

Itämeren lämpöaaltojen vaikutusten hillitseminen edellyttää toimia

Ilmaston lämpeneminen on jo muuttanut Itämerta, ja muutos jatkuu: veden keskilämpötila nousee ja lämpöaallot yleistyvät. Tämä vaikuttaa suoraan meren eliöihin, mutta myös voimistaa rehevöitymistä ja muita jo olemassa olevia ympäristöpaineita. Ilmastomuutoksen hillitsemisen lisäksi on ratkaisevan tärkeää vähentää paikallisia paineita ja suojella ekosysteemin toimintaa, joilla vahvistetaan meren kykyä selviytyä lämpenemisestä ja pitää yllä vedenlaatua, monimuotoisuutta ja kalakantoja.

Ilmastomuutos ei ole lämmittänyt ainoastaan ilmakehää vaan myös meriä. Maailmanlaajuisesti valtameren pintalämpötila on noussut noin 0,9 °C esiteollisesta ajasta lähtien. Hitaasti etenevän lämpenemisen rinnalla äärimmäinen lämpeneminen eli merelliset lämpöaallot ovat viime vuosikymmeninä yleistyneet huomattavasti ja kestäneet aiempaa pidempään. Merelliset lämpöaallot voivat käynnistää äkillisiä muutoksia ekosysteemeissä ja aiheuttaa laajamittaisia eliökuolemia. Ne ovat siten ilmastomuutoksen vaikutusten keskeinen, mutta usein aliarvioitu ulottuvuus.

SUOSITUKSET

- Vähennetään kasvihuonekaasupäästöjä ilmastomuutoksen hillitsemiseksi.
- Vahvistetaan ekosysteemien palautumiskykyä lämpöaaltojen varalta:
 - » nopeutetaan rehevöitymisen vähentämiseen tähtääviä toimenpiteitä
 - » vähennetään elinympäristöihin kohdistuvia häiriötä, kuten pohjatroolausta ja ruoppausta
 - » ennallistetaan rannikkoalueiden elinympäristöjä ja merenpohjan eliöyhteisöjä.
- Tehostetaan ekosysteemien muutosten pitkäaikaista seurantaa.



Suomen lounaisrannikolla koetun merellisen lämpöaallon jälkeen suuria määriä *Mytilus trossulus* -simpukoita kuoli matalassa vedessä. Kuolleiden ja hajoavien simpukoiden pinnalle muodostuu valkoista rikkivetyä hapettavaa bakteerikasvustoa.

Kuva: Mats Westerborn

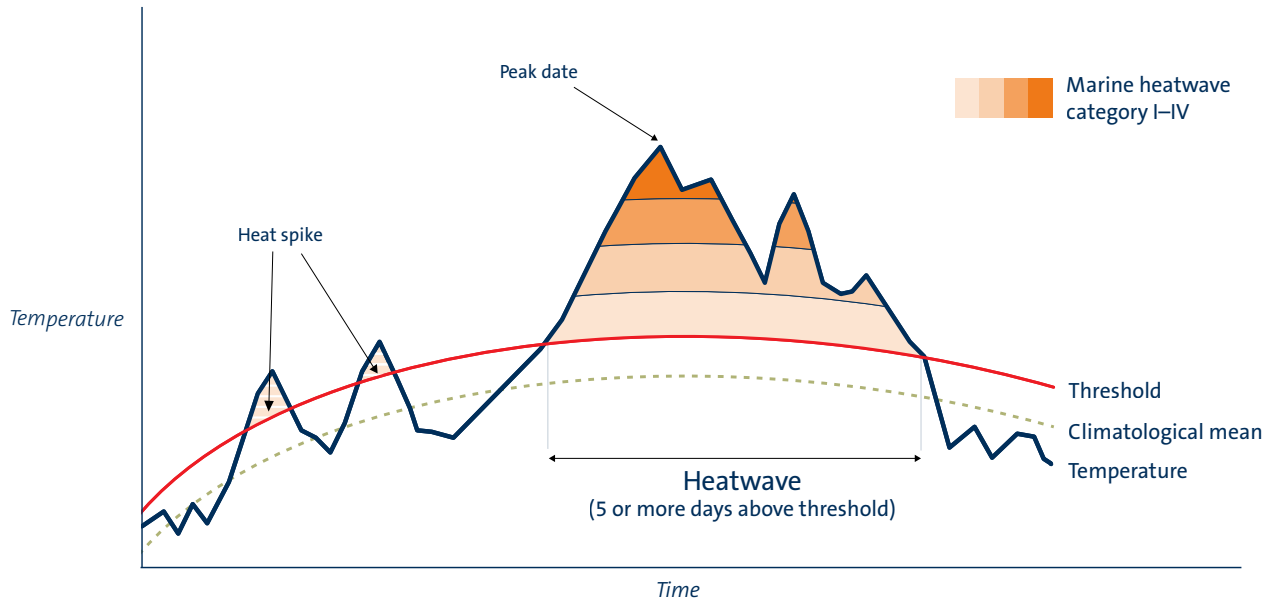
MIKÄ ON MERELLINEN LÄMPÖAALTO?

