

Ilmastonmuutoksen vaikutukset Itämeren ympäristöongelmiin

Kandidaattitutkielma

Sebastian Wikström

15.01.2026

*Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin
OriginalityCheck -järjestelmällä.*

1. Johdanto	3
2. Itämeren ominaispiirteet	4
2.1 Maantiede	4
2.2 Fysikaaliset tekijät	5
2.2.1 Mataluus	5
2.2.2 Hidas veden vaihtuvuus	5
2.2.3 Merivirrat	6
2.2.4 Veden kerrostuneisuus	6
2.2.5 Sisäinen kuormitus	7
2.2.6 Suolapulssit	7
2.3 Kemialliset tekijät	8
2.4 Ekologiset tekijät	9
2.5 Poliittiset seikat	10
3. Ilmastonmuutoksen havaitut ja ennustetut vaikutukset Itämereen	11
3.1 Fysikaaliset ja biogeokemialliset muutokset.	11
3.1.1 Lämpödynamiikka ja kryosfääri	11
3.1.1.1 Havaittu ja ennustettu lämpeneminen.	11
3.1.1.2 Merijään väheneminen	12
3.1.2 Hydrologisen tasapainon, suolapitoisuuden ja kerrostuman muutokset	13
3.1.2.1. Suolapitoisuuden väheneminen ja kerrostumisdynamiikka	13
3.1.3 Happikato, rehevöitymisen takaisinkytkentä ja happamoituminen	14
3.1.3.1 Hapenpuutteen ja rehevöitymisen takaisinkytkentäsilmukka	14
3.1.3.2 Samentuminen ja mikrobien kiertokulku	14
3.1.3.3 Meriveden happamoituminen	15
3.2. Ilmastonmuutoksen seuraukset meri- ja rannikkoekosysteemeille.	17
3.2.1 Biodiversiteetin väheneminen ja lajien levinneisyysmuutokset	17
3.2.1.1 Suolapitoisuuden ja lämpötilan puristus.	17
3.2.2 Troofisen verkon uudelleenjärjestely ja kalastuksen elinkelpoisuus	18
3.2.2.1 Keskeisten meripetojen väheneminen	18
3.2.2.2 Siirtyminen mikrobikiertoon	19
3.2.3. Rannikko- ja pohjaeliöstöjen haavoittuvuus	19
3.3 Vaikutukset rannikkoalueisiin ja saariston geomorfologiaan	20
3.3.1 Merenpinnan nousun vaihtelu ja rannikkoalueiden haavoittuvuus	20
3.3.2. Äärimmäiset sääilmiöt ja rannikkoinfrastruktuurin rasitus	21
3.4. Sosioekonomiset vaikutukset ja ihmisten turvallisuus	22
3.4.1 Taloudellinen vaikutus kalastukseen ja vesiviljelyyn	22
3.4.1.1 Kalakantojen elinkelpoisuus ja hoidon haasteet	22
3.4.1.2 Muuttuva taloudellinen maisema	23
3.4.1.3 Seuraukset meriliikenteelle ja rannikkoinfrastruktuurille	23
3.4.2 Kansanterveysriskit ja matkailun heikkeneminen	24
3.4.2.1 Vesiperäisten patogeenien lisääntynyt riski	24

3.4.2.2 Haitalliset leväkukinnat	24
3.4.2.3 Matkailun väheneminen	25
4. Johtopäätökset, hallinnan haasteet ja tulevaisuuden tutkimustarpeet	26
4.1. Ilmastonmuutos vahvistaa olemassa olevia ongelmia	26
4.2. Poliitiikan haasteet ja sopeutumisen välttämättömyydet	27
4.3. Tulevaisuuden tutkimustarpeet	28
5. Lähdeluettelo	29

1. Johdanto

Muuttuva ilmasto on ihmiskunnan ja koko elollisen luonnon suurimpia haasteita, yhdessä siihen läheisesti liittyvän hupenevan elonkirjon kanssa. Toisin kuin julkisen keskustelun perusteella ehkä voisi kuvitella, ilmaston muuttuminen ei ole mikään kaukaisen tulevaisuuden uhka, vaan muutosta on tapahtunut jo pitkään, ja tapahtuu koko ajan. Toki ilmiön ennustetaan voimistuvan, ja suurimpien vaikutusten odotetaan tulevan vasta lähivuosisikymmenien aikana tai tämän vuosisadan lopulla.

Suomessa Itämeren tilanne on yksi merkittävimmistä paikallisista ympäristöongelmista. Ihmiskunnan vaikutukset Itämeren ekologian muuttumiseen - ennen kaikkea rehevöitymiseen - on tiedetty jo pitkään, mutta vaikka toimenpiteitä onkin tehty niin tuloksia on saatu aikaiseksi kovin vähän. Itämeren ekosysteemiin vaikuttavat laaja-alaisen rehevöitymisen lisäksi myös pysyvät orgaaniset yhdisteet ja muut kemialliset saasteet, kestämaton liikakalastus sekä vieraslajien leviäminen.

Nykyisten ennusteiden mukaan Itämeren alue tulee kuulumaan ilmastonmuutoksen osalta niinsanottuihin suhteellisiin voittajiin. Tällä tarkoitetaan sitä, että odotetut muutokset eivät ainakaan aluksi ole pelkästään kielteisiä. Keskipitkällä aikavälillä keskilämpötilan kohoaminen pidentää kasvukautta ja vähentää lämmityskustannuksia eikä esim. meriveden nousu uhkaa tällä alueella samalla tavalla kuin valtamerien rannikoilla. Tämä antroposentrinen näkemys ei kuitenkaan poista sitä tosiasiaa, että ilmastonmuutoksen odotetaan vaikuttavan Itämeren ekologiaan merkittävästi, ja monelta osin pahentavan jo olemassa olevia ongelmia.

Tässä tekstissä käydään läpi ilmastonmuutoksen todettuja ja odotettuja vaikutuksia Itämeren ja sen rannikkoalueiden ekologiaan. Vaikka pääpaino on ekosysteemien muuttumisessa, myös muutosten vaikutusta ihmistoimintaan käsitellään. Teksti perustuu ilmastonmuutoksen ennusteiden yleisskenaarioon kohoavine lämpötiloineen, eikä tässä huomioida vaihtoehtoa missä Pohjois-Atlantin merivirrat muuttuvat siten, että Itämeren alue päinvastoin kylmenee oleellisesti.

Teksti on jaettu kahteen osaan. Ensin kuvaillaan Itämeren erityispiirteet jotka vaikuttavat ympäristöongelmien syntyyn, sekä kuvaillaan nykytilanne keskittyen ihmistoiminnan vaikutuksiin. Vaikka kumpikaan näistä eivät varsinaisesti liity ilmastonmuutokseen, ne ovat välttämättömiä kokonaisuuden hahmottamiseksi. Toisessa osassa tutkitaan varsinaisia ilmastonmuutoksen aiheuttamia haasteita.

2. Itämeren ominaispiirteet

Itämeri on suhteellisen pieni sisämeri, tarkemmin ottaen murtovesiallas. Tämä tarkoittaa, että Itämerellä on tiettyjä maantieteellisiä, fysikaalisia, kemiallisia ja ekologisia ominaispiirteitä jotka tekevät siitä maailman valtameristä olennaisesti poikkeavan, sekä vaikuttavat ympäristöongelmien syntyyn ja kehitykseen. Lisäksi Itämeren alueen poliittinen tilanne vaikuttaa mitä suurimmassa määrin näiden ongelmien syntymiseen, sekä toimintaan niiden hillitsemiseksi ja ratkaisemiseksi.

2.1 Maantiede

Itämerta ympäröi 9 valtiota, ja sen valuma-alueella asuu vajaat 90 miljoona ihmistä, joista merkittävä osa asuu tiheään asutuilla rannikkoalueilla. Valuma-alueen koko on runsaat 1,6 miljoonaa neliökilometriä, josta noin neljännes on viljelysmaata joka on merkittävä ravinnekuormituksen aiheuttaja. Valuma-alueen viljelysmaan pinta-ala on itse asiassa hyvin lähellä Itämeren pinta-alaa joka on 392 000 km². (SYKE 2012 / Itämeriportaali, Flinkman teoksessa Niemelä et al 2011).

Itämeren valuma-alueella on globaalissa mittakaavassa vauraita ja taloudellisesti kehittyneitä valtioita. Tämä pätee keskimäärin vaikka maakohtaiset erot toki ovat merkittäviä. Esim. Puolan maatalous on viime vuosien nopean kehittymisen jälkeenkin edelleen suhteellisen kehittymätöntä verrattuna Suomeen tai Ruotsiin. Vauraus luonnollisesti vuorostaan tarkoittaa, että alueella on runsaasti teollisuutta, liikennettä, ja tehokasta maanviljelyä, kaikki seikkoja jotka lisäävät

ravinne- ja muita päästöjä (*Flinkman teoksessa Niemelä et al 2011, Ollikainen teoksessa Bäck et al 2010*). Taloudellinen kehittyneisyys ei tietenkään ole ainoastaan pahasta, vaan tarjoaisi ainakin teoriassa myös mahdollisuuksia teknologisiin ja muihin ratkaisuihin joiden kautta päästöjä voidaan vähentää. Näin onkin osittain tehty, mutta ei kaikilta osin onnistuttu (kts. myös luku 2.5 Poliittiset tekijät).

2.2 Fysikaaliset tekijät

2.2.1 Mataluus

Itämeren veden keskisyvyys on vain 54 metriä. Vertailun vuoksi toisen sisämeren, Välimeren, keskimääräinen syvyys on 1500 metriä, ja globaalien valtamerien keskisyvyys vuorostaan 4000 metriä. (*Flinkman teoksessa Niemelä et al 2011, SYKE 2012/Itämeriportaali*). Itämeren pieni syvyys tarkoittaa pientä vesivolyymiä, ja tämä yhdistettynä pinta-alaltaan merta neljä kertaa suurempaan valuma-alueeseen (kts. edellä) tarkoittaa, että suurten alueiden päästöt päätyvät suhteellisesti hyvin pieneen vesimassaan (*Lappalainen toim. 1998*). Tämä päästöjen ja niitä vastaanottavan vesivolyymien välinen epäedullinen suhde onkin yksi keskeisimpiä syitä Itämeren rehevöitymis- ja saastumisherkkyydelle (*mm. Furman et al 1998, Ryhänen 2003*). Pieni vesimäärä on luonnollisesti myös alttiimpi ilmastonmuutoksen aiheuttamille ulkoisille vaikutuksille, kuten lämpötilan nousulle.

