ruopattu, mikä vaikuttaa negatiivisesti alueen kasvillisuuteen ja kalantuotantoon (Sundbland & Bergström 2014; Sundblad ym. 2014). Matalia rantoja hallitsevat näkinpartaiset kuten *Chara aspera* ja vidat, kuten *Potamogeton perfoliatus* ja *Stuckenia pectinata*. Kallio- ja kivipohjilla kasvaa rihmaleviä mm. *Cladophora glomerata*, *Ceramium tenuicorne* ja *Battersia arctica* (County Administrative Board of Västerbotten 2021c). Avoimien rantojen karkeimmat pohja-ainekset voivat toimia mahdollisina siian lisääntymisalueina (SeaGIS2.0). Myös silakka lisääntyy alueella (SeaGIS2.0). Syvempien alueiden pehmeitä pohjia asuttavat selkärangattomat, kuten valkokatka, liejusimpukka ja kilkki (*Saduria entomon*). Myös vieraslajeja, liejupukimatoja, tavataan alueelta (County Administrative Board of Västerbotten 2021c). Yttre Täftefjärdenin pienillä saarilla ja luodoilla pesii suuri lapasotkien (*Aythya marila*) yhdyskunta. Muita tavattuja lintulajeja ovat mm. kalatiirat (*Sterna hirundo*) ja pikkulokit (*Hydrocoloeus minutus*). Pesivien lintujen ja lajien määrä on alueella yleisesti korkea (Sundström & Olsson 2005).

Alue on suosittu sekä paikallisten että matkailijoiden keskuudessa. Kalastus on vähentynyt ja nykyään vain harvat paikalliset kalastajat käyttävät alueen sata-

maa säännöllisesti. Kaikki pyydetty kala käytetään ihmisravinnoksi ja suurin osa siitä myydään paikallisesti (paikalliset kalastajat, henkilökohtainen viestintä 2020). Pienempiä kalaeria myydään myös Suomeen ja Norrbottenin maakuntaan. Yttre Täftefjärdenin itäpuolelta alkaa Tavasten-Skeppviksskärgården-niminen luonnonsuojelualue, jossa rannikkoalueita on paljon vähemmän hyödynnetty ihmistoimintaan. Yttre Täftefjärdenillä on myös useita kulttuuriperintökohteita, hylkyjä ja vanhoja laivareittejä sekä satamia, sillä alueella on pitkä merenkulun historia (SeaGIS2.0). Alueella ei ole teollisuutta ja alueen vesipuidedirektiivin mukainen ekologinen tila on hyvä (County Administrative Board 2021a).

Husumbukten

Husumin lahti on noin 21 km² kattava rannikkoalue Västernorrlandin alueen pohjoisosassa Ruotsissa. Alueelle laskee Gide-joki ja alueella sijaitsee muutama pieni saari. Husumin kaupunki on tiheästi asuttua aluetta lähellä rannikkoa, ja alueella ja rannikolla on myös teollisuustoimintaa kuten sellutehdas.

Pilottialueelta tavataan matalia rantoja sekä jopa 50 metriin ulottuvia syvempiä alueita. Ekosysteemit ovat pääasiassa pehmeäpohjaisia luontotyyppisiä, ja tavattavia lajeja ovat selkärangattomia mm. kilkki, valkokatka sekä vieraslaji vaeltajakotilo (*Potamopyrgus antipodarum*) ja kasvi- ja levälajeista näkinpartaislevät, vidat ja vesitähdet (mm. *Callitriche stagnalis*). Lisäksi muutamissa paikoissa alueen ulommissa osissa hauruja esiintyy hieman (Kautsky ym. 2009; Guiry & Guiry 2021; SMHI 2021b). Lahden matalilla rannoilla tavataan myös punaisen listan lajia *Limosella aquatica*, ja alueella sijaitsee useita linnuille tärkeitä elinympäristöjä.

Valitettavasti teollisuuden päästöt ovat vaikuttaneet negatiivisesti alueen lajeihin jo pitkään. Siksi laaja osa pehmeästä pohjasta on lähes asumaton ja lajien runsaus koko Husumin lahdella on pienempi ympäröiviin vesialueisiin verrattuna (Kautsky ym. 2009). Huolimatta parannuksista päästöjen vähentämisessä ja paremmassa hallinnassa, teolliset toiminnot vaikuttavat meriympäristöön edelleen negatiivisesti (melu, kohonneet ravinne- ja kemikaalipitoisuudet, vanhojen päästöjen kertyminen sedimenttiin sekä ruoppaukset) (Korpinen ym. 2012; HaV 2015). Sellutehtaan laajennusta suunnitellaan seuraavan 10 vuoden aikana ja myös muiden teollisuuden toimialojen lievää kasvua alueella odotetaan seuraavan 100 vuoden aikana, mikä voi entisestään pahentaa Husumin lahden ekosysteemien tilaa.

Ammattikalastus Husumissa on niukkaa ja paikallisen kalastajan mukaan paikalliseen satamaan tuodut saaliit menevät pääosin ihmisravinnoksi ja ovat paikallisesti myytäviä (paikallinen kalastaja, henkilökohtainen viestintä, 2020). Virkistyskalastus on yleisempää, ja Gide-joki on tunnettu kalastuspaikka, ja myös turisteja saapuu kalastamaan (Wedin & Röschmann 2014).

Alueelta löytyy myös muutamia virkistysmahdollisuuksia, kuten Sandviken-ranta lähellä kaupunkia ja Aggösundet-ranta lahden eteläpuolella. Kesäisin alueella veneillään jonkin verran. Lahden läheisyydessä ei ole suosittuja ulkoilureittejä rannikolla (HaV 2019), mutta viereisen Fanbyn lahden ympäriltä löytyy joitakin epävirallisia kävelyreittejä ja näköalapaikkoja (Hav 2019). Husumin lahden ekologinen tila on kohtalainen (County Administrative Board 2021b).

A3 Aineistojen tietolähteet

Taulukko A3. Indikaattoreiden yksiköt ja tietolähteet pilottialueittain. A=ECOnnect mallit, B= tietokanta, C=kirjallisuus D=asiantuntija-arvio, E=ECOnnect projektiryhmän arvio.

