

# Vaikuttavaa merentutkimuksen yhteistyötä Saaristomeren parhaaksi

**MAAMERI-hanke 2020–2022**



## **Tiivistelmä MAAMERI-hankkeesta ja sen tuloksista.**

### **Toimituskunta:**

Harri Kuosa, Eija Järvinen, Aarno Kotilainen, Laura Tuomi, Joanna Norkko, Tom Jilbert, Irma Puttonen, Hermann Kaartokallio ja Riikka Puntila-Dodd.

**Kannen kuva:** Pata Degerman

Tiivistelmä on saatavana MAAMERI-hankkeen verkkosivulla:

[www.syke.fi/hankkeet/maameri](http://www.syke.fi/hankkeet/maameri)

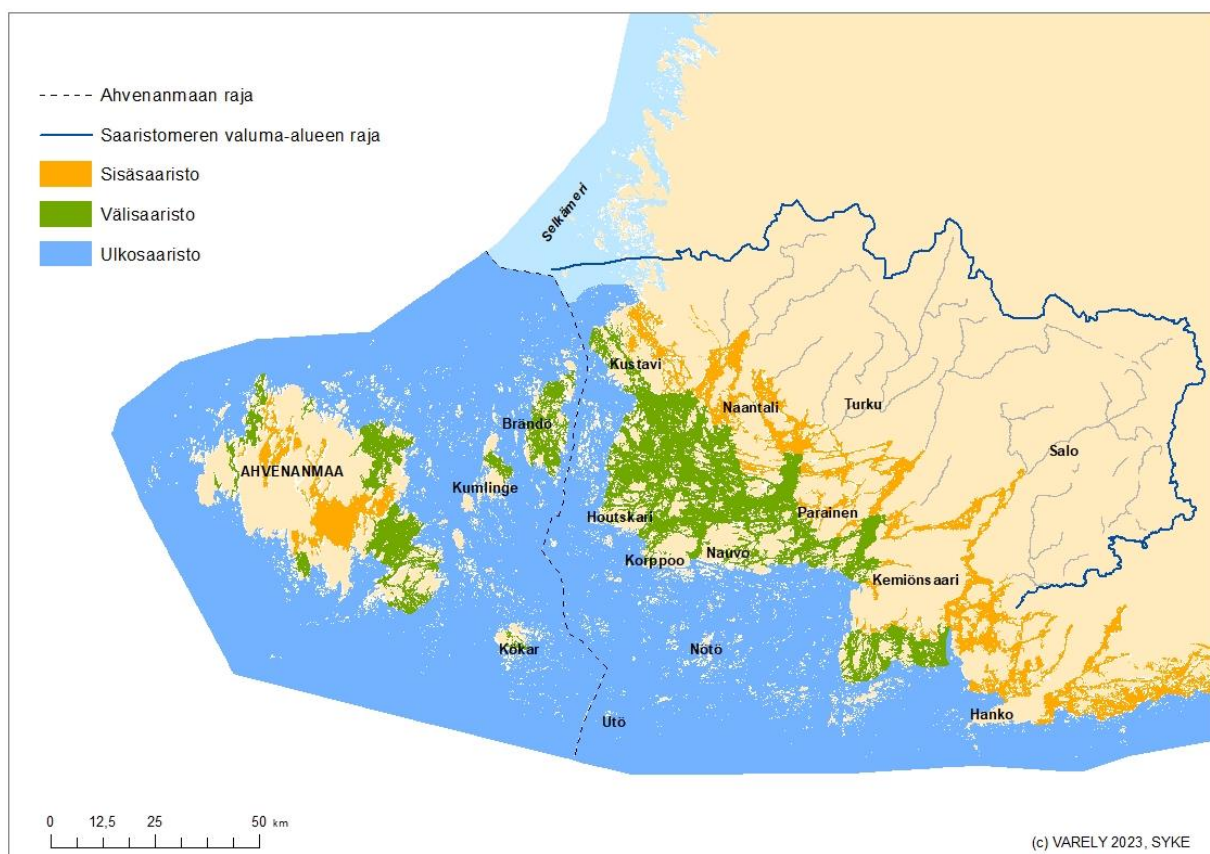
Julkaisuvuosi: 2023

# Johdanto

Saaristomeri on monitahoinen ja ainutlaatuinen noin 60 000 saaren ja luodon kokonaisuus Suomen lounaisrannikolla varsinaisen Itämeren ja Selkämeren välillä. Saaristomerellä eri ympäristökijät, kuten veden syvyys, rantojen avoimuus, merenpohjan muodot ja pohjan laatu, vaihtelevat hyvinkin pienellä etäisyydellä. Ympäristökijöiden vaihtelu yhdessä pitkän ja mutkittelevan rantaviivan kanssa tekevät saaristosta erittäin monimuotoisen luontoympäristön.