2.2.2 Hidas veden vaihtuvuus

Itämeren ainoa yhteys maailman valtameriin on Tanskan matalien ja kapeiden salmien kautta. Tämä tarkoittaa, että Itämeren veden vaihtuvuus on hyvin hidasta, vaikka vesimassa onkin verrattain pieni. On arvioitu, että koko Itämeren vesimassan vaihtuminen kestää 30-50 vuotta (*Flinkman teoksessa Niemelä et al 2011, SYKE 2012 / Itämeriportaali*).

Uutta, vähemmän ravinteikasta vettä tulee siis vain harvakseltaan, ja näin ollen Itämereen päätyvät ravinteet, kemikaalit, mikromuovit ja muut saasteet ehtivät vaikuttaa ekosysteemiin pitkän ajan kuluessa.

2.2.3 Merivirrat

Itämeren pintaveden merivirrat (noin 0-40 m syvyyteen asti) kulkevat pääpiirteittäin vastapäivään rannikkoa seuraten (*Ollikainen, teoksessa Bäck et al 2010*). Merivirrat eivät varsinaisesti vaikuta ekosysteemin ongelmien kokonaisuuteen, mutta se, että päästökuormituksen lähteet ja niiden vaikutusalueet eivät välttämättä ole samassa paikassa on seikka jolla voi olla laajoja vaikutuksia erityisesti suojeleutuksen osalta.

Esimerkiksi Suomenlahdella virta kulkee Viron pohjoisrannikkoa itään päin, ja takaisin Suomen etelärannikkoa pitkin länteen. Tämän takia Pietarin alueen 2010-luvulla uudistetut vedenpuhdistuslaitokset olivat Suomen aluevesien ja rannikon veden laadulle niin tärkeä asia, ja hanketta rahoitettiin tästä syystä osittain suomalaisin varoin. Myös vuonna 2012 paljastuneet laajat fosforipäästöt Lugajoen suulla Venäjän Kingiseppissä kulkeutuivat suurilta osin merivirtojen mukana Suomen rannikkovesiä rehevöittämään (*Helsingin Sanomat, 2013*).

2.2.4 Veden kerrostuneisuus

Sateiden ja jokien mukanaan tuoma makea vesi on kevyempää kuin suolaisempi merivesi, ja jää näin ollen "kellumaan" suolaisemman veden päälle. Itämerellä esiintyykin noin 50-70 metrin syvyydessä ns. suolaisuuden harppauskerros eli halokliini (*Flinkman teoksessa Niemelä et al 2001, Lappalainen toim 1998, Ryhänen 2003*). Halokliini estää veden sekoittumista vesipilarin pystysuunnassa, ja halokliinin alapuolella esiintyy yleisesti happikatoa joka johtuu pohjaan vajonneen kuolleen eloperäisen aineen hajoamisesta.

Vesi kerrostuu myös lämpötilan mukaan, lämpimämmän ja kevyemmän pintaveden pysyessä kylmemmän eli painavamman pohjaveden päällä. Termokliini eli lämpötilan harppauskerros on osa vesipilarista noin 10-20 metrin syvyydessä jonka alueella veden lämpötila nousee nopeasti

ylöspäin mentäessä (mm. Ryhänen 2003, Lappalainen toim. 1998). Termokliini purkatuu keväisin ja syksyisin meriveden kokonaislämpötilan muuttuessa, mutta halokliini on vuositasolla pysyvä (Flinkman teoksessa Niemelä et al 2011). Termokliinin purkautuessa pohjaan vajonneita ravinteita tulee uudelleen pintavesissä yhteyttävien levien käyttöön.

2.2.5 Sisäinen kuormitus

Itämeren ympäristöongelmien ja nimenomaan rehevöitymisen yksi merkittävä tekijä on ns. sisäinen kuormitus. Tämä ilmiö ei varsinaisesti aiheuta rehevöitymistä, mutta se pitää sitä yllä sen kerran alettua. Yksinkertaisuudessaan kyse on siitä, että merenpohjan sedimentteihin sitoutunut fosfori vapautuu uudestaan ravinteeksi levien käyttöön (Bäck et al 2010).

Sisäisen kuormituksen vaikutus on merkittävä, sen myötä saattaa vapautua moninkertainen määrä ravinteita ulkoiseen kuormitukseen (eli maalta valuvat uudet ravinteet) verrattuna. Sisäiseen kuormitukseen vaikuttaa vahvasti happitilanne: hapekkaassa vedessä sedimentit pystyvät sitomaan fosforia, kun taas hapettomissa oloissa fosforia vapautuu pohjasedimentistä (Bäck et al 2010). Koska kuollut eloperäinen aines, kuten sinilevät, aiheuttavat happikatoa hajotessaan merenpohjassa niin rehevöityminen aiheuttaa pahan kierteen: lisääntynyt biomassan tuotanto kuluttaa happea, ja tämä ilmiö vuorostaan vapauttaa ravinteita uuden tuotannon käyttöön.

2.2.6 Suolapulssit

Itämerelle ominainen ja ekosysteemin kannalta merkittävä ilmiö on ns. suolapulssi. Tanskan salmien kautta virtaa jatkuvasti pintakerroksissa makeampaa, kevyempää vettä Itämerestä ulos, ja samalla syvemmällä virtaa raskaampaa, suolaisempaa vettä Pohjanmereltä sisään. Sopivien olosuhteiden (tärkeimpinä tekijöinä kovat länsituulet sekä matala meriveden taso Itämerellä) vallitessa tapahtuu yksittäisiä, merkittäviä suolaisen veden sisäänpäin virtaamia eli ns. suolapulsseja.

Suolapulssit tuovat mukanaan runsassuolaista, hapekasta vettä Itämeren syvänteisiin, ja lieventävät näin rehevöitymisen aiheuttamaa happikatoa. (*Furman et al 1998, Flinkman teoksessa Niemelä et al 2011*). Samalla suolapulssit kuitenkin työntävät syvänteistä bentisen hajoamisprosessin vapauttamaa fosforia ylempiin vesikerrokseen, jossa se tulee mm. sinilevien käyttöön. Toisin sanoen, vaikka suolapulssit parantavat syvänteiden happitilannetta niin ne voivat lyhyellä aikavälillä pahentaa rehevöitymisen ilmentymiä lisäämällä esimerkiksi sinileväkukintoja.

Koska tuuli- ja ilmanpaineolosuhteiden pitää olla juuri tietyntyliset, suolapulssit esiintyy harvakseltaan. Merkittävien suolapulssien välillä voi kulua jopa vuosikymmeniä. Tuorein iso suolapulssi koettiin vuoden 2014 lopulla, kun pitkään jatkuneen matalan veden olosuhteiden jälkeen koettiin voimakkaat länsituulet (*SYKE 2015*). Vuonna 2023 vuorostaan esiintyi keskiuureksi arvioitu suolapulssi.

Vaikka moni seikka Itämeressä vaikuttaa rehevöitymisherkkyyteen, Itämeri ei kuitenkaan suinkaan ole homogeeninen alue, ja rehevöitymisalttius vaihtelee sen eri osissa (*Rönnberg & Bonsdorff 2004*). Esimerkkinä toimii yhtäältä Pohjanlahti, joka Ahvenanmaan merenpohjan kynnysten ansiosta on suhteellisen suojassa suolapulssien tuomasta ravinnekuormasta, ja toisaalta Saaristomeri, jonka tietyt ominaisuudet tekevät siitä erityisen herkän rehevöitymiselle. Ensinnäkin Lounais-Suomen viljelysmaiden ravinnekuormituksesta merkittävä osa päätyy Saaristomerelle. Näiden lisäksi länteen kulkeutuvat merivirrat kuljettavat ravinteita Suomenlahden alueelta Saaristomeren ulkosaaristoon. Kun vielä Saaristomeren sokkeloinen saaristo toimii ravinteita pysäyttävänä suodattimena, niin rehevöityminen on noussut erityisen merkittäväksi ongelmaksi juuri tällä kyseisellä alueella. (*Rönnblad & Bonsdorff 2004, Bonsdorff et al 1997*).

2.3 Kemialliset tekijät

Keskeisin kemiallinen tekijä Itämeren ekosysteemissä on meriveden alhainen suolaisuus. Itämeri on niinsanottu murtovesiallas, eli eräänlainen makean ja suolaisen veden välimuoto (*Flinkman teoksessa Niemelä et al 2011, Lappalainen toim. 1998*). Suolaisuusaste vaihtelee alueellisesti Itämeren eteläosien noin 20 promillesta Pohjanlahden ja Suomenlahden perukoiden alle 2

promilleen. Rannikon sisälahdissa suolaisuus voi jäädä jopa alle promillen (*Bonsdorff et al 1997, Flinkman teoksessa Niemelä et al 2011, Ryhänen 2003*). Vertailun vuoksi esim. Atlantilla meriveden suolapitoisuus on tyypillisesti noin 35 promillea.

Maantieteellisen vaihtelun lisäksi Itämeren suolaisuusaste vaihtelee myös vesipilarin korkeussuunnassa, kuten edellä on halokliinista selitetty.

Meriveden suolaisuusaste lisää osaltaan Itämeren ekosysteemin haavoittuvuutta. Tyypiesimerkki on turska, jonka mäti vaatii tietyn suolapitoisuuden jotta se kelluisi vesipilarissa. Liian alhaisessa suolapitoisuudessa mäti vajoaa pohjaan eikä turska pysty lisääntymään. Tarpeeksi suolaista vettä on Itämeressä kuitenkin normaalioloissa vain syvänteissä halokliinin alapuolella, jossa taas rehevöitymisen aiheuttama happikato vaikeuttaa turskan lisääntymistä. (*Flinkman, teoksessa Niemelä et al 2011*).

2.4 Ekologiset tekijät

Itämeressä moni laji elää jatkuvassa stressitilassa. Tämä johtuu murtovedestä joka ei ole ihan optimaalinen suolaisen- eikä makean veden lajeille, sekä jäätymisestä jonka suuri ajallinen ja alueellinen vaihtelu vuodesta toiseen vaikeuttaa sopeutumista. Lisäksi Itämeren maantieteellinen sijainti on sellainen, että moni laji elää täällä levinneisyysalueensa pohjoisilla ja osittain läntisillä rajoilla. (*Flinkman teoksessa Niemelä et al 2011, Bonsdorff et al 2002, Furman et al 1998, Lappalainen, toim. 1998*).