	Ekosysteempipalvelut CICES luokkatasolla	Indikaattorit (MAES, Inacio ym. 2018 ja tämä hanke)	Yksikkö	Tietolähde			
				Ut-grynnan	Yttre Tätfef.	Husum	
Tuotantopalvelut	Eläinperäinen tuotanto	Lämpimän veden kalasaalis	Ton/yr/km ²	B, D, E	B, D, E	B, D, E	
		Kylmän veden kalasaalis	Ton/yr/km ²	B, D, E	B, D, E	B, D, E	
		Kaupallisten lajien saaliit	Ton/yr/km ²	B, D, E	B, D, E	B, D, E	
	Kasviperäinen tuotanto (kasvit ja levät)	Sato	Ton/yr/km ²	C, D, E	-	-	
		Lajien lkm.	n ^o /km ²	C, D, E	-	-	
	Vesiviljely	Sato	Ton/yr/km ²	C, D, E	C, D, E	C, D, E	
		Lajien lkm.	n ^o /km ²	C, D, E	C, D, E	C, D, E	
	Eläin- ja kasviperäiset kuidut ja muut luonnonmateriaalit	Sato	Ton/yr/km ²	C, D, E	C, D, E	C, D, E	
Säätelypalvelut	Pintaveden käyttö	Käytetyn veden määrä	m ³ /km ²	D, E	D, E	D, E	
	Ekosysteemien ja lajien tuottama suodatus/varastointi/ kasautuminen	Typensidonta	kg/yr/km ²	A, C, E	A, C, E	A, C, E	
		Perustuotanto	tonC/yr/km ²	A, E	A, E	A, E	
		Suodatuskapasiteetti	km ² /km ²	A, E	-	-	
	Erosion hallinta	Elinympäristöjen laajuus (makrofyytit)	km ² /km ²	A, E	A, E	A, E	
	Materiaalivirtojen puskurointi ja hallinta	Sedimentin kertymisnopeus	cm/yr	C, D, E	C, D, E	C, D, E	
	Tulvahallinta	Merkitsevä aallonkorkeus	m	C, D, E	C, D, E	C, D, E	
	Lisääntymis- ja poikasalueiden ylläpito	Habitaattien monimuotoisuus	n ^o /km ²	A, E	A, E	A, E	
		Secchi-syvyys	m	A, E	A, E	A, E	
		Punaisen listan lajien määrä	n ^o /km ²	C, E	C, E	C, E	
		Lisääntymisalueet (kylmä)	km ² /km ²	C, D, E	C, D, E	C, D, E	
		Lisääntymisalueet (lämmin)	km ² /km ²	C, D, E	C, D, E	C, D, E	
		% suojellut alueet	km ² /km ²	E	E	E	
	Tuholaisten ja vieraslajien hallinta	Haitalliset sinileväkukinnat	n ^o /yr/km ²	A, D, E	A, D, E	A, D, E	
		Vieraslajien esiintyminen	n ^o /km ²	C, E	C, E	C, E	
	Biogeokemialliset prosessit	Denitrifikaation tehokkuus	%	C, E	C, E	C, E	
		Veden viipymä	kk	C, D, E	C, D, E	C, D, E	
	Veden kemialliset olosuhteet	NO ₃ pintavesi	mmole-N/m ³	A, E	A, E	A, E	
		NH ₄ pintavesi	mmole-N/m ³	A, E	A, E	A, E	
		PO ₄ pintavesi	mmole-P/m ³	A, E	A, E	A, E	
		Suolapitoisuus	PSU	A, E	A, E	A, E	
		Happipitoisuus	mg/L	A, E	A, E	A, E	
	Ilmaston säätely	Hiilivarasto	tonC/km ²	A, E	A, E	A, E	
		pH	pH	B, E	B, E	B, E	
	Kulttuuripalvelut	Ranta- ja merialueiden käyttö	Turistien lkm.	n ^o /yr/km ²	C, D, E	C, D, E	C, D, E
			Venepaikkojen lkm.	n ^o /km ²	D, E	D, E	D, E
		Turistiveneiden lkm.	n ^o *cap/km ²	D, E	D, E	D, E	
		Virkistyskäyttö talvella	n ^o /km ²	E	E	E	
		Ulkoilumahdollisuuksien lkm.	n ^o /km ²	B, E	B, E	B, E	
Kulttuuriperintö		Vedenalainen	n ^o /km ²	B, C, E	B, C, E	B, C, E	
		Maalla sijaitseva	n ^o /km ²	B, C, E	B, C, E	B, C, E	
Esteettiset arvot		Koskemattoman ympäristön laajuus	km ² /km ²	C, E	C, E	C, E	
Symboliset arvot		Ikonisten lajien lkm.	n ^o /km ²	E	E	E	
Perintöön (bequest) liittyvät -arvot		Merisuojelalueiden määrä ja laajuus	km ² /km ²	C, E	C, E	C, E	

Taulukko A4. Pilottialueille arvioidut ikoniset lajit.

Hankealueella tavattavat ikoniset lajit	Utgrynnan	Yttre Täftefjärden	Husumbukten
<i>Haliaeetus albicilla</i> /Havsörn/merikotka	X	X	X
<i>Fucus</i> spp./haurut	X	X	X
Ringed seal (<i>Pusa hispida botnica</i>)/Itämerennorppa	X	X	X
White fish/migratory/merialueen vaellussiika	X	X	X
White fish/marine spawning/merikutuinen siika	X	X	X
Salmon (<i>Salmo salar</i>)/lohi	X	X	X
Perch (<i>Perca fluviatilis</i>)/ahven	X	X	X
Pike (<i>Esox lucius</i>)/hauki	X	X	X
Sea-buckthorn/ <i>Hippophaë rhamnoides</i> /havtorn/tyrni	X	X	X
<i>Larus marinus</i> /Havstrut/merilokki	X	X	X
<i>Cygnus cygnus</i> /Sångsvan/Laulujoutsen	X	X	X
<i>Cephus grylle</i> /Tobisgrissla/Riskilä	X		
<i>Alca torda</i> /Tordmule/Ruokki	X		
<i>Somateria mollissima</i> /Ejder/Haahka	X		
Otter (<i>Lutra lutra</i>)/saukko	X	X	X
<i>Chara tomentosa</i> /punanäkinparta	X	X	X
Sand ryegrass/ <i>Leymus arenarius</i> /rantavehänä	X	X	X
Sea sandwort/ <i>Honckenya peploides</i> /suola-arho	X	X	X
Herring (<i>Clupea harengus membras</i>)/silakka	X	X	X
Trout (<i>Salmo trutta</i>)/taimen	X	X	X

Lähteet

- Agawin, N. S. Rabouille, S. Veldhuis, M. J., Servatius, L., Hol, S., van Overzee, H. M. & Huisman, J. 2007. Competition and facilitation between unicellular nitrogen-fixing cyanobacteria and non-nitrogen-fixing phytoplankton species. *Limnology and Oceanography*, 52(5), 2233-2248.
- Ahtiainen, H., Liski, E., Pouta, E., Soini, K., Bertram, C., Rehdanz, K. & Meyerhof, J. 2019. Cultural ecosystem services provided by the Baltic Sea marine environment. *Ambio*, 48(11), 1350-1361.
- Ahtiainen, H. & Öhman, M. C. 2014. Ecosystem services in the Baltic Sea: valuation of marine and coastal ecosystem services in the Baltic Sea. Nordic Council of Ministers.
- Ahtiainen, H., Artell, J., Czajkowski, M., Hasler, B., Hasselström, L., Huhtala, A. & Semeniene, D. 2014. Benefits of meeting nutrient reduction targets for the Baltic Sea –a contingent valuation study in the nine coastal states. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 3(3), 278-305.
- Ahvonon, A., Hiidenhovi, J., Mattila, P., Mäkinen, S., Niva, T., Setälä, J., Välimaa, A.-L., Alakomi, H.-L., Honkapää, K., Lantto, R., Nisov, A., Suomalainen M., Hopia, A., Ihanus, S., Kakko, T., Marttunen, K., Sandell, M., Tuomasjukka, S., Yang, B. & Svanbäck, G. 2019. Blue Products – Kalatalouden innovaatio-ohjelma, väliraportti vuosilta 2017-2019. European maritime and fisheries fund.
- Armoškaitė, A., Puriņa, I., Aigars, J., Strāke, S., Pakalniete, K., Frederiksen, P., Schroder, L. & Hansen, H. S. 2020. Establishing the links between marine ecosystem components, functions and services: An ecosystem service assessment tool. *Ocean & Coastal Management*, 193, 105229.
- Asiantuntijaryhmä. 2020. The EConnect project members group to set up evaluate ES provision. Evaluations were based on professional opinions within the group, literature reviews, and on the opinions and comments from several scientists and experts outside the project.
- Banzhaf, H. S. & Boyd, J. 2012. The architecture and measurement of an ecosystem services index. *Sustainability*, 4(4), 430-461.
- Bartolino, V., Margonski, P., Lindegren, M., Linderholm, H. W., Cardinale, M., Rayner, D. & Casini, M. 2014. Forecasting fish stock dynamics under climate change: Baltic herring (*Clupea harengus*) as a case study. *Fisheries Oceanography*, 23(3), 258-269.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. & Courchamp, F. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters*, 15(4), 365-377.
- Berglund, J., Stenroth, P., Larsson, S. & Larsson, S. 2013. Fiskrekrytering längs Västerbottenskusten. Länsstyrelsen i Västerbotten meddelande 2.
- Bergström, U., Olsson, J., Casini, M., Eriksson, B. K., Fredriksson, R., Wennhage, H. & Appelberg, M. 2015. Stickleback increase in the Baltic Sea - a thorny issue for coastal predatory fish. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 163: 134-142.