Merellisellä lämpöaallolla (marine heatwave, MHW) tarkoitetaan tilannetta, jossa meren lämpötila on poikkeuksellisen korkea pitkän ajanjakson ajan. Määritelmän mukaan lämpötilan on ylitettävä paikallisen ilmastollisen vertailujakson (30 vuoden jakso) 90 prosenttipiste vähintään viitenä peräkkäisenä päivänä.

Koska kynnysarvo perustuu paikalliseen, kullekin

päivälle määritettyyn ilmastolliseen vertailutasoon, merellisiä lämpöaalloja voi esiintyä kaikkialla ja kaikkina vuodenaikoina, ei vain kesällä.

Merelliset lämpöaallot luokitellaan myös voimakkuuden perusteella kohtalaisista äärimmäisiin (luokat I–IV). Luokitus määräytyy sen mukaan, kuinka paljon lämpötila ylittää vertailutason.



Merellisen lämpöaallon kaaviokuva. Lämpötilan (tummansininen) pysyminen kynnysarvon (punainen) yläpuolella vähintään viiden päivän ajan määrittelee lämpöaallon. Varjostus kuvaa voimakkuusluokkia I–IV. Lyhyemmät kynnysarvon ylitykset ovat lyhytaikaisia lämpöpiikkejä. Kuva mukaillen: Hobday et al. *Categorizing and naming marine heatwaves*. *Oceanography*, 2018. (CC BY 4.0)

Itämeri on muiden napa-alueiden ja lauhkean vyöhykkeen reunamerien tavoin lämmennyt noin kaksi kertaa enemmän kuin valtamerten pintavedet keskimäärin. Itämerellä esiintyy myös merellisiä lämpöaalloja useammin ja voimakkaampina kuin monilla muilla merialueilla.

Vuosina 1982–2023 Itämerellä havaittiin 189 merellistä lämpöaalloa, ja viime vuosiin on sisältynyt joitakin mittaushistorian korkeimmista meren pintalämpötiloista. Vuonna 2022 useilla Itämeren alueilla koettiin jopa seitsemän erillistä merellistä lämpöaalloa yhden vuoden aikana. Paikallisesti lämpötilat nousivat yli 9 °C tavanomaisia ilmasto-olosuhteita korkeammiksi.

Itämeren lämpeneminen jakautuu alueellisesti epätasaisesti, ja siihen vaikuttaa selvä pohjois-eteläsuuntainen lämpötilagradientti: pohjoisilla ja rannikkoalueilla voimakkaimmat lämpöaallot ajoittuvat usein kevääseen ja talveen, kun taas kesän lämpöaallot ovat yleensä laaja-alaisempia ja voimakkaampia koko Itämeren alueella. Pohjoisen talvilämpenemisen odotetaan kiihtyvän entisestään, kun merijään väheneminen heikentää sen viilentävää eli albedovaikutusta.