Sinisimpukka, joka vesilintujen tärkeänä ravintona on ekosysteemin avainlajeja, on tästä hyvä esimerkki. Sinisimpukka kasvaa Itämeren vähäsuolaisessa ympäristössä stressin seurauksena keskimäärin huomattavasti pienemmäksi kuin läheisellä Pohjanmerellä, ja Suomenlahden sekä Pohjanlahden vähäsuolaisista perukoista se puuttuu kokonaan. Ekologisessa mielessä lajin esiintyminen ääri rajoilla ja stressiä aiheuttavassa ympäristössä tarkoittaa, että niiden sietokyky ympäristön muutoksille - tarkemmin ekosysteemin palautuskyky eli resilienssi - voi olla normaalia alhaisempi (*Reese et al. 2011*). Täten häiriötekijöiden, kuten rehevöitymisen tai ilmastonmuutoksen, vaikutukset voivat olla merkittäviä.

Nykyisessä muodossaan Itämeri on ollut olemassa vain noin 10 000 vuotta, eli viime jääkauden jälkeisen ajan (*Flinkman teoksessa Niemelä et al 2011, Furman et al 1998*). Näin ollen Itämeri on evolutiivisessa mielessä hyvin nuori akvaattinen ekosysteemi. Tämän vuoksi uusia, endeemisiä eli kotoperäisiä lajeja ei ole ehtinyt syntyä, ja tämä yhdistettynä edellä mainittuihin stressaaviin oloihin vuorostaan tarkoittaa että lajeja on lukumäärällisesti melko vähän (*Bonsdorff et al 2002, Lappalainen, toim. 1998*). Lajien vähälukuisuus vuorostaan tarkoittaa, että todennäköisyys vapaiden ekolokeroiden löytymiselle on suurempi. Ilmastonmuutos ja rehevöityminen voivat vuorostaan luoda uusia ekolokeroita, etenkin lisääntyneen ravinnon myötä, ja tämä yhdistettynä jo ennestään “ylimääräiseen ekologiseen tilaan” voi johtaa siihen, että muuttuvista olosuhteista hyötyvien lajien on verrattain helppo löytää paikkansa ekosysteemistä ja muuttaa sitä. Tällaisia rehevöitymisestä hyötyviä ja viime vuosikymmeninä runsastuneita lajeja ovat sinilevien ohella esimerkiksi särkikalat ja niiden perässä Itämerelle parin sadan vuoden poissaolon jälkeen palannut merimetsokanta.

2.5 Poliittiset seikat

Itämeren rannikolla sijaitsee 9 eri valtiota. Yhteistyöstä huolimatta näiden valtioiden voidaan lähtökohtaisesti olettaa ensisijaisesti ajavan omia poliittisia ja taloudellisia intressejään. Rannikkovyöhykkeen ulkopuolella meri on yhteisomistusresurssi, jota mikään valtio tai muu taho ei omista tai hallinnoi. Sitä voi siis juridisessa mielessä vapaasti käyttää, ja käytöksi lasketaan tässä yhteydessä kalastuksen ja kuljetuksen ohella myös esimerkiksi jätevesien päästäminen. (*Ollikainen, teoksessa Bäck et al 2010*). Tällaisia yhteisomistusresursseja tullaan talousteorian mukaan ylikäyttämään, ellei käyttöä rajoiteta ylikansallisilla kontrollimekanismeilla tai instituutioilla (*Ollikainen, teoksessa Bäck et al 2010, Hardin 1968*). Tällaiset mekanismit ovat kuitenkin osoittautuneet käytännössä vaikeiksi toteuttaa. Venäjän aloitettua hyökkäyksensä Ukrainaan vuonna 2022 yhteistyö on pakotteiden ja katkenneiden keskusteluyhteyksien myötä entisestään vaikeutunut.

Merivirroilla on oma osuutensa ongelmien vaikeuttajina: oman alueen päästöjen rajoittaminen ei ole rannikkovaltioiden intresseissä, koska iso osa ravinteista ja muista päästöistä kulkeutuvat

joka tapauksessa pintavesien mukana muualle. Tämä on vuorostaan vaikeuttanut kuormituksen vähentämiseen tähtääviä toimenpiteitä.

3. Ilmastonmuutoksen havaitut ja ennustetut vaikutukset Itämereen

3.1 Fysikaaliset ja biogeokemialliset muutokset.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset Itämereen perustuvat ennustettaviin muutoksiin keskeisissä fysikaalisissa parametreissa: meriveden keski- ja ääriämpötilassa, hydrologiassa ja kryosfäärin (jääpeitteen) dynamiikassa. Nämä fyysiset muutokset laukaisevat poikkeuksetta biogeokemiallisia (eli esim. hiilen, hapen ja ravinteiden kuten fosforin ja typen kiertoa elollisen ja elottoman luonnon välillä) vasteita Itämeren ekosysteemeissä.

3.1.1 Lämpödynamiikka ja kryosfääri

3.1.1.1 Havaittu ja ennustettu lämpeneminen.

Havaittu lämpötilan muutos on selkeimmin dokumentoitu reaktio lisääntyneisiin kasvihuonekaasupäästöihin Itämeren alueella (*HELCOM 4*). Itämeren keskimääräinen pintalämpötila on osoittanut lämpenemistä, joka ylittää maailmanlaajuisen valtamerten keskiarvon, ja sen odotetaan jatkavan nousuaan. Yksityiskohtainen satelliittiseuranta viime vuosikymmeninä tukee tätä havaintoa, ja lämpötilan arvioidaan nousseen keskimäärin noin 0,048 astetta vuodessa vuosina 1982–2021. Korkein mitattu lämpötila osoitti vieläkin voimakkaampaa

vuotuista nousua, 0,062 astetta vuodessa samalla ajanjaksolla (*Jamali et al, 2023*). Tulevaisuuden ilmastosimulaatiot ennustavat tämän lämpötilan kiihtymisen jatkuvan ja arvioivat Itämeren ympäristön lämpenevän 2–4 astetta vuoteen 2100 mennessä. Tämä alueellinen lämpeneminen ei rajoitu pelkästään keskilämpötiloihin; myös lämpimien äärimmäisyyksien ennustetaan yleistyvän ja olevan yhä korkeampia.

3.1.1.2 Merijään väheneminen

Itämeren kryosfäärin eli jääpeitteen pieneneminen on yksi ilmastomuutoksen näkyvimmistä fyysisistä ilmentymistä. Merijään enimmäislaajuuden on havaittu vähenevän noin vuodesta 1800 lähtien, ja viime aikoina on kirjattu historiallisen alhaisia arvoja, kuten historian pienin havaittu laajuus talvella 2019-2020 (*EEA, 2025*).

Ennusteet osoittavat, että tämä kehitys tulee jatkumaan. Simulaatiot viittaavat jääpeitteen mahdolliseen vähenemiseen 50–80 prosenttia vuoteen 2100 mennessä (*Andersson et al, 2015*). Merijään ominaisuuksien kliiniset analyysit vahvistavat yhtenäisen trendin kohti lyhyempiä jääkausia, pienempää merijään kokonaislaajuutta ja pienentyntä keskimääräistä merijään paksuutta. Esimerkiksi Perämerellä vuotuinen jääpeiteaika on lyhentynyt noin 1–3 päivää vuodessa (*HELCOM 5*). Jään paksuuden väheneminen on ollut merkittävää, ylittäen joillakin alueilla 50 % kevätkaudella verrattuna aikaisempiin ajanjaksoihin (jakso 2007/08–2020/21 verrattuna jaksoon 1993/94–2006/07) (*Singh et al, 2025*).

Jääpeitteen väheneminen tai jopa häviäminen aiheuttaa merkittäviä toissijaisia seurauksia rannikkoalueiden geomorfologialle (maanpinnan muoto ja maaperän rakenne) ja ekologialle. Jään kulumisen, rannikkoalueiden elinympäristöjen fyysinen kulumisen jään liikkumisen seurauksena, on ollut vallitseva rannikkoprosessi pohjoisella ja keskisellä Itämerellä (*Strandmark et al, 2015*). Jääpeitteen ennustettu väheneminen vähentää suoraan jään kulumisen esiintyvyyttä, ajoitusta ja voimakkuutta, muuttaa sedimenttien dynamiikkaa ja mahdollisesti siirtää niiden rannikkoalueiden ekologista tasapainoa, jotka ovat sopeutuneet tähän fyysisen häiriön muotoon. Lisäksi pienenevä jääpeite vaikuttaa suoraan eräiden eläinlajien ekologiaan, kuten esimerkiksi itämeren norppaan, joka synnyttää poikasensa jääkinoksiin.

3.1.2 Hydrologisen tasapainon, suolapitoisuuden ja kerrostuman muutokset

Itämeren alueellisen vesikierron muutokselle keskeistä on sademäärän lisääntyminen, erityisesti pohjoisilla valuma-alueilla, missä ennustetaan jopa noin 30% lisääntyvää sadantaa (*Andersson et al, 2015*). Tämä lisääntynyt kuormitus kiihdyttää makean veden valuntaa maalta, millä on konkreettinen vaikutus virtausjärjestelmään. Havaittuihin muutoksiin kuuluvat talvisten jokien virtaamien kasvu ja kevättulvien vähenemissuuntaus aikaisemman lumen sulamisen vuoksi (*Meier et al, 2022*). Pohjoisella Itämerellä valunta liittyy läheisesti ilman lämpötilaan ja tuulen vaikutukseen, kun taas eteläisen alueen valunta liittyy enemmän syklonisten tai antisyklonisten painejärjestelmien voimakkuuteen (*Meier et al, 2022*). Lisääntynyt valunta tuo entistä enemmän ravinteita maaperästä ja pahentaa näin rehevöitymisongelmia entisestään. Myös muita saasteita päätyy ilmasta ja maaperästä suurempia määriä Itämereen.

3.1.2.1. Suolapitoisuuden väheneminen ja kerrostumisdynamiikka

Lisääntynyt makean veden valunta yhdessä kasvavan sademäärän kanssa vaikuttaa meren makean veden määrään, mikä vähentää meriveden suolapitoisuutta (*Lehmann et al, 2022*). Suolapitoisuuden pitkän aikavälin trendit ovat kuitenkin edelleen monimutkaisia ja epävarmoja. Vaikka suolapitoisuudella on paikallisesti merkittäviä horisontaalisia ja vertikaalisia eroja, tilastollisesti merkitseviä vuosisatoja koskevia trendejä ei ole lopullisesti vahvistettu vuoden 1850 jälkeen, vaikka selvää useiden vuosikymmenten vaihtelua (noin 30 vuoden jaksotus) esiintyy (*Andersson et al, 2015*).