- Bermudez, R., Winder, M., Stuhr, A., Almén, A-K., Engström-Öst, J. & Riebesell, U. 2016. Effect of ocean acidification on the structure and fatty acid composition of a natural plankton community in the Baltic Sea. *Biogeosciences*. 13. 6625-6635.
- Bianchi, T. S., Johansson, B. & Elmgren, R. 2000. Breakdown of phytoplankton pigments in Baltic sediments: effects of anoxia and loss of deposit-feeding macrofauna. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 251(2), 161-183.
- Björkdal, C. G., Gregory, D., Manders, M., Al-Hamdani, Z., Appelqvist, C., Haverhand, J., & Dencker, J. 2012. Strategies for protection of wooden underwater cultural heritage in the Baltic Sea against marine borers. The EU Project 'WreckProtect'. *Conservation and management of archaeological sites*, 14(1-4), 201-214.
- Boyd, J. & Banzhaf, H.S. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecol. Econ.* 63, 616-626.
- Byström, P., Bergström, U., Hjältén, A., Ståhl, S., Jonsson, D. & Olsson, J. 2015. Declining coastal piscivore populations in the Baltic Sea - where and when do sticklebacks matter? *Ambio* 44(3): 462-471.
- Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. 2011. Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot-haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti.
- Cardinale, B. J., Duffy, E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M, Tilman, D., Wardle, D.A., Kinzig, A.P., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B., Larigauderie, A., Srivastava, D. & Naeem, S. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*. Volume: 486, Number: 7401, 59-67.
- Carstensen, J., Klais, R. & Cloern, J. E. 2015. Phytoplankton blooms in estuarine and coastal waters: Seasonal patterns and key species. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 162, 98-109.
- Carstensen, J., Conley, D. J., Bonsdorff, E., Gustafsson, B. G., Hietanen, S., Janas, U. & Voss, M. 2014. Hypoxia in the Baltic Sea: Biogeochemical cycles, benthic fauna, and management. *Ambio*, 43(1), 26-36.
- Christidis, N., Stott, P. A., Brown, S., Karoly, D. J. & Caesar, J. 2007. Human contribution to the lengthening of the growing season during 1950-99. *Journal of Climate*, 20(21), 5441-5454.
- Claudino-Sales, V. 2019. High Coast and Kvarken Archipelago, Finland and Sweden. *Coastal World Heritage Sites*, 81-86. Springer, Dordrecht.
- Climate Change in the Baltic Sea. 2021 Fact Sheet. *Baltic Sea Environment Proceedings n°180*. HELCOM/Baltic Earth 2021.
- Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver & M. Wehner, 2013: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B. & Van Den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387 (6630), 253-260.

County administrative board. 2021a. Viss Vatteninformationssystem Sverige. Yttre Täftefjärden. Retrieved 17.06.2021 from <https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterEUID=SE634350-202900>

County administrative board. 2021b. Viss Vatteninformationssystem Sverige. Husumbukten. Retrieved 06.07.2021 from <https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA15887752>

County administrative board. 2021c. Vegetation data from years 2000-2020 and Zoobenthos data from 2018.

Dahl, K., Josefson, A. B., Göke, C., Christensen, J. P. A., Hansen, J. L., Markager, S. & Bonsdorff, E. 2013. Climate Change Impacts on Marine Biodiversity and Habitats in the Baltic Sea –and Possible Human Adaptations. *Coastline Reports*, 1.

Daily, G. C. 1997. Introduction: what are ecosystem services. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*, 1(1).

Depellegrin, D. & Blažauskas, N. 2013. Integrating ecosystem service values into oil spill impact assessment. *Journal of Coastal Research*, 29(4), 836-846.

Dervishi, A. & El-Zoubi, S. 2012. Vass- och tegeltak – En studie om användningen av vass och tegel då, idag och i framtiden. Lund Universitet.

Díaz-Andreu, M. 2017. Heritage values and the public. *Journal of Community Archaeology & Heritage* vol. 4, 1.

Donadi, S., Bergström, L., Berglund, J. M. B., Bäck, A., Mikkola, R., Saarinen, A. & Bergström, U. 2020. Perch and pike recruitment in coastal bays limited by stickleback predation and environmental forcing. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 246.

Donnelly, C., Yang, W. & Dahné, J. 2014. River discharge to the Baltic Sea in a future climate. *Climatic Change*, 122(1), 157-170.

Dutheil, C., Meier, H. E. M., Gröger, M. & Börgel, F. 2021. Understanding past and future sea surface temperature trends in the Baltic Sea. *Climate Dynamics*, 1-19.

Egoh, B., Drakou, E. G., Dunbar, M. B., Maes, J. & Willemen, L. 2012. Indicators for mapping ecosystem services: a review. European Commission, Joint Research Centre (JRC), p. 111.

Ehler, C. N. 2018. *Marine spatial planning: An idea whose time has come*. Routledge, 6-17.

Eide, W., Ahrné, K., Bjelke, U., Nordström, S., Ottosson, E., Sandström, J., & Sundberg, S. 2020. Tillstånd och trender för arter och deras livsmiljöer: rödlistade arter i Sverige 2020.

Eklöf, J. S., Sundblad, G., Erlandsson, M., Donadi, S., Hansen, J. P., Eriksson, B. K. & Bergström, U. 2020. A spatial regime shift from predator to prey dominance in a large coastal ecosystem. *Communications biology*, 3(1), 1-9.

Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B. & Norberg, J. 2003. Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(9), 488-494.

Engelhard, G. H., & Heino, M. 2006. Climate change and condition of herring (*Clupea harengus*) explain long-term trends in extent of skipped reproduction. *Oecologia*, 149(4), 593-603.