Vaikutukset lajeihin ja ekosysteemeihin

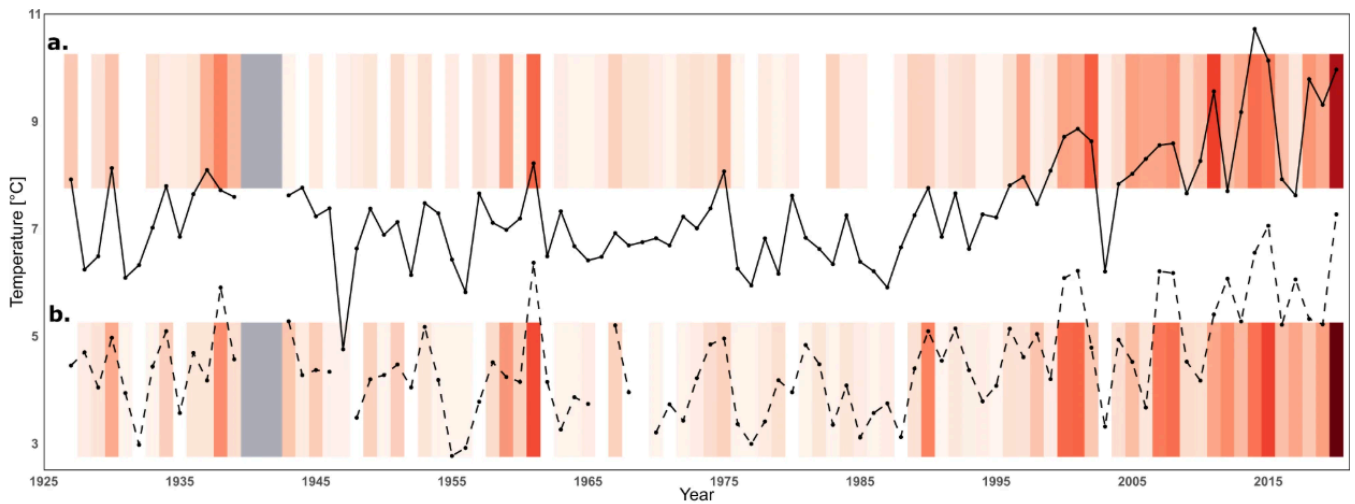
Merellisillä lämpöaalloilla on konkreettisia seurauksia eliöille ja ekosysteemeille, jotka ovat riippuvaisia vakaista lämpöoloista. Lämpöaallot ovatkin jo muuttaneet meriekosysteemejä eri puolilla maailmaa. Ekosysteemien perustan muodostavien lajien – kuten latvustoa muodostavien levien (esimerkiksi rakkohaurun)

sekä riuttoja rakentavien korallien – laajamittaiset joukkokuolemat voivat käynnistää ketjureaktioita, joiden vaikutukset leviävät koko ravintoverkkoon.

Tämä voi johtaa luonnon monimuotoisuuden vähenemiseen ja muuttaa ekosysteemien keskeisiä prosesseja, kuten hiilen varastoitumista ja ravinteiden kiertoa. Lisäksi vieraslajit tai aiemmin lepotilassa olleet lajit voivat levitä alkuperäislajien kadotessa. Merelliset lämpöaallot on yhdistetty myös merilintujen joukkokuolemiin, joiden taustalla on ravinnon väheneminen. Tämä osoittaa, että vaikutukset ulottuvat merta pidemmälle.

Lämpeneminen ei vaikuta kaikkiin lajeihin samalla tavalla. Lämpötila vaikuttaa jokaisen lajin maantieteelliseen levinneisyysalueeseen, ja lajin reaktio lämpenemiseen riippuu usein siitä, missä kohdin tätä teoreettista levinneisyysaluetta ne elävät. Itämeressä ei ole koralliriuttoja tai laajoja ruskolevämetsiä, mutta myös sen avainlajit reagoivat voimakkaasti näihin muutoksiin. Levinneisyysalueensa lämpimällä reunalla elävät lajit ovat jo lähellä lämmönsietokykynsä ylärajaa, ja niiden biomassa voi vähentyä merellisten lämpöaaltojen aikana lyhytaikaisesti yli 40 prosenttia. Sen sijaan levinneisyysalueensa kylmällä reunalla elävät lajit, kuten kilohaili, voivat hyötyä lämpenemisestä olosuhteiden lähestyessä niiden lämpötilaoptimia. Niiden biomassa voi kasvaa lähes kolminkertaiseksi.

Myös ajoituksella on yhtä suuri merkitys kuin itse lämpötilalla. Talvisiin merellisiin lämpöaaltoihin liittyy silakan toukkien ja niiden ravinnon saatavuuden välinen ajallinen epäsuhta, joka on



Storfjärdenin pitkäaikaiset lämpötilamittaukset. Storfjärdenin seuranta osoittaa, että vuotuinen keskilämpötila on noussut merkittävästi viime vuosisadan aikana sekä pintavedessä (musta viiva) että pohjavedessä (katkoviiva). Värialueet osoittavat myös poikkeuksellisen lämpimien havaintojen yleistyneen. Tummempi väri merkitsee suurempaa poikkeuksellisen lämpimien havaintojen määrää. Kasvu on ollut erityisen selvää viime vuosikymmeninä. Kuva: Goebeler et al. *Ninety years of coastal monitoring reveals baseline and extreme ocean temperatures are increasing off the Finnish coast.* Communications Earth & Environment, 2022. (CC BY 4.0)

yksi tekijä pitkäaikaiseen silakkakannan laskuun. Tilanteen odotetaan pahenevan talvien lyhentyessä edelleen. Lämpötilan nousu vaikuttaa myös laajemmin biologisten prosessien käynnistymiseen eri vuodenaikoina: esimerkiksi varhaiskevään lämpeneminen voi aikaistaa kasviplanktonin kukintoja ja simpukoiden kutua.