Tulevaisuuden suolapitoisuuden dynamiikkaan liittyvä epävarmuus johtuu osittain myös Itämeren riippuvuudesta Pohjanmereltä tulevista satunnaisista suurista suolavesivirroista (suolapulssit), jotka tuovat suolaista ja hapekasta vettä syviin altaisiin (*Lehmann et al, 2022*). Näihin virtauksiin vaikuttavat voimakkaasti laajamittaiset ilmakehän kiertokulut, erityisesti Pohjois-Atlantin oskillaatio (NAO), jonka reaktio tulevaan ilmastonmuutokseen on erittäin epävarma ja vaihtelee eri ennustemallien välillä (*HELCOM 4*).

Ennustemallien arviot Itämeren tulevaisuuden suolapitoisuudesta vaihtelevat selkeästi laskusta hyvin pieniin muutoksiin (*HELCOM 4*). Lisääntyneen makean veden yksi ennustettu seuraus on kuitenkin kerrostumisen voimistuminen. Meren pintakerroksen makeutuminen vähentää sen

tiheyttä, mikä vahvistaa pystysuoraa tiheysgradienttia (halokliinia eli suolaharppausta), joka erottaa pinta- ja syvät vedet toisistaan (*HELCOM 5*). Vahvistunut kerrostuneisuus vuorostaan estää vertikaalista sekoittumista. Tämä rajoittunut sekoittuminen puolestaan estää liuenneen hapen täydentymisen syvempiin vesiin, mikä luo suoran fyysisen yhteyden ilmaston aiheuttamien makean veden valuntojen muutosten, ja ekosysteemin hypoksian eli happikadon laajenemisen välille (*HELCOM 4, Lehmann et al, 2022*).

3.1.3 Happikato, rehevöitymisen takaisinkytkentä ja happamoituminen

Yksi vakavimmista ilmastonmuutoksen pahentamista biogeokemiallisista ongelmista on pohjavesien hapenpuutteen leviäminen. Ilmastotutkijat kutsuvat tätä ilmiötä yhdessä lämpenemisen ja happamoitumisen kanssa “tappavaksi kolmikoksi”.

3.1.3.1 Hapenpuutteen ja rehevöitymisen takaisinkytkentäsilmukka

Koska syvänmeren hapen saantia rajoittaa ilmastonmuutoksen lisäämä kerrostuneisuus, hapenpuutteen ennustetaan leviävän erityisesti Itämeren eteläisillä altailla. Tämä happikato laukaisee itseään vahvistavan takaisinkytkentämekanismiin (sisäinen kuormitus), joka vaikeuttaa merkittävästi rehevöitymisen torjuntaa, joka on jo nyt yksi vakavampia Itämeren ympäristöhaasteista. Hapettomissa olosuhteissa pohjasedimentteihin sitoutunut fosfaatti vapautuu takaisin vesipatsaaseen. Tämä lisääntynyt sedimentin fosforin vapautuminen ruokkii suoraan sinileväkukintojen lisääntymistä. Näin ollen ilmastonmuutos voimistaa Itämeren ekosysteemin sisäistä ravinteiden kiertoa ja vähentää siten ulkoisten ravinteiden vähentämistoimenpiteiden kokonaistehokkuutta (*Andersson et al, 2015*).

3.1.3.2 Tummuminen ja mikrobien kiertokulku

Lisääntynyt sademäärä ja valunta, joiden ennustetaan nousevan jopa 30 % pohjoisessa, johtavat myös allohtonisen (“muualta tulleen”) orgaanisen aineksen (Allochthonous Organic Matter, AOM), mukaan lukien liuenneen orgaanisen hiilen ja siihen liittyvien humusaineiden,

suurempiin päästöihin (*Andersson et al, 2015*). Tämä prosessi johtaa vesipatsaan tummumiseen, eli merivesi muuttuu kirkkaasta sameaksi.

Humuksessa runsaasti esiintyvät aromaattiset aineet aiheuttavat varjostusta ja rajoittavat merkittävästi valon läpäisyä vesipatsaassa. Tämä valon saatavuuden väheneminen vähentää siten kasviplanktonin pelagista perustuotantoa. Pohjoisilla altailla, erityisesti Pohjanlahdella, jossa AOM-valumat ovat suurimmat, tämä suosii heterotrofisia bakteereja. Siirtyminen valon ohjaamasta perustuotannosta (autotrofiset prosessit) kohti lisääntyneitä riippuvuutta heterotrofisista bakteereista ja maanpäällisen orgaanisen aineksen kulutuksesta, muuttaa koko ravintoverkon perustaa. Tämä siirtymä lisää "ylimääräisiä trofiatasoja" ekosysteemin energiansiirtoreittiin, mikä vuorostaan johtaa lisääntyneisiin energiahäviöihin ja lopulta korkeampien trofiatasojen ylläpitämiseen käytettävissä olevan energian vähenemiseen (*Andersson et al, 2022; HELCOM 4*).

Ihmisen näkökulmasta tämä ilmiö voi konkretisoitua ennen kaikkea taloudellisesti merkittävien kalakantojen pienenemisenä. Myös esimerkiksi linnuille tarjolla oleva energian kokonaismäärä vähenee.

3.1.3.3 Meriveden happamoituminen

Vaikka meren happamoituminen usein jää alueellisten lämpenemisen ja hapettomien alueiden vaikutusten varjoon, se on kuitenkin pitkäaikainen ja merkittävä kemiallinen stressitekijä. Tarkkaan ottaen happaneminen ei varsinaisesti aiheudu ilmastonmuutoksesta, vaan näillä ilmiöillä on sama aiheuttaja eli ilmakehän nouseva CO₂-pitoisuus (*EEA 2*).

Maailmanlaajuisesti happamoituminen on jo laskenut valtameren pH-arvoa merkittävästi (*EEA 2*). Itämerellä happamoitumisen odotetaan vaikuttavan keskeisiin fysiologisiin prosesseihin, kuten eliöiden kasvuun, aineenvaihduntaan ja lisääntymiseen. Erityisesti simpukoiden kalkkeutuminen todennäköisesti hidastuu, varsinkin niiden nuorissa vaiheissa. Tämä fysiologinen vaurio on erityisen huolestuttava, koska se vaikuttaa pohjaeläinyhteisöjen palautumispotentiaaliin, johon rehevöityminen vaikuttaa jo ennestään usein häiritsevänä ja heikentävänä. Lisäksi simpukat ovat Itämerellä alhaisen suolaisuuden takia jo valmiiksi stressitilassa, joten pienikin happamuuden lisäys voi olla merkittävä tekijä (*Viitasalo, 2019*).

Vähentyneet simpukkakannat vaikuttavat vuorostaan niitä syöviin vesilintuihin, esimerkkeinä uhanalainen haahka ja Itämerellä talvehtivat allit.

Taulukko 1: Fysikaaliset muutokset Itämeressä

Parametri	Havaittu Trendi (1982–2021)	Ennustettu muutos (vuoteen 2100)	Tärkein vaikuttava tekijä
Meriveden pintalämpötila (SST)	+0.048 astetta / vuosi.	Nousu (2–4 astetta)	Ilmakehän lämpeneminen
Maksimaalinen jääpeitto	Merkittävä vähennys (vuodesta 1800)	50-80% väheneminen	Ilmakehän lämpeneminen
Sademäärä (Pohjoisessa)	Kasvu (Voimakkaat maksimit talvisin)	Kasvu (noin 30%)	Ilmakehän lämpeneminen
Pohjan happitilanne	Vähennys (Hapettomien alueiden laajentuminen)	Hapettomien / vähähappisten alueiden lisääntyminen	Lisääntyvä kerrostuneisuus, Sisäinen kuormitus
Suolaisuus (pintakerroksessa).	Ei selvää trendiä	Vähentyminen (E erityisesti pohjoiset altaat)	Lisääntynyt sadanta ja valunta.

3.2. Ilmastonmuutoksen seuraukset meri- ja rannikkoekosysteemeille.

Muuttuvien fysikaalisten ja biogeokemiallisten parametrien seuraukset ilmenevät laajalle levinneenä ekologisena uudelleenjärjestelynä, joka vaikuttaa lajien levinneisyyteen, ravintoverkkojen dynamiikkaan ja elinympäristöjen elinkelpoisuuteen.

3.2.1 Biodiversiteetin väheneminen ja lajien levinneisyysmuutokset

Ilmastonmuutos ajaa lajien merkittävää alueellista uudelleenjärjestelyä, pahimmillaan työntäen ne fysiologisten sopeutumisrajojensa ulkopuolelle. Tämä vuorostaan johtaa biodiversiteetin vähenemiseen käytännössä kaikissa rannikkovesillä tutkituissa biotoopeissa ja eliöryhmissä (*Sumelius et al, 2025*).

3.2.1.1 Suolapitoisuuden ja lämpötilan puristus.

Yksi ilmaston lämpenemisen ensisijainen seuraus meriympäristöissä on lajien levinneisyysrajojen siirtyminen kohti napoja. Itämerellä nouseva merenpinnan lämpötila helpottaa termofiilisten (lämpöä tarvitsevien) lajien leviämistä pohjoiseen, jolloin ne voivat esiintyä pidemmän ajanjakson ajan vuosittain, sekä laajemmilla alueilla (*Vittasalo, 2019*).

Elinalueiden laajenemisen vastavoimana kuitenkin vaikuttaa samanaikainen suolapitoisuuden lasku, joka johtuu lisääntyneestä makean veden valunnasta (*Johannesson, 2024*). Suolapitoisuuden lasku suuremman sademäärän vuoksi toimii ekologisena suodattimena, joka pakottaa suolaisempaan veteen sopeutuneet merilajit supistamaan levinneisyysalueitaan etelään, kohti Itämeren suolaisempia alueita. Lajeille, jotka sietävät murtovettä, mutta ovat lähellä fysiologisia sietokykyrajojaan, kuten rakkolevä, sinisimpukka ja meriajokas, näiden kahden ympäristögradientin (lämpeneminen vaatii siirtymistä pohjoiseen, veden makeutuminen vaatii siirtymistä etelään) välinen ristiriita luo maantieteellisen "puristuksen" (*HELCOM 6*). Tämä vaikutus voimistaa fysiologista stressiä monille merellisille lajeille, mikä voi johtaa ekologiisiin

kilpailuhaittoihin ja näiden lajien levinneisyyden osittaisiin supistuksiin Itämeren alueella (*Mackenzie et al, 2007*).

Havaittu biologisen monimuotoisuuden väheneminen ilmenee usein lajien paikallisena katoamisena tai runsauden ja biomassan vähenemisenä, joihin vaikuttaa ensisijaisesti rehevöityminen ja ilmastonmuutos yhdessä tai erikseen (*Sumelius et al, 2025*). Lisäksi lämpimämmät vedet ja alhaisemmat suolapitoisuudet hyödyttävät myös useiden vieraslajien vakiintumista ja leviämistä, mikä voi lisätä alkuperäisyhteisöjen monimutkaisuutta ja stressiä (*Viitasalo, 2019*).