Merentutkimuksessa Saaristomeri on usein jaettu maa- ja meripinta-alan osuuksien ja lajiston perusteella kolmeen vyöhykkeeseen: sisä-, väli- ja ulkosaaristoon. Sisäsaariston maisemassa vallitsevana on maapinta-ala, välisaaristossa maa- ja vesialueiden osuudet ovat yhtä suuret, ja ulkosaaristossa vallitseva on avoimempi merimaisema. Vastaava vyöhykkeisyys on havaittavissa myös veden suola- ja ravinnepitoisuuksissa, veden kirkkaudessa sekä kasvi- ja eläinplanktonyhteisöjen koostumuksessa.

Saaristomeren vyöhykkeisyys on seurausta jääkauden jälkeisestä maankohoamisesta. Maa kohoaa edelleen noin puoli metriä sadassa vuodessa, ja maankohoamisen on arvioitu jatkuvan vielä noin 10 000 vuoden ajan.



Kuva 1. Merentutkimuksessa Saaristomeri jaetaan usein kolmeen vyöhykkeeseen: sisä-, väli- ja ulkosaaristoon. Vyöhykkeisyys on havaittavissa paitsi saariston maisemissa, myös veden suola- ja ravinnepitoisuuksissa, veden kirkkaudessa sekä planktonyhteisöjen koostumuksessa.

Saaristomeren ulkosaaristo on avoin, kallioinen ja kivinen. Saariston sisäosat ovat suojaisempia ja matalampia, ja merenpohja on siellä usein pehmeä. Kallioperän siirrokset ja ruhjevyöhykkeet pirstovat Saaristomeren pinnanmuotoja niin maan päällä kuin veden allakin. Kallioperän korkeuserojen vaihtelu näkyy sokkeloisena saaristona, merenpohjan painanteiden, kuten ruhjevyöhykkeiden syvien kanjonien, ja erilaisten kohoumien monimuotoisena kirjona. Saaristomeri on suhteellisen matala merialue. Sen keskimääräinen syvyys on vain 24 metriä. Syvimmät vedenalaiset vajoamat ja kanjonit ulottuvat 140 metriin.

Monimutkaiset syvyysolot ja saariston muodot ohjaavat Saaristomerellä veden virtausta ja vaikuttavat sen voimakkuuksiin. Voimakkaita virtauksia esiintyy erityisesti syvässä merenalaisissa kanjoneissa. Syvät kanjonit toimivat myös veden vaihtoreitteinä Itämeren pääaltaan ja Selkämeren välillä. Saaristomeren etelä- ja pohjoisosissa veden virtausnopeudet ja -suunnat eroavat toisistaan. Koko vesipatsas on pohjaa myöten sekoittunut suuren osan vuodesta. Kesällä vesipatsaan pintaosa lämpenee, jolloin lämpimän pintakerroksen ja kylmän syvämmän veden väliin 15–20 metrin syvyyteen kehittyy lämpötilan harppauskerros, josta syvämmälle mentäessä veden lämpötila laskee nopeasti. Tämä kesäaikainen kerrostuminen estää veden sekoittumista, jolloin syvien alueiden happivarastot eivät kesällä täydenny. Saaristomerelle on ominaista voimakas kausiluonteisuus. Kesällä sen pintakerroksen lämpötila on yli 20 °C, ja talvella meri on jäässä jopa kahden kuukauden ajan. Kesäajan lämpötilakerrostuneisuuden aikana pinta- ja pohjakerroksen virtausnopeudet ja -suunnat voivat erota toisistaan huomattavasti.

Saaristomeren ekosysteemin terveyttä uhkaa erityisesti rehevöityminen. Rehevöityminen johtuu kahden kasviraivanteen, fosforin ja typen, liian suuresta kuormituksesta. Ravinteiden ylikuormitus johtaa levien ja kasvien liikakasvuun.

Rehevöitymisen seuraukset näkyvät Saaristomeren ekosysteemissä monin tavoin. Esimerkkejä rehevöitymisen vaikutuksista ovat hapettomat pohja-alueet, kesäaikaiset leväkukinnat vedessä sekä kalliopinnoilla, pohjilla ja monivuotisten makrolevien päällä kasvavat rihmalevät. Rehevöityminen vaikuttaa koko Saaristomeren lajistoon ja lajien runsaussuhteisiin. Rehevöitymisen syiden ja vaikutusten lievittäminen on Saaristomeren alueella vesien- ja merensuojelun keskeinen tavoite.

Saaristomeren valuma-alue on kooltaan noin 8 900 neliökilometriä. Siitä järviä on alle 2 prosenttia ja peltoja 28 prosenttia. Suurin osa valuma-alueen kuormituksesta tulee mereen jokien mukana. Neljä suurinta jokea (Paimionjoki, Kiskonjoki-Perniönjoki, Aurajoki, Uskelanjoki) kuljettavat mereen noin 40 % Saaristomeren fosforikuormituksesta ja 30 % typpikuormituksesta. Suomesta peräisin oleva Saaristomeren vuosittainen ravinnekuormitus sisältäen luonnonhuuhtouman on noin 8 800 tonnia typpeä ja 480 tonnia fosforia. Tyyppistä 68 % ja fosforista 87 % on peräisin maataloudesta (Laamanen ym. 2021).