- Engstedt, O., Stenroth, P., Larsson, P., Ljunggren, L. & Elfman, M. 2010. Assessment of natal origin of pike (*Esox lucius*) in the Baltic Sea using Sr: Ca in otoliths. *Environmental Biology of Fishes*, 89(3), 547-555.
- Eriksson, B. K., Sieben, K., Eklöf, J., Ljunggren, L., Olsson, J., Casini, M. & Bergström, U. 2011. Effects of altered offshore food webs on coastal ecosystems emphasizes the need for cross-ecosystem management. *Ambio* 40:786-797.
- European Commission. 2021a. Strategic guidelines for a more sustainable and competitive EU aquaculture for the period 2021 to 2030. Brussels. Retrieved 24.5.2021 from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0236&from=EN>
- European Commission. 2021b. EU Biodiversity strategy for 2030. Luxembourg, publication office of the European Union. Retrieved 29.6.2021 from <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/31e4609f-b91e-11eb-8aca-01aa75ed71a1>
- European Commission. 2020. EU:n strategia avomerellä tuotettavan uusiutuvan energian potentiaalin valjastamiseksi ilmastoneutraalin tulevaisuuden tarpeisiin. Brussels. Retrieved 24.5.2021 from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0741&from=EN>
- European Commission. 2011. European Commission: our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020. European Commission, Brussels.
- Faulkner, D. J. 2001. Marine natural products. *Natural product reports*, 18(1).
- Firestone, J. & Kempton, W. 2007. Public opinion about large offshore wind power: underlying factors. *Energy policy*, 35(3), 1584-1598.
- Fisher, B., Turner, R. K. & Morling, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological economics*, 68(3), 643-653.
- Fors, Y. & Björdal, C. G. 2013. Well-preserved shipwrecks in the Baltic Sea from a natural science perspective. *Interpreting Shipwrecks. Maritime Archaeological Approaches*, 36-45.
- Friedland, R., Neumann, T. & Schernewski, G. 2012. Climate change and the Baltic Sea action plan: model simulations on the future of the western Baltic Sea. *Journal of Marine Systems*, 105, 175-186.
- GBIF Secretariat. 2021. *Hippophae rhamnoides* L. Global Biodiversity Information Facility. Retrieved 8.7.2021 from <https://www.gbif.org/species/3039285>
- Geist, J. & Hawkins, S. J. 2016. Habitat recovery and restoration in aquatic ecosystems: current progress and future challenges. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26(5), 942-962.
- Goldburg, R. & Naylor, R. 2005. Future seascapes, fishing, and fish farming. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(1), 21-28.
- Gollasch, S., Minchin, D. & David, M. 2015. The transfer of harmful aquatic organisms and pathogens with ballast water and their impacts. *Global maritime transport and ballast water management*. Springer, Dordrecht, 35-58.
- Gray, C., Baird, D. J., Baumgartner, S., Jacob, U., Jenkins, G. B., O'Gorman, E. J. & Woodward, G. 2014. Ecological networks: the missing links in biomonitoring science. *Journal of Applied Ecology*, 51(5), 1444-1449.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2021. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 06 July 2021.

- Hansson, S., Bergström, U., Bonsdorff, E., Härkönen, T., Jepsen, N., Kautsky, L. & Vetemaa, M. 2018. Competition for the fish – fish extraction from the Baltic Sea by humans, aquatic mammals, and birds. *ICES Journal of Marine Science*, 75(3), 999-1008.
- HaV. 2020a. Havs- och vattenmyndigheten rapport. Marin strategi för Nordsjön och Östersjön. Samråd om uppdaterat åtgärdsprogram för havsmiljön i Nordsjön och Östersjön 2022-2027 enligt havsmiljöförordningen, 254.
- HaV. 2020b. Swedish fisheries data between years 2014-2018.
- HaV. 2019. Havs- och vattenmyndigheten. Havsplaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet. Statlig planering i territorialhav och ekonomisk zon. Diarienummer 3628-2019
- HaV. 2015. Havs- och vattenmyndigheten. God havsmiljö 2020: Marin strategi för Nordsjön och Östersjön – Del 4: Åtgärdsprogram för havsmiljön. Rapport ID: 2015:30
- Havenhand, J. N. 2012. How will ocean acidification affect Baltic Sea ecosystems? An assessment of plausible impacts on key functional groups. *Ambio*, 41(6), 637-644.
- Havet. 2021. Web porta about the sea. Stockholm university, Umeå university, Göteborg university, Swedish University of Agricultural Sciences and Swedish Institute for the Marine Environment. Retrieved 11.8.2021 from: Havet.nu
- Haines-Young, R. & Potschin, M. 2012. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES, Version 4.1). European Environment Agency, 33, 107.
- Harkin, D., Davies, M., Hyslop, E., Fluck, H., Wiggins, M., Merritt, O. & Westley, K. 2020. Impacts of climate change on cultural heritage. *MCCIP Sci. Rev*, 16, 24-39.
- Hattam, C., Atkins, J. P., Beaumont, N., Börger, T., Böhnke-Henrichs, A., Burdon, D. & Austen, M. C. 2015. Marine ecosystem services: linking indicators to their classification. *Ecological Indicators*, 49, 61-75.
- Heckwolf, M. J., Peterson, A., Jänes, H., Horne, P., Küne, J., Liversage, K. & Kotta, J. 2020. From ecosystems to socio-economic benefits: A systematic review of coastal ecosystem services in the Baltic Sea. *Science of the Total Environment*, 142565.
- Heiskanen, A. & Kononen, K. 1994. Sedimentation of vernal and late summer phytoplankton communities in the coastal Baltic Sea. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 131, 175-175.
- HELCOM & Baltic Earth. 2021. Climate Change in the Baltic Sea. 2021 Fact Sheet. Baltic Sea Environment Proceedings n°180.
- HELCOM. 2021. Baltic Marine Environment Protection Commission. Baltic Sea Action Plan 2021 update.
- HELCOM. 2020. Baltic Marine Environment Protection Commission. First draft of the updated BSAP: <https://helcom.fi/baltic-sea-action-plan/bsap-update-2021/>
- HELCOM. 2018a. HELCOM Thematic assessment of biodiversity 2011-2016. Baltic Sea Environment Proceedings No. 158. Retrieved 21.4.2021 from: <http://stateofthebalticsea.helcom.fi/wp-content/uploads/2019/09/BSEP158-Biodiversity.pHELCOM>. 2018b. Implementation of the Baltic Sea Action Plan 2018: Three years left to reach good environmental status. Retrieved 5.3.2021 from: <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/06/Implementation-of-the-BSAP-2018.pdf>