3.2.2 Troofisen verkon uudelleenjärjestely ja kalastuksen elinkelpoisuus

Ilmastonmuutoksen aiheuttama ekologinen epävakaumus yhdistettynä olemassa oleviin ihmistoiminnan aiheuttamiin paineisiin, kuten liikakalastukseen, muuttaa Itämeren ravintoverkon rakennetta ja toimintaa.

3.2.2.1 Keskeisten meripetojen väheneminen

Keskeisten kaupallisten lajien, kuten Itämeren itäosan turskan (*Gadus morhua*), elinkelpoisuus on kriittisesti vaarantunut meriveden hapenpuutteen ja alhaisen suolapitoisuuden vuoksi (*MacKenzie et al, 2007*). Syvänmeren hapettomien alueiden leviäminen tarkoittaa, että keskeiset kutualueet Itämeren keskiosassa ja pohjoisella alueella voivat muuttua fysiologisesti kelvottomiksi turskan lisääntymiselle (*Andersson et al, 2015*). Turskakantojen pienentyessä tämä muuttaa saalistuspainetta ravintoverkossa. Toisaalta pelagiset kalalajit hyötyvät usein näistä muutoksista. Kilohaili (*Sprattus sprattus*) on osoittautunut erittäin sopeutuvalle ja menestyväksi muuttuvissa ympäristöolosuhteissa. Sen selviytymisaste, levinneisyys ja ruokailutehokkuus ovat parantuneet, erityisesti turskan aiheuttaman saalistuspaineen vähentyessä. Tämä viittaa trofiseen muutokseen kohti yksinkertaistettua pelagista ekosysteemiä, jota hallitsevat joustavat, planktonia syövät lajit, kun taas merelle tyypillisemmät pohjakalayhteisöt supistuvat (*HELCOM 6; MacKenzie et al, 2007*).

3.2.2.2 Siirtyminen mikrobikiertoon

Alloktonisen orgaanisen aineksen (AOM) lisääntynyt valunta maalta johtaa merkittävään ekologiseen muutokseen energiapoluissa, erityisesti Itämeren pohjoisilla altailla. Koska AOM:n aiheuttama ruskistuminen vähentää valon läpäisyä, kasviplanktonin perustuotanto vähenee. Tämä suosii heterotrofisia bakteereja, jotka hyödyntävät maanpäällistä orgaanista hiiltä. Tämä ilmiö edustaa energiariippuvuuden siirtymistä perinteisestä valon ohjaamasta ravintoketjusta (autotrofinen tuotanto) bakteerien välittämään detriittipohjaiseen reittiin (mikrobikierto). Tämän muutoksen ekologinen hinta on se, että mikrobikierto on vähemmän tehokas siirtämään energiaa ravintoverkossa ylöspäin. Näiden "ylimääräisten trofisten tasojen" lisääminen perusresurssien ja kalakantojen välille johtaa lisääntyneisiin energiahäviöihin. Näin ollen, vaikka hiilen kokonaiskierto pysyisi korkeana, kaupallisen kalantuotannon tukemiseen käytettävissä olevan energian ennustetaan vähenevän (*Andersson et al, 2015; HELCOM 6*).

3.2.3. Rannikko- ja pohjaeliöstöjen haavoittuvuus

Matalien rannikkoalueiden ja pohjaeliöstöyhteisöjen on tunnistettu olevan erityisen alttiita ilmastonmuutoksen vaikutuksille verrattuna syvempiin, avomerellä sijaitseviin ympäristöihin. Pohja- ja rannikkoympäristöt kohtaavat voimakkaan kumulatiivisten stressitekijöiden taakan (*EEA, 2023*). Pohjaeliöihin, mukaan lukien kasveihin, vaikuttavat suoraan nousevat lämpötilat, muuttuneet jääolosuhteet ja maan valunnasta johtuva veden läpinäkyvyyden heikkeneminen. Fotosyntettisten pohjakasvien osalta matala valovyöhyke tarkoittaa, että samentumisen aiheuttamat veden kirkkauden ja valon talteenoton muutokset ovat erittäin kriittisiä (*Strandman et al, 2015; HELCOM 6*).

Myös näiden ympäristöjen fyysiset stressitekijät muuttuvat. Esimerkiksi heikentyneiden happiolosuhteiden – joita lisäävät kerrostuneisuus ja sisäinen kuormitus – ennustetaan vähentävän makrozoobentoksen tuottavuutta nykyisillä hapekkailla alueilla. Lisäksi lisääntynyt sademäärä ja valunta voimistavat suolapitoisuuden vaihteluita rannikkoekosysteemeissä, mikä voi vaikuttaa vakavasti herkkien lajien lisääntymiseen ja selviytymiseen (*HELCOM 6*).

Vaikka ulkoisen ravinnekuormituksen vähentämisellä (erilaisten suojelutavoitteiden kautta) on mahdollista vaikuttaa positiivisesti pohjaeliöstöekosysteemeihin, näiden toimenpiteiden onnistuminen liittyy olennaisesti siihen, miten ilmastonmuutos vaikuttaa hapen ja kerrostumisen dynamiikkaan.

3.3 Vaikutukset rannikkoalueisiin ja saariston geomorfologiaan

Itämeren rannikot, joihin kuuluu laajoja saaristoja, reagoivat ilmastonmuutokseen erittäin vaihtelevilla tavoilla, jotka johtuvat suurelta osin alueen ainutlaatuisesta tektonisesta ympäristöstä (*Strandmark et al, 2015*).

3.3.1 Merenpinnan nousun vaihtelu ja rannikkoalueiden haavoittuvuus

Maailmanlaajuinen keskimääräinen merenpinta (Global Mean Sea Level, GMSL) on noussut merkittävästi, ja nousu kiihtyy meriveden lämpölaajenemisen ja napajäätiköiden sulamisen vuoksi (*EEA, 2025*). Satelliitein mitattujen korkeustietojen perusteella arvioidaan Itämeren absoluuttiseksi keskimääräiseksi merenpinnan nousuksi (1992–2012) noin 3,3 mm/vuosi (*Weisse et al, 2021*). Itämeren rannikkoalueita muokkaava keskeinen tekijä on kuitenkin myös alueellisesti vaihtelevat pystysuorat maaliikkeet (Vertical Land Movements, VLM), jotka johtuvat jääkauden jälkeisestä maankohoamisesta (Post-Glacial Uplift, PGU) (*Weisse et al, 2021*).

Suhteellinen keskimääräinen merenpinta, joka määrittää rannikkoalueiden todellisen haavoittuvuuden, vaihtelee huomattavasti Itämeren altaan alueella, mikä luo merkittäviä alueellisia eroja:

Pohjois-Itämeri: Näillä alueilla esiintyy edelleen jääkauden jälkeistä maankohoamista, joillakin alueilla (kuten Perämeren rannikko) jopa 9 mm / vuosi, ja Suomenlahdella noin 3-4 mm / vuosi. Näillä pohjoisilla rannikkoalueilla maa nousee nopeammin kuin absoluuttinen merenpinta. Näin ollen suhteellisen keskimääräisen merenpinnan ennustetaan joko vakiintuvan tai laskevan

verrattuna maahan, mikä tarkoittaa, että pohjoiset, enimmäkseen kallioperästä koostuvat rannat ovat suhteellisesti vähemmän herkkiä ilmastonmuutoksen aiheuttamalle merenpinnan nousulle. Keskitason ilmastoskenaariossa ennustetaan vedenpinnan laskevan noin 35 cm Itämeren pohjoisosissa vuoteen 2100 mennessä (*Soomere, 2024*).

Etelä- ja Lounais-Itämeri: Toisin kuin pohjoisessa, Itämeren eteläiset sedimenttirannat vajoavat tai niiden nousu on vain minimaalista, ja vajoamisnopeus on tyypillisesti noin 1–2 mm/vuosi (*Soomere, 2024*). Näillä alueilla absoluuttinen merenpinnan nousu korostuu suhteessa maan pintaan. Hallitusten välisen ilmastopaneelin IPCC:n ennusteet viittaavat siihen, että suhteellinen merenpinnan nousu on eteläisellä Itämerellä korkeintaan 0,3 - 0,7 m vuoteen 2100 mennessä (*Kapsi et al, 2023*). Tämä ero keskittää ilmastonmuutoksen aiheuttaman rannikkoeroosio- ja tulvariskin suurimmaksi osaksi Itämeren eteläosiin. Merkittävä suhteellinen vedenpinnan nousu eteläisillä sedimenttialueilla vahvistaa merkittävästi aallokon aiheuttamia vaikutuksia, mikä lisää eroosiota (*Soomere, 2024; Strandmark 2015*).

3.3.2. Äärimmäiset sääilmiöt ja rannikkoinfrastruktuurin rasitus

Itämeren alueen ilmastoon vaikuttavat voimakkaasti laajamittaiset ilmakehän kiertokulut, kuten Pohjois-Atlantin oskillaatio (North-Atlantic Oscillation, NAO) (*HELCOM 4*). Vaikka tulevaisuuden ennusteet tuuli- ja aallokkomuutoksista ovat edelleen hyvinkin epävarmoja eri ennustemallien välisen vaihtelujen vuoksi, alueellinen konsensus viittaa äärimmäisten sääilmiöiden voimakkuuden ja esiintymistiheyden kasvuun. Rannikkoalueet, mukaan lukien saaret, kärsivät ennusteiden mukaan tulevaisuudessa yhä enemmän tulvista, pitkittyneistä kuivuusjaksoista, äärimmäisistä lämpötiloista, ja rannikkoeroosiosta. Erityisesti Itämeren päältäan Saksan puolella ennustetaan kokevan voimakasta rankkasateiden lisääntymistä. Tämä muuttaa kausittaista tulvariskiprofiilia, ja mallinnusskenaariot ennustavat tulvien lisääntymistä syksyllä ja talvella, kun taas kevättulvat todennäköisesti vähenevät (*Deppisch, 2023*).

Kriittisen rannikkoinfrastruktuurin, erityisesti satamien, osalta nousevan meriveden ja lisääntyneen myrskyintensiteetin yhdistelmä edellyttää merkittäviä sopeutumisinvestointeja. Satamien on investoitava edistyneisiin tulvansuojauksiin, korotettuihin laitureihin ja kestäväan

suunnitteluun tulvariskien ja voimakkaampien tuulten ja aaltojen aiheuttamien fyysisten vahinkojen lieventämiseksi. Lisäksi äärimmäiset tapahtumat häiritsevät merilogistiikkaa aiheuttaen viivästyksiä, matkojen uudelleenreititystä ja kasvavia toimintakustannuksia.