Itämeressä monet eliöt elävät jo valmiiksi sietokykynsä rajoilla esimerkiksi suolapitoisuudesta ja muista ympäristötekijöistä johtuen. Tämä voi tehdä niistä erityisen haavoittuvia merellisille lämpöaalloille. Myös ihmistoiminnan, kuten rehevöitymisen ja haitallisten aineiden, aiheuttamat paineet voivat heikentää eliöiden kykyä sietää lisästressiä. Pohjatroolauksen ja ruoppauksen kaltaisten toimintojen aiheuttamat fyysiset häiriöt voivat entisestään heikentää merenpohjan elinympäristöjen ja lajien palautumiskykyä, jolloin niiden on vaikeampi kestää äärimmäistä lämpenemistä ja palautua siitä.

Pinnanlaiset muutokset

Pitkäaikainen lämpeneminen ja merelliset lämpöaallot muokkaavat Itämeren ekosysteemejä paitsi suosimalla joitakin lajeja ja heikentämällä toisten menestymistä, myös muuttamalla vähitellen ekosysteemien toimintaa ja biogeokemiallisia kiertoja. Lämpeneminen voimistaa vuodenaikaista lämpötilakerrostuneisuutta eli harppauskerrosta, mikä vaikeuttaa hapen kulkeutumista syvempiin vesikerroksiin. Lisäksi lämmin vesi sitoo vähemmän happea kuin kylmä vesi, ja nopeuttaa myös eliöiden hapenkulutusta. Tämä voi laajentaa vähähappisia alueita ja voimistaa rehevöitymiseen liittyviä takaisinkytkentöjä nopeuttamalla ravinteiden sisäistä kiertoa.

Itämeren lämpötilan pitkäaikainen seuranta havainnollistaa, kuinka pitkälle muutos on jo edennyt. Tutkimuksessa käytettiin Suomen rannikolla sijaitsevan Storfjärdenin lämpötilamittauksia, jotka ulottuvat vuoteen 1926. Tulosten mukaan nykyinen lämpötilan perustaso on lähes 1 °C korkeampi kuin sata vuotta sitten lähes vuoden jokaisena päivänä.

Tutkimus osoitti lisäksi, ettei lämpeneminen rajoitu pintavesiin, vaan myös pohjaveden lämpötila on noussut vastaavasti. Tämä vaikuttaa pohjaeliöstöön eli meren pohjalla ja sen sedimentissä eläviin eliöihin. Ajallisesti ja paikallisesti tarkempien mittaustietojen perusteella alueella havaittiin yksin vuosina 2016–2020 yhteensä 18 merellistä lämpöaalloa, joiden voimakkuus ylitti aiemmat ennätykset. Kevääseen 2024 ulottuvien päivitettyjen tietojen

Merelliset lämpöaallot – maailmanlaajuinen tilanne

Merelliset lämpöaallot ovat yleistyneet ja kestäneet aiempaa pidempään kaikkialla maailmassa. Vuosina 1982–2016 niiden maailmanlaajuinen esiintymistiheys kasvoi noin 0,45 tapahtumalla vuosikymmentä kohden. Lämpöaallot vaikuttivat 82 prosenttiin valtameristä, ja tapahtumien keskimääräinen kesto piteni 1,3 päivällä vuosikymmentä kohden. Yhdessä nämä muutokset merkitsevät, että merellisten lämpöaallojen vuotuinen esiintymispäivien määrä kasvoi 54 prosenttia viime vuosisadan aikana.