- HELCOM. 2017. First version of the 'State of the Baltic Sea' report - June 2017 - to be updated in 2018. Retrieved 5.3.2021 from: http://stateofthebalticsea.helcom.fi/wp-content/uploads/2017/07/HELCOM_State-of-the-Baltic-Sea_First-version-2017.pdf HELCOM. 2013e. Climate change in the Baltic Sea area: HELCOM thematic assessment in 2013. Balt. Sea Environ. Proc. No. 137
- HELCOM. 2013. Climate change in the Baltic Sea area: HELCOM thematic assessment in 2013. Balt. Sea Environ. Proc. No. 137.
- HELCOM. 2009. Biodiversity in the Baltic Sea - An integrated thematic assessment on biodiversity and nature conservation in the Baltic Sea. Balt. Sea Environ. Proc. No. 116B. Retrieved 2.3.2021 from: <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP116B.pdf>
- HELCOM. 2007. Climate Change in the Baltic Sea Area. HELCOM Thematic Assessment in 2007. Baltic Sea Environment Proceedings No. 111.
- Hense, I., Meier, H. M. & Sonntag, S. 2013. Projected climate change impact on Baltic Sea cyanobacteria. Climatic Change, 119(2), 391-406.
- Highcoastkvarken. 2021. Joint web portal of the World Heritage Site High Coast / Kvarken Archipelago. Länsstyrelsen Västernorrland & Metsähallitus Parks and Wildlife Finland. Retrieved 31.5.2021 from: <https://highcoastkvarken.org/>
- Hilborn, R., Branch, T. A., Ernst, B., Magnusson, A., Minte-Vera, C. V., Scheuerell, M. D. & Valero, J. L. 2003. State of the world's fisheries. Annual review of Environment and Resources, 28(1), 359-399.
- Hiltunen, E. 2019. Matkailun tulevaisuus -raportti. Helsingin Matkailusäätiö.
- Hjerne, O., Hajdu, S., Larsson, U., Downing, A. S. & Winder, M. 2019. Climate driven changes in timing, composition and magnitude of the Baltic Sea phytoplankton spring bloom. Frontiers in Marine Science, 6, 482.
- Holopainen, R., Lehtiniemi, M., Meier, H. M., Albertsson, J., Gorokhova, E., Kotta, J. & Viitasalo, M. 2016. Impacts of changing climate on the non-indigenous invertebrates in the northern Baltic Sea by end of the twenty-first century. Biological Invasions, 18(10), 3015-3032.
- Hoppenrath, M., Elbrächter, M. & Drebes, G. 2009. Marine Phytoplankton: Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt.
- Hutchins, D. A. & Fu, F. 2017. Microorganisms and ocean global change. Nature microbiology, 2(6), 1-11.
- Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. 2019. The 2019 Red List of Finnish Species. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 704 p.
- Hyytiäinen, K., Ahlvik, L., Ahtiainen, H., Artell, J., Dahlbo, K. & Huhtala, A. 2013. Spatially explicit bio-economic modelling for the Baltic Sea: Do the benefits of nutrient abatement outweigh the costs?
- Härmä, M., Lappalainen, A. & Urho, L. 2008. Reproduction areas of roach (*Rutilus rutilus*) in the northern Baltic Sea: potential effects of climate change. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 65(12), 2678-2688.
- ICES. 2019. Baltic Sea Ecosystem - Fisheries Overview. In Report of the ICES Advisory Committee, 2019. ICES Advice 2019, section 4.2. <https://doi.org/10.17895/ices.advice.5566>
- Ignatius, S. & Haapasaaari, P. 2018. Justification theory for the analysis of the socio-cultural value of fish and fisheries: The case of Baltic salmon. Marine Policy, 88, 167-173.

Inácio, M., Schernewski, G., Nazemtseva, Y., Baltranaitė, E., Friedland, R. & Benz, J. 2018. Ecosystem services provision today and in the past: a comparative study in two Baltic lagoons. *Ecological research*, 33(6), 1255-1274.

IPBES-IPCC. 2021. Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change. From: https://ipbes.net/sites/default/files/2021-06/2021_IPCC-IPBES_scientific_outcome_20210612.pdf

IRENA. 2019. Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. A Global Energy Transformation paper, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IUCN. 2016. Increasing marine protected area coverage for effective marine biodiversity conservation. World Conservation Congress, Hawai'i, United States of America.

Jansen, E., J. Overpeck, K.R. Briffa, J.-C. Duplessy, F. Joos, V. Masson-Delmotte, D. Olago, B. Otto-Bliesner, W.R. Peltier, S. Rahmstorf, R. Ramesh, D. Raynaud, D. Rind, O. Solomina, R. Villalba and D. Zhang, 2007: Palaeoclimate. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jaatinen, K., Westerbom, M., Norkko, A., Mustonen, O., Koons, D. N. 2020. Detrimental impacts of climate change may be exacerbated by density-dependent population regulation in blue mussels. *Journal of Animal Ecology*, 00:1-12. DOI: 10.1111/1365-2656.13377

Jakobsson, M., Stranne, C., O'Regan, M., Greenwood S.L., Gustafsson, B., Humborg, C. & Weidner, E. 2019. Bathymetric properties of the Baltic Sea. *Ocean Science*. 15. 905-924

Johannesson, K. & Andre, C. 2006. Invited Review: Life on the margin: genetic isolation and diversity loss in a peripheral marine ecosystem, the Baltic Sea. *Molecular Ecology*, 15(8), 2013-2029.

John Nurminen Foundation. 2020. Rannikoruokohanke käynnistyi Kirkkonummella - niitolla positiivinen vaikutus Itämereen, ilmastoon ja perinnemaisemiin. Retrieved 22.11.2021 from <https://johnnurmisenfaatio.fi/rannikoruokohanke-kaynnistyi-kirkkonummella-niitolla-positiivinen-vaikutus-itamereen-ilmastoon-ja-perinnemaisemiin/>

Jonasson, S., Eriksson, J., Berntzon, L., Spáčil, Z., Ilag, L. L., Ronnevi, L. O. & Bergman, B. 2010. Transfer of a cyanobacterial neurotoxin within a temperate aquatic ecosystem suggests pathways for human exposure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(20), 9252-9257.

Jones, M. C. & Cheung, W. W. 2015. Multi-model ensemble projections of climate change effects on global marine biodiversity. *ICES Journal of Marine Science*, 72(3), 741-752.

Jonsson, B. & Jonsson, N. 2009. A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal of fish biology*, 75(10), 2381-2447.

Jänkäälä, S. 2019. Matkailun toimialaraportti - Tourism sector report. Työ- ja elinkeinoministeriö - Ministry of Economic Affairs and Employment. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2019:3.

Karjalainen, M., Engström-Öst, J., Korpinen, S., Peltonen, H., Pääkkönen, J. P., Rönkkönen, S. & Viitasalo, M. 2007. Ecosystem consequences of cyanobacteria in the northern Baltic Sea. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(2), 195-202.