3.4. Sosioekonomiset vaikutukset ja ihmisten turvallisuus

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ulottuvat suoraan ihmisen järjestelmiin ja vaikuttavat kansanterveyteen, keskeisiin talouden aloihin ja alueelliseen hallintokykyyn.

3.4.1 Taloudellinen vaikutus kalastukseen ja vesiviljelyyn

Kalastusala, joka on keskeinen osa Itämeren alueellista taloutta, on luonteeltaan herkkä ilmaston vaihteluille, jotka vaikuttavat lämpötilaan, suolapitoisuuteen ja hapen saatavuuteen ja sitä kautta kaupallisesti merkittäviin kalakantoihin, kuten turskaan, silakkaan ja kilohailiin (*MacKenzie et al, 2007*).

3.4.1.1 Kalakantojen elinkelpoisuus ja hoidon haasteet

Suolansietokykyisten lajien olosuhteiden ennustettu heikkeneminen, joka johtuu pääasiassa hypoksiasta ja meriveden makeutumisesta, johtaa pessimistisiin näkymiin perinteiselle kalastusalalle. Tämän hetken havaintojen perusteella asiantuntijat pitävät "erittäin epätodennäköisenä", että kalakannat ja niistä riippuvat kalasaaliit palaavat historiallisille korkeille tasoille (*MacKenzie et al, 2007*).

Perinteisesti turskaa, punakampelaa ja merianturaa pyytävien laivastojen on siirryttävä suolapitoisemmille merialueille tai siirryttävä kokonaan vaihtoehtoisiin lajeihin. Kalastuksenhoidon, joka tällä hetkellä keskittyy vakiintuneisiin kiintiöihin ja kalastuskieltoihin, on siirryttävä kohti sopeutumisstrategioita, jotka nimenomaisesti sisältävät ennustetut ilmastonmuutoksen vaikutukset, erityisesti kantojen tuottavuuden pitkän aikavälin muutokset ja lyhytaikaisten äärimmäisten sääilmiöiden (esim. helleaallot) akuutit vaikutukset (*HELCOM 6*).

3.4.1.2 Muuttuva taloudellinen maisema

Kun arvokkaiden merilajien luonnonvaraisten kalojen määrä vähenee, alueellisen kalastustalouden tulevaisuus voi olla vaarassa. Tulevaisuuden kalastustoiminta rajoittuu todennäköisesti pienimuotoisiin, korkealaatuisiin markkinarakoihin, joissa keskitytään matkailuun ja kokemukseen massatuotannon sijaan (*Baltadapt, 2013*).

Muuttuva ympäristö tarjoaa kuitenkin myös erityisiä, paikallisia mahdollisuuksia, kuten alueellisissa sopeutumisstrategioissa on esitetty. Näitä ovat esimerkiksi paremmat mahdollisuudet hyödyntää nykyään vähäarvoisia, makean veden sietokykyisiä kalalajeja (esim. särki) rehuna, biopolttoaineena tai ihmisravinnoksi, mikä heijastaa makean veden sietokykyisten lajien elinympäristöjen ennustettua laajentumista (*Baltadapt, 2013, MacKenzie, 2007*).

3.4.1.3 Seuraukset meriliikenteelle ja rannikkoinfrastruktuurille

Meriliikenne, elintärkeä taloudellinen toiminta Itämerellä, kohtaa ilmastonmuutoksen moninaisia vaikutuksia. Merijään ennustettu väheneminen ja siitä johtuvat lyhyemmät jääkaudet, erityisesti Selkämerellä, helpottavat ympärivuotista pääsyä ja turvallisempaa navigointia kaupalliselle merenkululle, mikä voi lisätä meriliikenteen kokonaistoimintaa (*HELCOM 4*).

Vastaavasti myrskyjen kasvava intensiteetti ja arvaamaton kesto voi johtaa merkittäviin meriliikenteen operatiivisiin haasteisiin. Laivausaikataulujen häiriöt, viivästykset ja uudelleenreititykset tulevat olemaan yhä yleisempiä, mikä edellyttää varustamoilta mukautuvia strategioita toimintakustannusten minimoimiseksi ja tehokkuuden ylläpitämiseksi. Kuten aiemmin todettiin, rannikkotulvien ja myrskyvuoksien kasvava riski vaatii merkittäviä julkisia ja yksityisiä investointeja ilmastonmuutoksen kestävään satamainfrastruktuuriin pitkän aikavälin vakauden varmistamiseksi.

3.4.2 Kansanterveysriskit ja matkailun heikkeneminen

Ilmastonmuutos on suora uhka kansanterveydelle ja voi vaikuttaa kielteisesti alueelliseen matkailuun, joka on erittäin riippuvainen terveistä rannikkovesistä.

3.4.2.1 Vesiperäisten patogeenien lisääntynyt riski

Kohonneet merenpinnan lämpötilat korreloivat vahvasti patogeenisten *Vibrio*-bakteerien esiintyvyyden kasvun kanssa Itämeren rannikoilla (*Tagg & Labrenz, 2024*). *Vibrio*-lajit, mukaan lukien *V. vulnificus*, *V. parahaemolyticus* ja *V. alginolyticus*, viihtyvät lämpimämmässä vedessä. Tarkemmin sanottuna *V. vulnificus* on havaittu lämpötila-alueella 13,5- 28,0 astetta. Analyysi osoittaa positiivisen korrelaation nousevien meriveden keskilämpötilojen ja *Vibrio*-infektioiden kokonaismäärän välillä maissa, joissa on valvontajärjestelmät, kuten Ruotsissa ja Saksassa (*Gyrate et al, 2024*). Siksi odotetaan, että jatkuva ilmaston lämpeneminen lisää *Vibrio*-infektioiden (vibrioosin) tapauksia, mikä on vakava kansanterveydellinen huolenaihe, erityisesti koska mikro-organismien määrän odotetaan olevan huomattavaa koko 2000-luvun ajan. Lisäksi tilastolliset mallit viittaavat merkittävään määrään ilmoittamattomia tapauksia maissa, joissa ei ole tehokasta valvontaa (esim. Liettua ja Puola), mikä osoittaa tarpeen kansainvälisesti koordinoituille seuranta- ja kansanterveysalan reagointijärjestelmille (*Gyrate et al, 2024*).

3.4.2.2 Haitalliset leväkukinnat

Ilmastonmuutoksen pahentamat rehevöitymisen takaisinkytkentäsilmut, joille on ominaista lisääntynyt sisäinen fosforikuormitus, edistävät sinileväkukintojen lisääntymistä. Lämpenemisen ja suolapitoisuuden vähenemisen ennustetaan vaikuttavan voimakkaasti näiden kukintojen jakautumiseen, koostumukseen ja tiheyteen (*Andersson et al, 2015*).

Haitallisilla leväkukinnoilla on merkittäviä seurauksia ihmisten hyvinvoinnille. Ne aiheuttavat suoria terveysriskejä ihmisille ja kotieläimille, mukaan lukien ruokamyrkytys saastuneesta merenelävästä ja sairaudet rannalla virkistäytymisestä. Terveysvaikutusten lisäksi

sinileväkukinnot aiheuttavat voimakasta veden värjäytymistä ja vaahtoamista, mikä johtaa esteettisten, maisemallisten arvojen heikentymiseen ja vaikuttaa kielteisesti rannikkomatkailuun sekä rannikkokiinteistöjen arvoon (Karlsson et al, 2022).

3.4.2.3 Matkailun väheneminen

Pohjois-Eurooppa, mukaan lukien Itämeren alue, kuuluu keskipitkällä aikavälillä ns. ilmastonmuutoksen voittajiin. Tällä tarkoitetaan sitä, että ilmasto muuttuu ihmiselle suotuisammaksi, vaikka ongelmiakin esiintyy. Tämän voisi olettaa vaikuttavan matkailuun positiivisesti, ja varsinkin Välimeren alueen muuttuessa liian kuumaksi Itämeri voisi olla relevantti vaihtoehto turisteille kesäisin.

Kuitenkin akateeminen analyysi löytää myös negatiivisen korrelaation ilmastonmuutosmuuttujien ja kansainvälisen matkailun välillä Itämeren alueella (Atstāja & Cakra 2024). Erityisesti lämpötilan nousun odotetaan vaikuttavan eniten saapuvan matkailun menojen vähenemiseen, kun taas lisääntyneet sademäärät korreloivat vahvasti yövieraiden määrän vähenemiseen. Sikäli kuin tämä pitää paikkansa, se voi asettaa matkailualan vaaraan ja korostaa tiiviin yhteistyön tarvetta päättäjien, matkailutoimijoiden ja ilmastoasiantuntijoiden välillä sopeutumissuunnitelmien kehittämiseksi.

Taulukko 2: Ihmistoiminnan ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutukset

Vaikutus	Pääasiallinen ilmastoparametri	Ihmistoiminnan vaikutus	Seuraus
Syvän veden hapettomuus	Lämpäminen, kerrostuminen	Ravinnekuormitus	Positiivinen takaisinkytkentä: Voimistuva sisäinen kuormitus.

Pienentynyt kalatuotanto	Kasvava valunta maa-alueilta (AOM)	Ravinnekuormitus, ylikalastus	Samentuminen; energiahäviöt trofiatasojen välillä
Rannikon pohjaekosysteemien stressi	Lämpötila, suolaisuuden muutokset.	Happamoituminen, fyysinen vaikutus (ruoppaukset, infrastruktuuri).	Heikentyntyt kalkkiutumisen ja yhteisöjen resilienssi vähähappisissa olosuhteissa.
Terveysriskit (Vibriosis)	Kohoava meriveden lämpötila.	Rannikkoasutus matkailu	Bakteeriperäisten sairastumisten lisääntyminen.

4. Johtopäätökset, hallinnan haasteet ja tulevaisuuden tutkimustarpeet

4.1. Ilmastonmuutos vahvistaa olemassa olevia ongelmia

Itämerelle on ominaista monimutkainen vuorovaikutus ja takaisinkytkentäsilmukat ilmastollisten ja ei-ilmastollisten tekijöiden välillä (*Andersson et al, 2025, HELCOM 7*). Tieteellisen kirjallisuuden selkeä johtopäätös on, että ilmastonmuutos toimii vähemmän erillisenä ongelmana ja enemmän kerrannaistekijänä, joka voimistaa jo olemassa olevia ihmisen aiheuttamia paineita Itämeren ekosysteemeille (toki on samalla syytä huomioida, että myös ilmastonmuutos on ihmiskunnan aiheuttama ilmiö).