Ravinteita kulkeutuu Saaristomereen maalta jokiveden kuljettamana mutta myös eteläisemmältä Itämereltä veden virtausten mukana. Itämeren pääaltaalta kulkeutuva hyvin ravinteikas vesi vaikuttaa etenkin ulkosaaristossa, eikä tähän ole odotettavissa nopeaa muutosta, sillä Itämeren pääaltaan ravinpitoisuuksien vähentämisen arvioidaan kestävän vuosikymmeniä. Saaristomeren rehevöitymiseen vaikuttavat lisäksi paikalliset kuormituslähteet sekä meren pohjaan varastoituneet ja sieltä ajoittain vapautuvat ravinteet.

Saaristomeren ravinnekuormitus ei ole laskenut toivotulla tavalla. Saaristomeren valuma-alue on pohjoisen Itämeren viimeinen Itämeren suojelukomissio HELCOMin erityistä huomiota vaativa niin sanottu hot spot -alue.



Kuva 2. MAAMERI-hanke tutki fosforiravinteiden kulkeutumista jokien ja virtausten mukana Saaristomereen sekä sitä, miten fosfori muuntuu ja kiertää elävän ja elottoman luonnon välillä meren eri osissa. Kuvaaja: Hermanni Kaartokallio

Saaristomeren elottoman ja elollisen luonnon vuorovaikutuksen ja ekosysteemin toiminnan ymmärtämiseksi ja tilan parantamiseen tähtäävien toimien pohjaksi tarvitaan tutkittua tietoa. Saaristomeren nopeasti muuttuvan, herkän ja monimutkaisen kokonaisuuden ymmärtäminen vaatii laajaa monitieteistä yhteistyötä, muun muassa meriympäristön biologian, geologian, biogeokemian ja fysiikan alalta.

Vuosina 2020–2022 toteutettu monitieteinen MAAMERI-hanke vahvisti monipuolisesti tietopohjaa, jota hyödynnetään Saaristomeren ympäristön hoitoa ja hallintaa koskevassa päätöksenteossa. Hanke tutki erityisesti fosforiravinteiden kulkeutumista jokien ja virtausten mukana Saaristomereen sekä sitä, miten fosfori muuntuu ja kiertää elävän ja elottoman luonnon välillä meren eri osissa, rannikolta avomerelle. MAAMERI-hanketta rahoitti ympäristöministeriö vesiensuojelun tehostamisohjelmasta.

Vesiensuojelun tehostamisohjelmassa aloitettiin samaan aikaan MAAMERI-hankkeen kanssa laajamittainen peltojen kipsikäsittely Saaristomeren valuma-alueella (KIPSI-hanke). Kipsikäsittelyn tarkoituksena on vähentää fosforin huuhtoutumista maatalousmaasta vesistöihin ja edelleen mereen. MAAMERI-hankkeessa tehty tutkimus kytkeytyi vahvasti KIPSI-hankkeeseen ja etenkin kipsikäsittelyn vaikutusten seurantaan.

MAAMERI-hankkeessa Saaristomerta tutkittiin useilla tutkimusaluksilla, tutkimusasemilla, automaattisilla mittareilla ja kaukokartoitusmenetelmillä. Hankkeeseen osallistuivat lähes kaikki suomalaisen merentutkimuksen keskeiset toimijat, niin alan tutkimuslaitokset kuin yliopistotkin. Suomen merentutkimuksen infrastruktuuri FINMARI oli keskeisessä roolissa eri tutkijoiden, tutkimuslaitosten ja yliopistojen erikoisosaamisen ja -välineistön yhdistäjänä.

## Saaristomeren tilan parantaminen ja tietotarpeet

Rehevöityminen aiheutuu meriympäristöön päätyvien kasviraavinteiden – typen ja fosforin – liiallisesta määrästä. Sekä typpi että fosfori ruokkivat levien kasvua, mutta niiden vaikutusalueet ja prosessit meriympäristössä ovat erilaisia. Ravinteiden vaikutukset meriekosysteemissä ovat monimutkaisia, sillä ravinteet kulkeutuvat, varastoituvat ja kiertävät merenpohjan, veden ja eliöstön välillä vuosien ajan. Samalla rehevöityminen muuttaa esimerkiksi lajiston köyhtymisen, veden samentumisen ja hapettomien pohja-alueiden kautta itse ekosysteemin toimintaa.