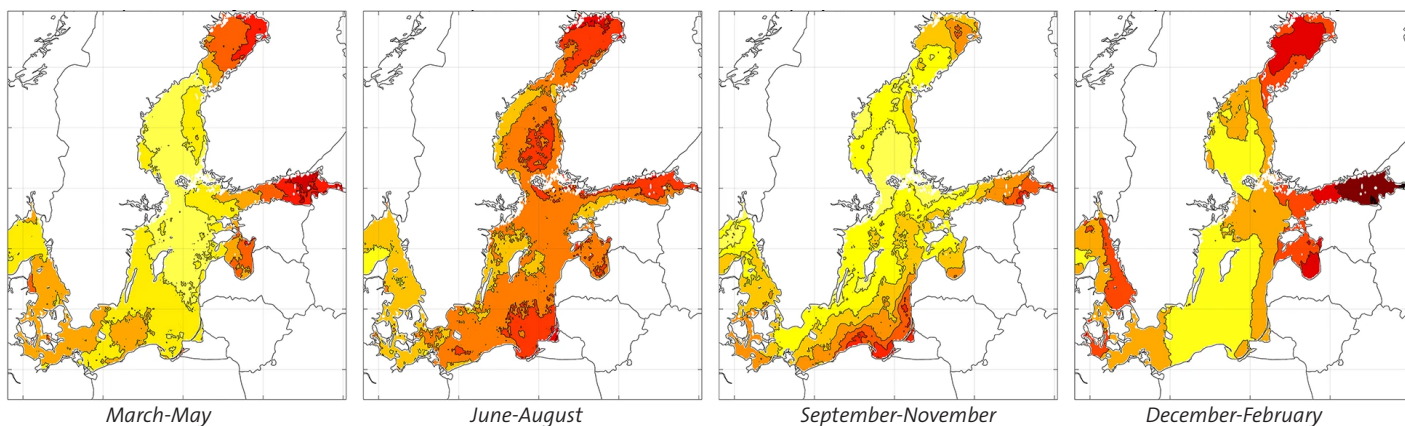
Muutokset eivät jakaudu tasaisesti. Voimakkainta kasvua on ollut Pohjois-Atlantin korkeilla leveysasteilla ja läntisillä reunavirtausalueilla, kun taas osissa eteläistä Jäämerta ja itäistä trooppista Tyyntä valtamerta esiintymistiheys on hieman vähentynyt.

Merelliset lämpöaallot – Itämeri

Itämeri on tunnistettu ilmastomuutoksen erityiseksi riskialueeksi. Sen merenpinnan lämpötilapoikkeamat ovat noin kaksi kertaa suurempia kuin valtamerten pintavesissä keskimäärin.

Vuosina 1982–2023 alueella havaittiin 189 merellistä lämpöaalloa. Pelkästään vuonna 2022 useilla alueilla koettiin jopa seitsemän erillistä lämpöaalloa, joiden aikana paikalliset lämpötilat nousivat yli 9 °C tavanomaisten olosuhteiden yläpuolelle.

Lämpeneminen jakautuu alueellisesti epätasaisesti: pohjoisilla alueilla ja rannikoilla voimakkaimmat lämpöaallot esiintyvät talvella ja keväällä, kun taas kesän lämpöaallot ovat yleensä laaja-alaisempia koko Itämeren alueella. Tämän kehityksen odotetaan voimistuvan merijään vähenemisen heikentäessä sen viilentävää vaikutusta.



Merelliset lämpöaallot eri vuodenaikoina Itämerellä. Merellisiä lämpöaalloja esiintyy kaikkialla Itämeressä ja kaikkina vuodenaikoina. Talvella ja keväällä ne ovat voimakkaampia pohjoisilla ja itäisillä alueilla, kun taas kesällä ja syksyllä voimakkaimmat lämpöaallot esiintyvät eteläisillä alueilla. Punaisen värin tummuus kuvaa voimakkuuden ja esiintymistiheyden kasvua. Kuva: Bashiri, B. et al. *Variability of marine heatwaves' characteristics and assessment of their potential drivers in the Baltic Sea over the last 42 years*. Scientific Reports, 2024. (CC BY 4.0)

mukaan lämpöaalloja oli yhteensä 24. Kun tämän lämpenemisen ja lämpöaaltojen ekologisia vaikutuksia tutkittiin kokeellisesti, havaittiin niiden lisäävän merenpohjan eliöyhteisön hapenkulutusta ja muuttavan ravinteiden vapautumista, vaikka alueella elävän lajiston koostumus pysyi pääosin ennallaan. Vaikutus oli voimakkain kesällä, seuraavaksi voimakkain syksyllä ja sen jälkeen keväällä.