Kriittisin ekologisen tilan heikkenemistä ajava mekanismi on ilmaston aiheuttama vesipatsaan epävakaas. Lämpeneminen ja lisääntynyt makean veden valunta vahvistavat vertikaalista kerrostuneisuutta, mikä johtaa laaja-alaiseen happikadon kehittymiseen (*Lehmann et al, 2022*). Tämä kerrostuneisuus puolestaan pahentaa rehevöitymistä kiihdyttämällä fosforin vapautumista

merenpohjan sedimenteistä (sisäinen kuormitus), ruokkimalla haitallisia sinileväkukintoja ja heikentämällä vakavasti pyrkimyksiä saavuttaa ravinteiden vähentämistavoitteita. Samanaikaisesti lämpötilan ja suolapitoisuuden muutokset luovat ristiriitaisia alueellisia paineita, jotka synnyttävät "puristuksen", joka haastaa alkuperäisten murtovesilajien fysiologisen sietokyvyn (*Johannesson, 2024*). Pohjoisessa kasvavan sadannan aiheuttama lisääntynyt AOM-syöte siirtää ravintoverkkoa kohti energiataloudellisesti tehottomampaa mikrobikiertoa, mikä johtaa kalantuotannon vähenemiseen.

4.2. Poliitiikan haasteet ja sopeutumisen välttämättömyydet

Näiden vaikutusten vakavuus ja keskinäinen yhteys edellyttävät, että ilmastonmuutoksen vaikutukset otetaan huomioon kaikissa alueellisen hallinnon ja politiikan osa-alueissa. Itämeren nykyinen hallintojärjestelmä, jolle ovat ominaisia kansainväliset sopimukset, kuten Helsingin yleissopimus (HELCOM) ja BSAP (Baltic Sea Action Plan), on osoittanut olevansa teholtaan rajallinen. Arviointijaksolla 2016–2021 on havaittu vain vähäistä parannusta ja useita indikaattoreita on heikentynyt (*HELCOM 7*). Nykyinen hallintojärjestelmä ei riitä ennakoimaan tai hallitsemaan tehokkaasti ilmastonmuutoksen aiheuttamia kiihtyviä muutoksia ja epälineaarisia takaisinkytkentävaikutuksia (*Jetoo et al, 2021*).

Tämän ratkaisemiseksi on kehitettävä monialaisia, joustavia ja mukautuvia strategioita. Sopeutumisstrategiat, kuten Baltadapt-strategiassa laaditut strategiat, ovat välttämättömiä institutionaalisten valmiuksien vahvistamiseksi ja sen varmistamiseksi, että ilmastotieto integroidaan alueelliseen politiikkaan ja rahoitusmekanismeihin. Ratkaisevan tärkeää on, että ravinnepolitiikan sosioekonominen suunnittelu on nostettava samalle kehittyneisyyden tasolle kuin BSAP:n perustana oleva ekologinen mallinnus. Tällä hetkellä ravinteiden vähentämistavoitteita koskevat taloudelliset ja poliittiset analyysit jäävät jälkeen ekologisesta ymmärryksestä, mikä heikentää yleistä ympäristönsuojelua. Integroidun hoidon prioriteettialueita ovat ravinteiden vähentämistavoitteiden nopeuttaminen, riittävän merisuojelualueiden verkoston turvaaminen ja Itämeren ravintoverkkojen luonnollisen kapasiteetin ennakoiva vahvistaminen ilmastovaikutusten vastustamiseksi (*Baltapt, 2023; HELSOM 4*).

4.3. Tulevaisuuden tutkimustarpeet

Huolimatta laajasta olemassa olevasta tietopohjasta, on edelleen kriittisiä aukkoja, jotka vaativat kohdennettua akateemista tutkimusta tehokkaiden poliittisten toimien tueksi (*HELCOM 6*).

1. Äärimmäisten tapahtumien dynamiikka: Keskimääräisten ilmastomuutosten merkityksen ymmärtämisessä suhteessa äärimmäisiin säätapahdumiin (esim. helleaallot tai kuivuusjaksot) on edelleen puutteita. Tarvitaan kohdennettua tutkimusta, jossa analysoidaan seurantatietoja ennen tällaisia äärimmäisiä tapahtumia, niiden aikana ja niiden jälkeen, sekä pitkäaikaisia kokeita, jotta ymmärretään mm. kalakantojen ja muiden ekosysteemien elpymistä ja vastustuskykyä (*HELCOM 6*).

2. Kytkettyjen järjestelmien mallinnus: Kytkettyjen fysikaalis-biogeokemiallisten mallien jatkuva kehittäminen on välttämätöntä, jotta voidaan vähentää epävarmuutta ennusteiden ympärillä esimerkiksi Itämeren suolapitoisuuden kehityksen osalta. Tarvitaan erityistutkimuksia Pohjanmeren ja Itämeren välisen vesimassanvaihdon dynamiikasta, monimutkaisista vertikaalisista sekoittumisprosesseista, sekä sademäärän ja lämpötilan muutosten alueellisista vaikutuksista virtaukseen (*Lehmann et al, 2022*).

3. Samentumisen trofiset seuraukset: Seurantatoimet edellyttävät kokonaisvaltaista lähestymistapaa, joka kattaa sekä autotrofiset (kasviplankton) että heterotrofiset (bakteerit) prosessit, jotta voidaan täysin mitata energian virtaus ja allohtonisen orgaanisen aineksen (AOM) vaikutus Itämeren perustuotantoon ja siitä johtuvaan kalantuotannon vähenemiseen (*Andersson et al, 2015*).

4. Kansanterveyden integrointi: Tieteellinen seuranta on kytkettävä suoraan kansanterveydellisiin tuloksiin, erityisesti *Vibrio*-bakteerien ja myrkyllisten sinileväkukintojen alueellisten ja ajallisten tekijöiden osalta, jotta voidaan tukea kansainvälisesti koordinoitujen varhaisen havaitsemisen ja varoitusjärjestelmien kehittämistä.

5. Lähdeluettelo

Andersson, A. & al (2015): Projected future climate change and Baltic Sea ecosystem management, *Ambio*. 2015 May 28;44(Suppl 3):345–356. doi: [10.1007/s13280-015-0654-8](https://doi.org/10.1007/s13280-015-0654-8)

Atstāja, D & Cakra, E (2024): Impact of Climate Change on International Tourism Evidence from Baltic Sea Countries. MDPI; *Sustainability* 2024, 16(12), 5203; <https://doi.org/10.3390/su16125203>

BACC II (2015): Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin

Baltadapt Strategy for Adaptation to Climate Change in the Baltic Sea Region (2013): A proposal preparing the ground for political endorsement throughout the Baltic Sea Region. <https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents%20NAP/Adaptation%20Strategies%20and%20Plans/Latvia%20Baltadapt%20Strategy%20for%20an%20Adaptation%20to%20Climate%20Change%20in%20the%20Baltic%20Sea%20Region.pdf>

Bartram, J. & Chorus, I (toim. 1999): Toxic Cyanobacteria in Water:

A guide to their public health consequences, monitoring and management, WHO 1999, London, ISBN 0-419-23930-8.

Bonsdorff, E., Blomqvist, E-M., Mattila, J. & Norkko, A. (1997): Coastal Eutrophication: Causes, Consequences and Perspectives in the Archipelago Areas of the Northern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 1997, 44, supplement A, 63-72

Bonsdorff, E., Rönnerberg, C. & Aarnio, K. (2002): Some ecological properties in relation to eutrophication in the Baltic Sea. *Hydrobiologia* 475/476: 371–377, 2002

Bäck, S., Ollikainen, M., Bonsdorff, E., Eriksson, A., Hallanaro, E-L., Kuikka, S., Viitasalo, M. & Walls, M. (toim 2010): Itämeren tulevaisuus. Gaudeamus, Helsinki University Press.

Deppisch, S. (2023): Climate Change Impacts on Cities in the Baltic Sea Region, Oxford Research Encyclopedias, <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.922>

Elmgren, R. (2001): Understanding Human Impact on the Baltic Ecosystem: Changing views in Recent Decades, *Ambio* vol. 30, No. 4-5 , August 2001.

Eloranta, P. (toim 2004): Inland and Coastal Waters of Finland, Palmenia, University of Helsinki.

European Environment Agency (1) (2025): Arctic and Baltic Sea Ice <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/arctic-and-baltic-sea-ice> (luettu 12.11.25).

European Environment Agency (2) (2023): How Climate Change Impacts Marine Life, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/how-climate-change-impacts-marine-life> (luettu 14.11.25).

European Environment Agency (3) (2025): Global and European Sea Level rise. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/global-and-european-sea-level-rise>

Flinkman, J. (2011): Onko Itämerellä toivoa? Teoksessa Niemelä J., Furman, E., Halkka, A., Hallanaro, E-L. & Sorvari, S. (toim. 2011): Ihminen ja ympäristö. Gaudeamus Helsinki University Press.

Furman E., Dahlström, H & Hamari, R. (1998): Itämeri - luonto ja ihminen. Otavan kirjapaino.

Furman, E., Pihlajamäki, M., Välipakka, P. & Myrberg, K. (2014): Itämeri. Ympäristö ja ekologia. Suomen Ympäristökeskus, Helsinki. Infopaketti, PDF. <http://www.syke.fi/download/noname/%7BC0E3E83E-6BEB-489E-939E-06C4B82E1501%7D/97989> (luettu 30.1.16).

Gyraite, G. et al (2024): Epidemiological and environmental investigation of the ‘big four’ *Vibri*species, 1994 to 2021: a Baltic Sea retrospective study, National Library of Medicine, doi: [10.2807/1560-7917.ES.2024.29.32.2400075](https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2024.29.32.2400075)

Hakala, H. & Välimäki, J. (2003): Ympäristön tila ja suojele Suomessa, Suomen Ympäristökeskus, Gaudeamus.

Hardin, G. (1968): The Tragedy of the Commons. Science 13 December 1968: Vol. 162 no. 3859 pp. 1243-1248 DOI: 10.1126/

Harju-Autti, P., Neuvonen, A. & Hakkarainen, L. (toim. 2011): Ympäristötietoisuus: Suomalaiset 2010-lukua tekemässä, Ympäristöministeriö.

HELCOM (2011): The Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-5) Balt. Sea Environ. Proc. No. 128

HELCOM (2): Itämeren merellisen ympäristön suojelukomissio. helcom.fi (luettu 31.7.25)

HELCOM (3): Baltic Sea Action Plan. <http://www.helcom.fi/baltic-sea-action-plan> (luettu 31.7.25)

HELCOM (4): Baltic Sea Knowledge: Physiochemical parameters directly affected by climate change <https://helcom.fi/baltic-sea-trends/climate-change/direct-parameters/> (luettu 12.10.2025)

HELCOM (5): Baltic Sea Knowledge: Impact Map <https://helcom.fi/baltic-sea-trends/climate-change/impact-map-projections-under-the-rcp4-5-climate-scenario/> (luettu 12.10.25).