Saaristomeren ravinnekuormitusta on pyritty vähentämään jo pitkään. Yhdyskuntien jätevesien, teollisuuden ja kalankasvatuksen ravinnekuormitusta onkin saatu ympäristölupien ja puhdistusmenetelmien kehittymisen myötä huomattavasti pienennettyä. Maatalouden kuormitus on sen sijaan pysynyt vesiensuojelutoimenpiteistä huolimatta ennallaan. Toisaalta Saaristomeren ravinnekuormitus ei kokonaisuudessaan ole enää 2000-luvulla kasvanut. Kuormitus on silti edelleen liian suurta, ja meren hyvän tilan saavuttamiseksi sitä on huomattavasti vähennettävä.

Syynä tähänastisten toimenpiteiden heikkoon tehoon on muun muassa se, että Saaristomeren valuma-alueen pelloissa on aikaisemman, pitkään jatkuneen ylilannoituksen seurauksena vielä monin paikoin runsaasti fosforia. Maaperästä fosforin ylijäämää huuhtoutuu valumavesien mukana jokiin ja mereen. Peltojen fosforipitoisuudet ovat korkeita erityisesti alueilla, joille on keskittynyt kotieläintuotantoa. Näillä alueilla lantaa muodostuu ylimäärin suhteessa kasvien lannoitustarpeeseen, ja lannan kuljettaminen muualle on kallista. Maatalouden kuormituksen vähentäminen vaatii edelleen pitkäjänteistä ja monipuolista toimintaa. Keskeisessä roolissa tässä työssä ovat maatalouden ympäristökorvausjärjestelmä, lannoitelaki ja vesienhoidon toimenpiteet. Lisäksi maatalouden kuormituksen vähentämisen uudet menetelmät, kuten kipsin, rakennekalkin ja kuitujen levittäminen, ovat osoittautuneet lupaaviksi, ja niillä voidaan saada aikaan nopeita vaikutuksia. Esimerkiksi kipsikäsittelyn on havaittu vähentävän peltojen fosforihuuhtoumaa valuma-alueella noin kolmanneksella. Lisäksi kipsikäsittely alentaa merkittävästi liuenneen eloperäisen hiilen huuhtoumaa.



Kuva 3. Rehevöitymisestä kertovat muun muassa monivuotisten makrolevien päällä kasvavat rihmalevät. Kuvaaja: Tiina Salo

Kaikkein rehevöitynein Saaristomeren eri osista on sisäsaaristo. Sen tilaan jokien tuoma ravinnekuormitus, josta suurin osa on peräisin maataloudesta, vaikuttaa erityisen merkittävästi. Samalla se merkitsee, että maalta tulevan kuormituksen vähentämisellä voidaan saavuttaa suurimmat hyödyt juuri sisäsaaristossa. MAAMERI-hanke tutki muun muassa sitä, miten jokien kuljettama ravinnekuormitus vaikuttaa Saaristomeren ekosysteemiin ja kuinka kauas jokisuilta vaikutukset ulottuvat.

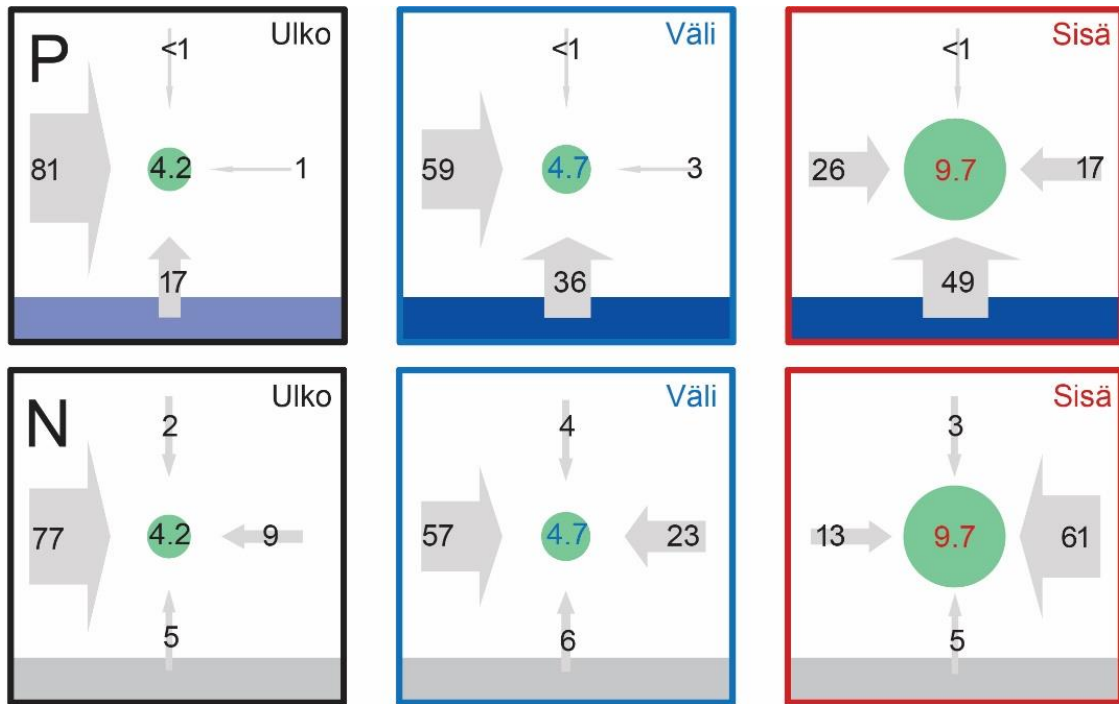
Meren sisäisistä prosesseista etenkin fosforin varastoituminen pohjasedimenttiin ja veden virtaukset vaikuttavat siihen, miten ravinnekuormitus eri paikoissa ilmenee. Virtaukset kuljettavat ravinteita merialueelta toiselle. Ravinteiden varastoituminen muokkaa puolestaan kuormituksen ajallista vaikutusta, sillä ravinteet voivat vapautua uudelleen veteen pitkänkin ajan kuluttua.