Tämä tarkoittaa, että merelliset lämpöaallot voivat voimistaa rehevöitymistä ekosysteemin sisäisten prosessien kautta ja heikentää siten ravinnekuormituksen vähentämiseen tähtäävien toimenpiteiden hyötyjä. Eliöiden aineenvaihdunnan kiihtyminen voi myös lisätä kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin ja metaanin, muodostumista ja vapautumista rannikkovesistä ja sedimenteistä. Matalat, osittain suljetut rannikkolahdet, joita esiintyy runsaasti Ruotsin ja Suomen rannikoilla, ovat osoittautumassa erityisen herkiksi alueiksi. Niissä nämä prosessit voivat edetä nopeammin ja voimakkaammin kuin avomerellä. Olennaista on, että tällaiset muutokset ekosysteemien toiminnassa voivat tapahtua jo kauan ennen kuin lajistossa näkyy muutoksia. Siksi ongelmat voivat jäädä havaitsematta, jos seuranta keskittyy yksittäisiin lajeihin.

Seuraukset yhteiskunnalle

Merellisten lämpöaaltojen aiheuttamat ekologiset muutokset uhkaavat ekosysteemipalveluja, joista ihminen ja yhteiskunnat ovat riippuvaisia. Silakkakantojen heikkeneminen vaikuttaa yhteen Itämeren tärkeimmistä kaupallisesti hyödynnettävistä kalakannoista ja vähentää mahdollisuuksia käyttää kalaa ihmisravintona. Rehevöitymisen voimistuminen heikentää vedenlaatua, lisää haitallisten leväkukintojen riskiä ja kasvattaa matkailun, juomaveden käsittelyn sekä merialueiden virkistyskäytön kustannuksia. Ekosysteemien perustan muodostavien lajien häviäminen ja eliöyhteisöjen rakenteen muuttuminen heikentävät myös laajemmin Itämeren kykyä sietää ilmastonmuutosta, säädellä ilmas-

toa, kierrättää ravinteita ja ylläpitää luonnon monimuotoisuutta. Kykymme havaita näitä vaikutuksia ja tunnistaa niiden syitä on kuitenkin edelleen merkittävästi rajoittunut. Nykyisiä seuranta-järjestelmiä, kuten vesipuitedirektiivin mukaisia usean vuoden välein tehtäviä arviointoja, ei ole suunniteltu havaitsemaan muutoksia sillä nopeudella, jolla merellisiä lämpöaalloja nykyisin esiintyy. Jopa tärkeiden elinympäristöjen, kuten sinisimpukkayhteisöjen, vuosittainen seuranta on usein riittämätöntä, jotta havaitut muutokset voitaisiin luotettavasti yhdistää tiettyihin lämpöaaltoihin. Ruotsissa tai Suomessa ei tällä hetkellä ole kansallisia seuranta-järjestelmiä, jotka pystyisivät havaitsemaan nämä vaikutukset vaaditulla tarkkuudella. Vaikka muutoksen yleinen suunta on selvä, yksittäisiä vaikutuksia koskeva tieteellinen näyttö on edelleen rajallista. Tämä on merkittävä puute, kun otetaan huomioon, kuinka nopeasti Itämeren olosuhteet muuttuvat.

Merellisiä lämpöaalloja ei voida pysäyttää paikallisesti, mutta niiden vaikutuksia pahentavia ympäristöpaineita voidaan hallita. Paikallisten kuormitustekijöiden, kuten ravinnekuormituksen, liikalastituksen ja elinympäristöjen heikentymisen, vähentäminen vahvistaa Itämeren kykyä sietää lämpöaalloja ja palautua niistä. Ekosysteemeille voidaan näin antaa aikaa sopeutua samalla, kun maailmanlaajuisia päästöjä vähennetään. Lämpöaaltojen etenemisen ymmärtäminen ja tehokkaiden toimien suunnittelu vaatii myös aiempaa tiheämpää seurantaa.

This policy brief was produced within CoastClim, which is part of a strategic collaboration between Stockholm University and the University of Helsinki.

Researchers from different disciplines work together to map carbon storage and greenhouse gas fluxes in the Baltic Sea.

Read more at www.coastclim.org.



BRIDGING THE GAP BETWEEN SCIENCE AND POLICY

At the Baltic Sea Centre, scientists, policy analysts and communication experts work together to bridge the gap between science and policy.

We compile, analyse and synthesise scientific research on Baltic Sea related issues and communicate it at the right moment to the right actor.

This policy brief was published in October 2026.

CONTACT

Norman Göbeler, Tvärminne Zoological Station, University of Helsinki
norman.gobeler@helsinki.fi