- Kaslegard, A. S. 2011. Climate change and cultural heritage in the Nordic countries. Nordic Council of Ministers.
- Kautsky, L. & Kautsky, N. 2000. The Baltic Sea, including Bothnian Sea and Bothnian Bay. Chapter 8. In: Sheppard, C. Seas at the millennium: an environmental evaluation. Elsevier Science Amsterdam, 1-3, 121-133.
- Kautsky, H., Qvarfordt, S. & Wallin, A. 2009. Marina skyddsvärda områden i Västernorrlands län - Kompletterande undersökningar av utvalda områden. Länsstyrelsen Västernorrland, avdelningen för Miljö och Natur 2009:3
- Kautsky, N. 1981. On the trophic role of the blue mussel (*Mytilus edulis* L.) in a Baltic coastal ecosystem and the fate of the organic matter produced by the mussels. Kieler Meeresforschungen Sonderheft, 5, 454-461.
- Kokkonen, E., Heikinheimo, O., Pekcan-Hekim, Z. & Vainikka, A. 2019. Effects of water temperature and pikeperch (*Sander lucioperca*) abundance on the stock-recruitment relationship of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) in the northern Baltic Sea. Hydrobiologia, 841(1), 79-94.
- Kontula, T. & Raunio, A. 2018. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja - Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet & Osa 2: luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 388 s. & 925 s.
- Korpinen, S., Meski, L., Andersen, J. H., & Laamanen, M. 2012. Human pressures and their potential impact on the Baltic Sea ecosystem. Ecological Indicators, 15(1), 105-114.
- Kulmala, S., Haapasaari, P., Karjalainen, T. P., Kuikka, S., Pakarinen, T., Parkkila, K., Romakkaniemi, A. & Vuorinen, P. J. 2012. Ecosystem services provided by Baltic salmon -a regional perspective to the socio-economic benefits associated with a keystone migratory species. The Economics of Ecosystems and Biodiversity.
- Laikre, L., Lundmark, C., Jansson, E., Wennerström, L., Edman, M. & Sandström, A. 2016. Lack of recognition of genetic biodiversity: International policy and its implementation in Baltic Sea marine protected areas. Ambio, 45(6), 661-680.
- Lappalainen, J., Kurvinen, L. & Kuismanen, L. 2020. Suomen ekologisesti merkittävät vedenalaiset meriluontoalueet (EMMA) - Finlands ekologiskt betydelsefulla marina undervattensmiljöer (EMMA). Suomen ympäristökeskuksen raportteja 8, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus.
- Łabuz, T. A. 2015. Environmental Impacts-Coastal Erosion and Coastline Changes. In the BACC II Author Team, Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin, Regional Climate Studies, 381-396.
- Latokartano, M. 2018. Otetaan kala käyttöön vihoviimeistä suomua myöten. Luonnonvarakeskus, Natural Resources Institute Finland. Retrieved 12.7.2021 from www.luke.fi/mt-otetaan-kala-kayttoon-vihoviimeista-suomua-myoten/
- Leach, J. H., Johnson, M. G., Kelso, J. R. M., Hartmann, J., Nümann, W. & Entz, B. 1977. Responses of percid fishes and their habitats to eutrophication. Journal of the Fisheries Board of Canada, 34(10), 1964-1971.
- Lehtiniemi, T., Toivanen, T. & Södersved, J. 2021. Linnuston tila Suomessa. Birdlife Finland, Helsinki.
- Lehtonen, H., Hansson, S. & Winkler, H. 1996. Biology and exploitation of pikeperch, *Stizostedion lucioperca* (L.), in the Baltic Sea area. Annales Zoologici Fennici. Finnish Zoological and Botanical Publishing Board, 525-535.
- Leppäranta, M. & Myrberg, K. 2009. Physical Oceanography of the Baltic Sea. Chapter 1. Springer-Praxis books in geophysical sciences, Springer, Berlin.

- Leppäkoski, E., Gollasch, S., Gruszka, P., Ojaveer, H., Olenin, S. & Panov, V. 2002. The Baltic a sea of invaders. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(7), 1175-1188.
- Ljunggren, L., Sandström, A., Bergström, U., Mattila, J., Lappalainen, A., Johansson, G., Sundblad, G., Casini, M., Kaljuste, O. & Eriksson, B. K. 2010. Recruitment failure of coastal predatory fish in the Baltic Sea is coincident with an offshore system shift. *ICES Journal of Marine Science* 67, 1587-1595.
- Lotsari, E., Veijalainen, N., Alho, P. & Käyhkö, J. 2010. Impact of climate change on future discharges and flow characteristics of the Tana River, sub-Arctic northern Fennoscandia. *Geografiska Annaler A*, 92:263-284.
- Luke. 2021. Statistics database. Fishery and game statistics: commercial marine fishery. Database of Natural Resources Institute Finland. Retrieved 8.8.2021 from https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/en/LUKE/LUKE__06%20Kala%20ja%20riista__02%20Rakenne%20ja%20tuotanto__02%20Kaupallinen%20kalastus%20merella/
- Lundberg, C. & Nilsson, T. 2018. Exploatering av stränder 2013 – 2018. Jämförande statistik på läns- och kommunnivå. Länsstyrelsens rapportserie nr. 15/2018.
- Länsstyrelsen Västernorrland. 2019. Underlag för kust- och havsplanering, Örnsköldsviks kommun och Kramfors kommun, p. 95.
- MA. 2005. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Mackenzie, B. R., Gislason, H., Möllmann, C. & Köster, F. W. 2007. Impact of 21st century climate change on the Baltic Sea fish community and fisheries. *Global Change Biology*, 13(7), 1348-1367.
- Madsen, J. D., Chambers, P. A., James, W. F., Koch, E. W. & Westlake, D. F. 2001. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia*, 444(1), 71-84.
- Maes, J., Liqueste, C., Teller, A., Erhard, M., Paracchini, M. L., Barredo, J. I., Grizzetti, B., Gardoso, A., Somma, F., Petersen, J-E., Meiner, A., Gelabert, E. R., Zal, N., Kristensen, P., Bastrup-Birk, A., Biala, K., Piroddi, C., Egoh, B. & Lavalle, C. 2016. An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosystem services*, 17, 14-23.
- Maes, J., Fabrega, N., Zulian, G. et al. 2015. Mapping and assessment of ecosystems and their services: trends in ecosystems and ecosystem services in the European Union between 2000 and 2010. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Marbà, N., Arias-Ortiz, A., Masqué, P., Kendrick, G. A., Mazarrasa, I., Bastyan, G. R. & Duarte, C. M. 2015. Impact of seagrass loss and subsequent revegetation on carbon sequestration and stocks. *Journal of ecology*, 103(2), 296-302.
- Mazur-Marzec, H., Błaszczuk, A., Felczykowska, A., Hohlfeld, N., Kobos, J., Toruńska-Sitarz, A. & Węgrzyn, G. 2015. Baltic cyanobacteria – a source of biologically active compounds. *European Journal of Phycology*, 50(3), 343-360.
- Meier, H. M., Müller-Karulis, B., Andersson, H. C., Dieterich, C., Eilola, K., Gustafsson, B. G. & Schimanke, S. 2012. Impact of climate change on ecological quality indicators and biogeochemical fluxes in the Baltic Sea: a multi-model ensemble study. *Ambio*, 41(6), 558-573.
- Meier, H. E. M., Hordoir, R., Andersson, H.C., Dieterich, C., Eilola, K., Gustafsson, B.G., Höglund, A & Schimanke, S. 2012. Modeling the combined impact of changing climate and changing nutrient loads on the Baltic Sea environment in an ensemble of transient simulations for 1961-2099. *Climate Dynamics* 39, 2421-2441.