Saaristomerelle ja etenkin sen eteläiseen ulkosaaristoon kulkeutuu ravinteita veden virtausten mukana varsinaiselta Itämereltä ja itäiseltä Suomenlahdelta, joissa veden ravinnepitoisuus on korkeampi kuin Saaristomerellä. Virtaussuunnat Saaristomerellä kuitenkin vaihtelevat, ja alueelle kulkeutuu myös Pohjanlahden vähemmän ravinteikkaita vesimassoja.

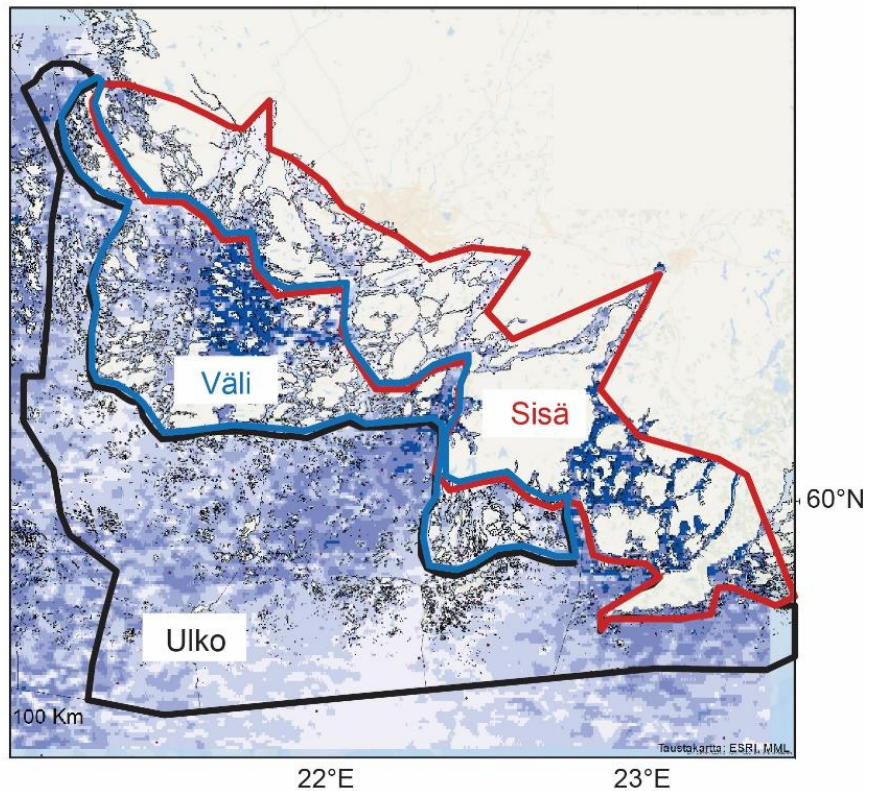
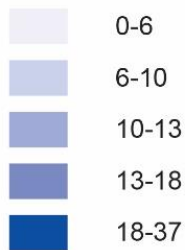
MAAMERI-hanke tuotti uutta tietoa veden virtauksesta tekemällä virtausmittauksia, analysoimalla aiemmin kerättyä aineistoa sekä mallintamalla virtauksia ja veden kulkeutumista.