HELCOM (6): Baltic Sea Climate Change Fact Sheet <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/09/Baltic-Sea-Climate-Change-Fact-Sheet-2021.pdf>

HELCOM (7) : <https://stateofthebalticsea.helcom.fi/findings/pressures/climate-change/>

Helsingin Sanomat 18.6.2013: HS:n näytteet varmistivat vuodon. <http://www.hs.fi/kotimaa/HSn+näytteet+varmistivat+vuodon/a1371505122646> (luettu 5.6.25)

Helsingin Sanomat 15.6.2013: Venäjän fosforivuoto herätti. <http://www.hs.fi/kotimaa/Venäjän+fosforivuoto+herätti/a1371191002983> (luettu 5.6.25)

Huuskonen, M. (2008): Ravinteet karkaavat pellostä. Helsingin Sanomien teemaliite Itämeri 2/2008.

IPCC Climate Report (2013): Polar regions. http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-Chap28_FGDall.pdf. (luettu 29.7.25).

Jamali, S., Ghorbanian, A. & Abdi, A.(2023): Satellite-observed spatial and temporal Sea Surface Temperature Trends of the Baltic Sea 1982-2021. <https://doi.org/10.3390/rs15010102>

Jetoo, S. (2021): Climate change and the governance of the Baltic Sea environment, **Journal of Baltic Studies** Volume 53, 2022 - [Issue 1, pp 65-84](https://doi.org/10.1080/01629778.2021.1989472). <https://doi.org/10.1080/01629778.2021.1989472>

Johannesson, Kerstin (2024): Climate Change and Baltic Sea Genetic Diversity, Oxford Research Encyclopedias, <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.925>

Kapsi, I. , Kall, T. & Liibus, A. (2023): Sea Level Rise and Future Projections in the Baltic Sea, **Journal of Marine Science and Engineering (JMSE)**, July 2023, DOI:[10.3390/jmse11081514](https://doi.org/10.3390/jmse11081514)

Karlsson, B. et al (2022): A suggested climate service for cyanobacteria blooms in the Baltic Sea – Comparing three monitoring methods, National Library of Medicine, 2022 Oct;118:None. doi: [10.1016/j.hal.2022.102291](https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102291)

Laakkonen, S. & Parpola, A (2010): Rehevöitymiskäsitysten historiaa. Teoksessa Bäck, S., Ollikainen, M., Bonsdorff, E., Eriksson, A., Hallanaro, E-L., Kuikka, S., Viitasalo, M. & Walls, M. (toim. 2010): Itämeren Tulevaisuus. Gaudeamus Helsinki University Press.

Lappalainen, I. (toim. 1998): Suomen luonnon monimuotoisuus. Edita, Helsinki

Lehmann, A. et al (2022): Salinity dynamics of the Baltic Sea, European Geosciences Union: Earth System Dynamics, Volume 13, issue 1, ESD, 13, 373–392, 2022, <https://doi.org/10.5194/esd-13-373-2022>

Lummaa, K., Rönkä, M & Vuorisalo, T. (toim. 2012): Monitieteinen ympäristötutkimus. Gaudeamus.

Luonnonsuojelulaki 20.12.1996/1096

MacKenzie, B., Gislason, H., Möllmann, C. & Köster, F (2007):Impact of 21st century climate change on the Baltic Sea fish community and fisheries, *Global Change Biology* 13: 1348-1367 (2007). Doi:[10.1111/j.1365-2486.2007.01369.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01369.x)

Meier, M. et al (2022): Climate change in the Baltic Sea region: a summary. European Geosciences Union: Earth System Dynamics, Articles, Volume 13, issue 1. ESD, 13, 457–593, 2022.

Määttä, K. & Pulliainen, K. (2003): Johdatus ympäristötaloustieteeseen. Talentum.

Nikkilä, K. & Puotanen, E-L. (2001): Carotenoid Pigments as Tracers of Cyanobacterial Blooms in Recent and Post-glacial Sediments of the Baltic Sea, *Ambio* vol. 30, No. 4-5, August 2001.

Nixon, S. (1995): Coastal Marine Eutrophication: A Definition, Social Causes and Future Concerns. *Ophelia* 41: 199-219. (February 1995). http://www.ccpo.odu.edu/~tian/temp/pictures/nixon_ophelia_1995.pdf

Nyroos, H., Partanen-Hertell, M., Silvo, K. & Kleemola, P. (toim. 2006): Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015. Taustaselvityksen lähtökohdat ja yhteenveto tuloksista. *Suomen Ympäristö* 55 / 2006. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38785/SY_55_2006.pdf?sequence=1 (luettu 30.7.25).

Ollikainen, M (2010): Miksi Itämeri rehevöityy? Teoksessa Bäck, S., Ollikainen, M., Bonsdorff, E., Eriksson, A., Hallanaro, E-L., Kuikka, S., Viitasalo, M. & Walls, M. (toim. 2010): Itämeren Tulevaisuus. Gaudeamus Helsinki University Press.

Pajanen, K., Soulanto, M. & Sikk, E. (toim. 2005): Suomenlahti - alkumerestä nykymereksi. Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Kustantajat Sarmala Oy.

Pitkänen, H. (toim. 2004): Rannikko- ja avomerialueiden tila vuosituhaten vaihteessa. Suomen Itämeren suojeleuohjelman taustaselvitykset. *Suomen ympäristö* 669. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40665/SY_669.pdf?sequence=1 (luettu 5.6.25).

Punttila, E. (2014): Cost-benefit analysis of municipal water protection measures, Publications y City of Helsinki Environment Centre 21/2014

Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim. 2010): Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. ISBN 978-952-11-3806-5 (PDF)

Reese, J., Urry, L., Cain, M., Wasserman, S., Minorsky P & Jackson, R. (2011): *Campbell Biology*, 9th Edition, Pearson.

Ryhänen, E-L. (2003): Itämeri. WWF ja WSOY, Hämeenlinna 2003.

Kotilainen, A. (2011): Happikato vaivasi Itämerta jo keskiajalla. Geologian Tutkimuskeskus. http://www.gtk.fi/ajankohtaista/media/uutisarkisto/index.html?year=2011&number=68&newsType=In_focus (luettu 30.7.25)

Rönnberg, C. & Bonsdorff, E. (2004): Baltic Sea eutrophication: area-specific ecological consequences. *Hydrobiologia* 514: 227–241, 2004.

Sandén, P. & Håkansson, B. (1996): Long-term trends in Secchi depth in the Baltic Sea. *Limnol. Oceanogr.* 41 (2) 1996, 346-351. http://www.aslo.org/lo/toc/vol_41/issue_2/0346.pdf

Singh, S., Maljutenko, I. & Uiboupin, R. (2025): Sea ice in the Baltic Sea during 1993/94–2020/21 ice seasons from satellite observations and model reanalysis, Department of Marine Systems, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia.

Soomere, T (2024): Climate Change and Coastal Processes in the Baltic Sea, Oxford Research Encyclopedias, <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.897>

Strandmark, A. et al (2015): Climate change effects on the Baltic Sea borderland between land and sea, *Ambio*. 2015 Jan 9;44(Suppl 1):28–38. doi: [10.1007/s13280-014-0586-8](https://doi.org/10.1007/s13280-014-0586-8)

Sumelius, H., Korpinen, S., Norkko, A., Salovius-Laurén, S., Viitasalo, M. & Boström, C. (2025): Marine biodiversity loss in Finnish coastal waters: Evidence and implications for management. 2025 May 16;54(11):1786–1808. doi: [10.1007/s13280-025-02185-x](https://doi.org/10.1007/s13280-025-02185-x)

Suomen Luonto / Alice Karlsson: Katse omiin päästöihin. Erikoistutkija Seppo Knuutilan haastattelu. Julkaistu 6.5.14: <http://www.suomenluonto.fi/sisalto/artikkelit/katse-omiin-paastoihin/> (luettu 16.8.25)

Suomen Ympäristökeskus SYKE (2012): Itämeriportaali. (luettu 30.7.2025).

Suomen Ympäristökeskus SYKE (2015): Puhtaamman Suomenlahden virkistysyöty kymmeniä miljoonia euroja vuodessa.

[http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Itameren_vesistöjen_ja_vesivarojen_kestava_kaytto/Puhtaamman_Suomenlahden_virkistysyoty_k\(32441\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Itameren_vesistöjen_ja_vesivarojen_kestava_kaytto/Puhtaamman_Suomenlahden_virkistysyoty_k(32441)) (luettu 16.8.25).

Suomen Ympäristökeskus SYKE (2016): Panssarisiimalevät aiheuttivat kalakuolemia. [http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Itameren_vesistöjen_ja_vesivarojen_kestava_kaytto/SYKE_selvitti_panssarisiimaleva_aiheutti\(38289\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Itameren_vesistöjen_ja_vesivarojen_kestava_kaytto/SYKE_selvitti_panssarisiimaleva_aiheutti(38289)) (luettu 16.8.25).

Tagg, A. & Labrenz, M. (2024): Impacts of Climate Change on Microbial Communities in the Baltic Sea, Oxford Research Encyclopedias, <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.892>

Tuomisto, J (2014): Viekö sinilevä hengen tai maksan?, Duodecim Terveyskirjasto 3.11.2014. Asy00203 (002.003).

Tynkkynen, N. (2012): ITÄMEREN REHEVÖITYMISONGELMAN MÄÄRITTELY JA MITTAKAAVAN POLITIIKKA. Sosiologia 4/2012: <http://elektra.helsinki.fi.ezproxy.utu.fi:2048/se/s/0038-1640/49/4/itameren.pdf>

Uusitalo, R., Ekholm, P., Turtola, E., Pitkänen, H., Lehtonen, H., Granlund, K., Bäck, S., Puustinen, M., Räike, A., Lehtoranta, J., Rekolainen, S., Walls, M. & Kauppila, P: (2007): Maatalous Itämeren rehevöittäjänä. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met96.pdf>

Viitasalo, Markku (2019): Impacts of Climate Change on the Ecosystem of the Baltic Sea, Climate Science, 25 February, 2019. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.692>

Weisse, R. et al (2021): Sea level dynamics and coastal erosion in the Baltic Sea region, European Geosciences Union, Volume 12, issue 3, ESD, 12, 871–898, 2021, <https://doi.org/10.5194/esd-12-871-2021>

Ympäristönsuojelulaki YSL 4.6.2000/86

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385110103000212>