- Merino, G., Barange, M., Blanchard, J. L., Harle, J., Holmes, R., Allen, I. & Rodwell, L. D. 2012. Can marine fisheries and aquaculture meet fish demand from a growing human population in a changing climate? *Global Environmental Change*, 22(4), 795-806.
- Mikkola, R., Bäck, A., Saarinen, A., Haapamäki, J. & Berglund J. 2019. Kvarkens flador och deras tillstånd. Analys av mänsklig påverkan utifrån flygbilder och resultat av vegetationskarteringar i 74 flador. Kvarken Flada, Interreg Botnia-Atlantica.
- Miller, K. M., Teffer, A., Tucker, S., Li, S., Schulze, A. D., Trudel, M. & Hinch, S. G. 2014. Infectious disease, shifting climates, and opportunistic predators: cumulative factors potentially impacting wild salmon declines. *Evolutionary Applications*, 7(7), 812-855.
- MMM. 2015. Kansallinen lohi- ja meritaimenstrategia 2020 Itämeren alueelle. Maa- ja metsätalousministeriö, Ministry of Agriculture and Forestry of Finland.
- Munro, M. H., Blunt, J. W., Dumdei, E. J., Hickford, S. J., Lill, R. E., Li, S. & Duckworth, A. R. 1999. The discovery and development of marine compounds with pharmaceutical potential. *Progress in Industrial Microbiology*, 35, 15-25.
- Natura 2000 Data Form. 2018. Natura 2000 tietolomake - data form. Merenkurkun saaristo - Kvarken archipelago, area code FI0800130.
- Naturvårdsverket. 2011. Vägledning för 1150 laguner. Beskrivning av naturtypen.
- Navenhand, J.N. 2012. How will ocean acidification affect Baltic Sea ecosystems? An assessment of plausible impacts on key functional groups. *AMBIO*. 41. 637-644.
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Mooney, H., Beveridge, M., Clay, J., Folke, C. & Williams, M. 1998. Nature's subsidies to shrimp and salmon farming. *Science*, Vol. 282, Issue 5390: 883-884.
- Neumann, T. & Friedland, R. 2011. Climate change impacts on the Baltic Sea. *Global change and Baltic coastal zones*. Springer, Dordrecht, 23-32.
- Neumann, T. 2010. Climate-change effects on the Baltic Sea ecosystem: A model study. *Journal of Marine Systems*, 81(3), 213-224.
- Nilsson, J., Flink, H. & Tibblin, P. 2019. Predator-prey role reversal may impair the recovery of declining pike populations. *Journal of Animal Ecology*, 88(6), 927-939.
- Occhipinti-Ambrogi, A. 2007. Global change and marine communities: alien species and climate change. *Marine pollution bulletin*, 55(7-9), 342-352.
- OECD. 2018. OECD Tourism Trends and Policies 2018. OECD Publishing, Paris.
- Ojaveer, H., Jaanus, A., MacKenzie, B. R., Martin, G., Olenin, S., Radziejewska, T., Telesh, I., Zettler, M. & Zaiko, A. 2010. Status of biodiversity in the Baltic Sea. *PLoS one*, 5(9).
- Ollqvist, S. & Överholm, N. 2010. Yhteinen maailmanperintömmä - Vårt gemensamma världsarv. Metsähallitus, Vantaa.
- Olsson, J., Tomczak, M. T., Ojaveer, H., Gårdmark, A., Pollumäe, A., Müller-Karulis, B. & Bergström, L. 2015. Temporal development of coastal ecosystems in the Baltic Sea over the past two decades. *ICES Journal of Marine Science*, 72(9), 2539-2548.

- Paczkowska, J., Brugel, S., Rowe, O., Lefébure, R., Brutemark, A. & Andersson, A. 2020. Response of coastal phytoplankton to high inflows of terrestrial matter. *Frontiers in Marine Science*, 7, 80.
- Palumbi, S., Sandifer, P., Allan, J., Beck, M., Fautin, D., Fogarty, M., Halpern, B., Incze, L., Leong, J.-A., Norse, E., Stachowicz, J. & Wall, D. 2009. Managing for ocean biodiversity to sustain marine ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(4), 204-211.
- Pankhurst, N. W. & Munday, P. L. 2011. Effects of climate change on fish reproduction and early life history stages. *Marine and Freshwater Research*, 62(9), 1015-1026.
- Paerl, H. W. & Huisman, J. 2009. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental microbiology reports*, 1(1), 27-37.
- Pekcan-Hekim, Z., Urho, L., Auvinen, H., Heikinheimo, O., Lappalainen, J., Raitaniemi, J. & Söderkuntalahti, P. 2011. Climate warming and pikeperch year-class catches in the Baltic Sea. *Ambio*, 40(5), 447-456.
- Perez-Alvaro, E. 2016. Climate change and underwater cultural heritage: Impacts and challenges. *Journal of Cultural Heritage*, 21, 842-848.
- Peterson, G., Allen, C. R., & Holling, C. S. 1998. Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems*, 1(1), 6-18.
- Petersson, E., Degerman, E. & Axén, C. 2018. Översikt, riskbedömning och förslag på åtgärder för puckellax (*Oncorhynchus gorbuscha*). *Aqua Reports 2018:17*. SLU.
- Poutanen, M. & Steffen, H. 2014. Land uplift at Kvarken Archipelago /High Coast UNESCO world heritage area. *Geophysica*. 50(2). 49-64
- Pörtner, H.O., Scholes, R.J., Agard, J., Archer, E., Arneth, A., Bai, X., Barnes, D., Burrows, M., Chan, L., Cheung, W.L., Diamond, S., Donatti, C., Duarte, C., Eisenhauer, N., Foden, W., Gasalla, M. A., Handa, C., Hickler, T., Hoegh-Guldberg, O., Ichii, K., Jacob, U., Insarov, G., Kiessling, W., Leadley, P., Leemans, R., Levin, L., Lim, M., Maharaj, S., Managi, S., Marquet, P. A., McElwee, P., Midgley, G., Oberdorff, T., Obura, D., Osman, E., Pandit, R., Pascual, U., Pires, A. P. F., Popp, A., ReyesGarcía, V., Sankaran, M., Settele, J., Shin, Y. J., Sintayehu, D. W., Smith, P., Steiner, N., Strassburg, B., Sukumar, R., Trisos, C., Val, A.L., Wu, J., Aldrian, E., Parmesan, C., Pichs-Madruga, R., Roberts, D.C., Rogers, A.D., Díaz, S., Fischer, M., Hashimoto, S., Lavorel, S., Wu, N., Ngo, H.T. 2021. IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change; IPBES and IPCC.
- Richards, G. 1996. *Cultural tourism in Europe*. Cab International.
- Rinkineva, L. & Bader, P. 1998. Chapter 2.3 Den marina miljön in Kvarkens natur. Kvarkenrådets publikationer 10.
- Rolff, C. & Elfving, T. 2015. Increasing nitrogen limitation in the Bothnian Sea, potentially caused by inflow of phosphate-rich water from the Baltic Proper. *Ambio*, 44(7), 601-611.
- Rugiu, L., Manninen, I., Rothäusler, E. & Jormalainen V. 2018. Tolerance to climate change of the clonally reproducing endemic Baltic seaweed *Fucus radicans*: is phenotypic plasticity enough?. *Journal of Phycology*. 54(6).888-898
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen M. 2016. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica*. 51(1). 17-50
- Sabbioni, C., Cassar, M., Brimblecombe, P. & Lefevre, R. A. 2008. Vulnerability of cultural heritage to climate change. EUR-OPA major hazards agreement, Council of Europe November.