Merenpohjan sedimenttiin varastoinut fosfori on seurausta aiemmasta kuormituksesta, ja sen vähentäminen edellyttää myös ulkoisen kuormituksen vähentämistä. Sedimenttiin varastoitunut fosfori on pitkäaikainen kuormituslähde samaan tapaan kuin peltomaan fosforivarasto. Meren sisäisen fosforikuormituksen määrän arvioiminen on vaikeaa, mutta Saaristomerellä sen arvioidaan olevan merkittävä. Sedimenttiin varastoituneen fosforin eri muodot käyttäytyvät ympäristössä eri tavalla: osa fosforista hautautuu pohjaan pysyvästi ja osa vapautuu sedimentistä ajan myötä takaisin veteen. Sedimentistä vapautuvia fosforin tärkeimpiä muotoja ovat rautayhdisteisiin sitoutunut fosfori, joka voi vapautua hapettomissa oloissa, ja eloperäisen aineksen hajotuksessa vapautuva fosfori. Se, kuinka suuri osuus pohjasta vapautuvasta fosforista päättyy lopulta meren tuottavaan pintakerrokseen levien ravinteeksi, riippuu muun muassa veden syvyydestä, vedenvaihdosta ja pohjasedimentin sekoittumisesta. Fosforin sisäinen kuormitus sisältyy yleispiirteisesti nykyisiin mallityökaluihin, mutta arviota vapautuvan fosforin määrästä voidaan tarkentaa fosforin eri muotojen alueellisella kartoituksella. MAAMERI-hanke tuotti uutta tietoa siitä, mihin jokien kuljettama sedimentti Saaristomeren pohjassa kertyy ja miten pohjan laatu alueella vaihtelee. Hanke tuotti tietoa myös sedimenttiin varastoituneen fosforin esiintymismuodoista ja pitoisuuksista.

Kesäaikaisia leväkukintoja ruokkivat ravinnevirrat ja tärkeimmät rehevöitymistä ylläpitävät prosessit eroavat Saaristomeren eri osissa ja pääravinteiden välillä (kuva 4). Sisä- ja välisaariston levätilanteen kannalta merkittäviä ovat jokikuormitus ja sedimentistä mahdollisesti vapautuva fosfori. Ulkosaaristossa tärkeämmässä osassa ovat veden virtausten mukana muualta kulkeutuvat ravinteet. Sedimentistä ajan kuluessa vapautuvan fosforin määrän parempi mallintaminen on tärkeää tulevaisuuden rehevöitymiskehityksen ennustamiselle erityisesti sisä- ja välisaaristossa.



Potentiaalisesti mobiili P  $\mu\text{mol/g}$



Kuva 4. Arvio leväbiomassan määrästä vedessä ja rehevöittävien ravinteiden lähteistä Saaristomeren eri osissa. Kuvan yläosassa esitetään FICOS-mallin laskemat fosforin (P) ja typen (N) vuot Saaristomeren ulko-, väli- ja sisäsaaristossa (Fleming et al. 2021). Nuolien koot ja niille merkityt arvot kertovat eri lähteiden prosenttiosuuden kokonaiskoormituksesta. Vihreässä ympyrässä esitetään mallin laskema leväbiomassan määrä kesällä.

Kuvan alaosan pohjakartassa esitetään MAAMERI-hankkeessa tarkennettu sedimentistä veteen mahdollisesti vapautuvan fosforin määrä Saaristomeren eri osissa. Suurimmat mahdollisesti vapautuvan fosforin pitoisuudet löytyvät välisaaristossa Mynälahden eteläpuolelta sekä sisäsaaristossa Kemiön ja Hankoniemen väliltä.



## Mallit Saaristomeren tutkimuksessa

Saaristomeren ekosysteemin tutkimuksessa ja meren tilaa parantavien toimenpiteiden suunnittelussa käytetään apuna useita erilaisia laskentamalleja. Laskennalliset ja tilastolliset mallit ovat työkaluja, joilla voidaan ymmärtää ekosysteemin toimintaa ja arvioida ekosysteemin reaktioita odotettavissa oleviin muutoksiin. Luonto on monimutkainen kokonaisuus ja sen yksityiskohtainen mallintaminen on usein mahdotonta. Siksi mallinnus voi yleensä parhaimmillaankin tarjota vain yksinkertaistetun version todellisuudesta. Mallin käyttö voi kuitenkin olla ainoa tapa arvioida etukäteen erilaisten toimenpiteiden ja hankkeiden mahdollisia vaikutuksia ja vertailla erilaisia toteutusvaihtoehtoja keskenään.

Mallit perustuvat ympäristön seurannasta ja tutkimuksesta saatavaan tietoon ja vaativat tämän tiedon jatkuvaa päivittämistä. Mallinnus on jatkuvasti kehittyvä ala. Malleja voidaan parantaa tarkentamalla ekosysteemistä mitattua tietoa, esimerkiksi tietoa eri alueiden virtauksista, pohjan laadusta, ravinteiden määrästä, ravinnekuormituksesta ja eri eliöryhmien vasteista rehevöitymiseen. Malleja luotuja ennusteita voidaan tarkentaa myös kehittämällä mallien toimintaa ja eri mallien yhteensopivuutta.

Saaristomeren tutkimuksessa käytössä ovat Suomen ympäristökeskuksen, Geologian tutkimuskeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen kansainvälisessä yhteistyössä kehitettyjen mallien pohjalle tekemät sovellukset. Veden virtauksia, kerrostuneisuutta, suolaisuutta ja lämpötilaa mallinnetaan Ilmatieteen laitoksella suurteholaskentaa vaativilla kolmiulotteisilla hydrodynaamisilla NEMO- ja COHERENS-malleilla. Maalta tulevaa kuormitusta mallinnetaan Suomen ympäristökeskuksen vesistömallijärjestelmään kuuluvalla VEMALA-mallilla. VEMALA-malli kuvaa vesistöihin päätyvää typen ja fosforin kuormitusta, sen kulkeutumista vesistöissä ja mereen päätyvää ravinnekuormitusta. Merenpohjan ominaisuuksia puolestaan mallinnetaan Geologian tutkimuskeskuksen tuottamilla maaperämalleilla.

Mallinnusmenetelmien kehittyessä myös erilaisten ekosysteemien tilaa ja toimintaa kuvaavien mallien käyttö meren- ja vesienhoidossa on yleistymässä. Näitä käyttötarkoituksia varten Saaristomerelle on kehitetty rannikon kokonaiskuormitusmalli FICOS, jonka avulla voidaan kuvata muuttuvan ravinnekuormituksen aiheuttamia rehevöitymisvaikutuksia. FICOS-malli hyödyntää hydrodynaamista merimallia, VEMALA-mallia sekä tietoa pistekuormituksesta ja ilmasta tulevasta kuormituksesta ja kytkee ne vesipatsaan ravinnekiertomalliin. FICOS-malliin sisältyy sisäisen kuormituksen kuvaus, mutta se on lähtötietojen puutteellisuuden vuoksi nykyisin yksinkertainen. MAAMERI-hanke tuotti merenpohjan ominaisuuksista ja fosforin esiintymisestä merkittävää uutta tietoa, jonka avulla sisäisen kuormituksen syötearviota pystytään kuitenkin kehittämään.

## Miten MAAMERI-hanke on tuottanut uutta tietoa?

MAAMERI-hankkeessa tutkittiin Saaristomeren tilaan vaikuttavista tekijöistä erityisesti valuma-alueelta kulkeutuvan fosforin vaikutuksia ja dynamiikkaa. Hankkeen tavoitteena oli tuottaa meren- ja vesienhoidossa käytettävän mallinnuksen kehittämiseen tarvittavaa tutkimustietoa ja näin tarkentaa Saaristomeren ravinnekuormituksen vähennystavoitteita. Lisäksi tavoitteena oli vahvistaa Saaristomeren rehevöitymisen vaikutuksiin liittyvää tietopohjaa monipuolisesti. Tutkimuksia tehtiin laajasti koko Saaristomeren alueella ja erityisesti Paimionjoen suulta avomerelle ulottuvalla alueella.

Vuosina 2020–2022 MAAMERI-hankkeessa tehtiin eri tutkimusaluksilla yhteensä 10 kenttätutkimusmatkaa. Hankkeen käytössä olivat merentutkimusalukset Aranda, Geomari, Augusta ja Aurelia, ja lisäksi tutkimuksia tehtiin pienemmillä veneillä.