- Saraiva, S., Meier, H. M., Andersson, H., Höglund, A., Dieterich, C., Gröger, M. & Eilola, K. 2019. Baltic Sea ecosystem response to various nutrient load scenarios in present and future climates. *Climate Dynamics*, 52(5), 3369-3387.
- SeaGIS2.0. Map portal. SeaGIS 2.0 -project, Interreg Botnia-Atlantica. Retrieved year 2021 from <https://seagis.org/internt/>.
- SLU. 2020. Artdatabanken, Rödlistade arter i Sverige 2020. SLU, Uppsala.
- SmartSea. 2018a. Tietolaatikot: Tulevaisuuden Pohjanlahti; Silakan kalastus. Information box: herring fishing. Retrieved 10.12.2021 from <http://smartsea.fmi.fi/app/uploads/2018/09/tietoiskut-SilakanKalastus.pdf>.
- SmartSea. 2018b. Tietolaatikot: Tulevaisuuden Pohjanlahti; Aallokko. Information box: Future Gulf of Bothnia; Wave action. Retrieved 14.10.2021 from <http://smartsea.fmi.fi/tulevaisuuden-pohjanlahti/>
- SMHI. 2021a. Klimatscenarier. Retrieved 10.6.2021 from: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier/sweden/nation/rcp85/year/temperature>
- SMHI. 2021b. SHARKweb data. Datavärdskap oceanografi och marinbiologi. Retrieved 6.7.2021 from <https://www.smhi.se/data/oceanografi/datavardskap-oceanografi-och-marinbiologi/sharkweb>
- Snickars, M., Sundblad, G., Sandström, A., Ljunggren, L., Bergström, U., Johansson, G. & Mattila, J. 2010. Habitat selectivity of substrate-spawning fish: modelling requirements for the Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Marine Ecology Progress Series*, 398, 235-243.
- Snoeijs-Leijonmalm, P. & Andrén, E. 2017. Why is the Baltic Sea so special to live in? In *Biological oceanography of the Baltic Sea* (pp. 23-84). Springer, Dordrecht.
- Sonnenborg, T. O. 2015. Projected change—hydrology. Second assessment of climate change for the Baltic Sea Basin, 235-241.
- Stal, L. J., Albertano, P., Bergman, B., von Bröckel, K., Gallon, J. R., Hayes, P. K. & Walsby, A. E. 2003. BASIC: Baltic Sea cyanobacteria. An investigation of the structure and dynamics of water blooms of cyanobacteria in the Baltic Sea—responses to a changing environment. *Continental Shelf Research*, 23(17-19), 1695-1714.
- Stapanian, M. A., Paragamian, V. L., Madenjian, C. P., Jackson, J. R., Lappalainen, J., Evenson, M. J. & Neufeld, M. D. 2010. Worldwide status of burbot and conservation measures. *Fish and fisheries*, 11(1), 34-56.
- Sundblad, G. & Bergström, U. 2014. Shoreline development and degradation of coastal fish reproduction habitats. *Ambio*, 43(8), 1020-1028.
- Sundblad, G., Bergström, U., Sandström, A. & Eklöv, P. 2014. Nursery habitat availability limits adult stock sizes of predatory coastal fish. *ICES Journal of Marine Science*, 71(3), 672-680.
- Sundström, T. & Olsson, C. 2005. Västerbottens kustfågelfauna - Inventering av kustfågelbestånden 2001/2002. *Meddelande 4, 2005*. Länsstyrelsen Västerbotten.
- SYKE. 2020. Vesikartta, vesientila - watermap, water body status. Data portal. Retrieved 20.5.2021 from http://paikkatieto.ymparisto.fi/vesikarttaviewers/Html5Viewer_2_5_2/Index.html?configBase=http://paikkatieto.ymparisto.fi/Geocortex/Essentials/REST/sites/Vesikartta/viewers/VesikarttaHTML525/virtualdirectory/Resources/Config/Default

- Söderqvist, T., Hasselström, L., Soutukorva, Å., Cole, S. & Malmaeus, M. 2012. An ecosystem service approach for analyzing marine human activities in Sweden: A synthesis for the Economic and Social Analysis of the Initial Assessment of the Marine Strategy Framework Directive.
- Tegeback, A. & Hasselström, L. 2012. Costs associated with a major oil spill in the Baltic Sea. Report of Baltic Master II-project.
- Thorburn, A. 1986. Marketing cultural heritage. Does it work within Europe? *Travel & Tourism Analyst*, 39-48.
- UN. 2010. World Population Prospects: The 2010 Revision. Department of Economic and Social Affairs. Population Division, New York.
- UNESCO. 2021. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. World Heritage Convention. High Coast / Kvarken Archipelago. Retrieved 31.5.2021 from: <https://whc.unesco.org/en/list/898/>
- Urban, M. C. 2015. Accelerating extinction risk from climate change. *Science* 348, 571-573.
- VELMU. 2020. The Finnish Inventory Programme for the Underwater Marine Environment (VELMU). VELMU-data, Finnish Environment Institute SYKE, Marine center.
- Veneranta, L., Hudd, R. & Vanhatalo, J. 2013. Reproduction areas of sea-spawning coregonids reflect the environment in shallow coastal waters. *Marine Ecology Progress Series*, 477, 231-250.
- Viitasalo, M. & Bonsdorff, E. 2021. Global climate change and the Baltic Sea ecosystem: direct and indirect effects on species, communities and ecosystem functioning. *Earth System Dynamics Discussions*, 1-38.
- Viitasalo, M., Kostamo, K., Hallanaro, E. L., Viljanmaa, W., Kiviluoto, S., Ekeboom, J. & Blankett, P. 2017. Meren aarteet: löytöretki Suomen vedenalaiseseen meriluontoon. *Gaudeamus*, 518.
- Viitasalo, M., Blenckner, T., Gårdmark, A., Kaartokallio, H., Kautsky, L., Kuosa, H., Lindegren, M., Norkko, A., Olli, K. & Wikner, J. 2015. Environmental Impacts - Marine Ecosystems. In: The BACC II Author Team (eds) *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies*. Springer, Cham.
- von Storch, H., Omstedt, A., Pawlak, J. & Reckermann, M. 2015. Introduction and Summary. Chapter 1. In: *Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. The BACC II Author Team*. Springer International Publishing, 1-22.
- Wagner, C. & Adrian, R. 2009. Cyanobacteria dominance: quantifying the effects of climate change. *Limnology and Oceanography*, 54(6part2), 2460-2468.
- Webb, C. T. 2007. What is the role of ecology in understanding ecosystem resilience? *BioScience*, 57(6), 470-471.
- Wedin, M. & Röschmann, G. 2014. *Skärgårdsguide Höga Kusten*. Örnsköldsviks kommun. Ednas Print
- White, S., Ten Brink, P., Hayashi, K., Liekens, I., Ninan, K., Meire, P. & Wielgus, J. 2011. Recognizing the value of biodiversity: new approaches to policy assessment. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) in National and International Policy Making*. Earthscan, London.
- Winfield, I. J. 2004. Fish in the littoral zone: ecology, threats and management. *Limnologica*, 34(1-2), 124-131.
- Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S. & Watson, R. 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *science*, 314(5800), 787-790.

YM. 2016. Ympäristöministeriö, Ministry of the Environment (Finland). Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma 2016–2021. Ympäristöministeriön raportteja, 5.

YM. 2020. Ympäristöministeriö, Ministry of the Environment (Finland). Suomen merenhoitosuunnitelman seurantaohjelma vuosille 2020–2026.

Zander, C. D., Rupp, K., Böhme, K., Brix, S., Detloff, K. C., Melander, J, Nordhaus, I. & Schiro, C. 2015. The phytoplankton fauna of the SW Baltic Sea and its importance as reservoir for fish prey - Die Phytoplanktonfauna der SW-Ostsee und ihre Bedeutung als Reservoir von Fischnahrung. *Bulletin of Fish Biology*, 15(1/2), 33-51.

Zdun, A., Stoń-Egiert, J., Ficek, D. & Ostrowska, M. 2021. Seasonal and Spatial Changes of Primary Production in the Baltic Sea (Europe) Based on in situ Measurements in the Period of 1993–2018. *Frontiers in Marine Science*.



EUROOPAN UNIONI

Interreg
Botnia-Atlantica
Euroopan aluekehitysrahasto