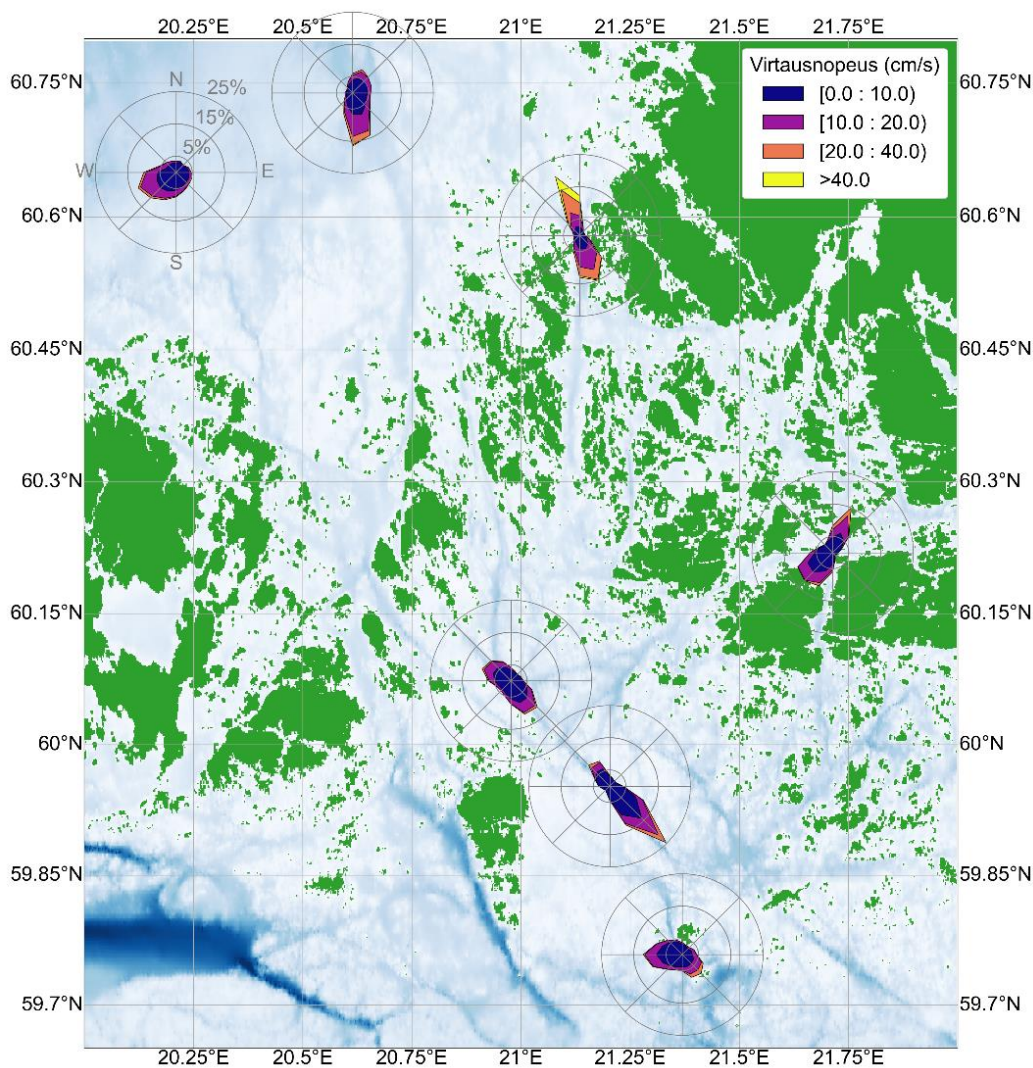
Kuva 5. Kenttätutkimuksia tehtiin MAAMERI-hankkeessa useilla aluksilla, kuvassa Helsingin yliopiston uusi tutkimusalus Augusta, joka teki tutkimusmatkoja Paimionlahdelle MAAMERI-hankkeen aikana. Kuvaaaja: Susanna Mikander

Matkoilla tutkittiin veden ravinnetilannetta ja eloperäisen fosforin osuutta kokonaisfosforista yhteensä 41 näytepaikalta. Hanke tuotti myös runsaasti uutta tarkkaa tietoa Saaristomeren pohjan maalajeista sekä uusien näytepaikkojen pohjasedimentissä olevan fosforin eri liukoisuus- ja sitoutumisluodoista. Lisäksi selvitettiin sedimentaationopeuden vaihtelua laajasti Saaristomeren eri osissa ja joki-avomerijatkumoilla.

Saaristomeren pohjan laatu on hyvin vaihteleva ja monimuotoinen, joten tarkka maalajitieto on tärkeää. Maalajitietoa hyödynnettiin jo hankkeen aikana muun muassa sedimenttinäytepaikkojen valinnassa, taustatietoina maalajimallinnuksessa ja mahdollisesti kiertoon palaavien fosforimuotojen

pitoisuuksien alueellisen jakauman arvioinnissa. Suurimmat mahdollisesti pohjasta veteen vapautuvan fosforin pitoisuudet löytyvät välisaaristossa Mynälahden eteläpuolelta sekä sisäsaaristossa Kemiön ja Hankoniemen väliltä. Sedimentaationopeuksista, merenpohjan maalajeista ja fosforin esiintymismuodoista saadut uudet tiedot auttavat tarkentamaan FICOS-rannikkomallin sisäisen fosforikuormituksen syötearviota.

Saaristomeren monimutkaiset syvyysolot ja rantaviiva ohjaavat meriveden virtausta ja vaikuttavat sen voimakkuuteen. Hankkeessa tehtyjen mittausten perusteella Saaristomeren pohjois- ja eteläosan virtausolosuhteet eroavat toisistaan (kuva 6). Eteläisellä Saaristomerellä päävirtaussuunnat ovat kaakko ja luode, pohjoisosien kapeissa kanjoneissa etelä ja pohjoinen. Pintakerroksen vallitseva virtaussuunta on eteläisellä Saaristomerellä kaakkoon ja pohjoisosissa etelään. Keskimääräiset virtausnopeudet vaihtelevat Saaristomerellä alueittain. Pintakerroksen virtausnopeudet ovat 8–16 cm/s. Ajoittain esiintyy voimakkaita yli 20 cm/s virtauksia, ja pohjoisosien kanjoneissa on havaittu jopa yli 1 m/s virtausnopeuksia. Osa voimakkaita virtauksista syntyy paikallisten voimakkaiden tuulien vaikutuksesta, mutta osan aiheuttaa laajemman skaalan ilmiö, esimerkiksi Itämeren vedenkorkeuden vaihtelu. Tarkempi tieto virtausolosuhteista auttaa ymmärtämään entistä paremmin Saaristomerta rehevöittävien ravinteiden lähteitä, niiden kulkeutumista ja alkuperää.



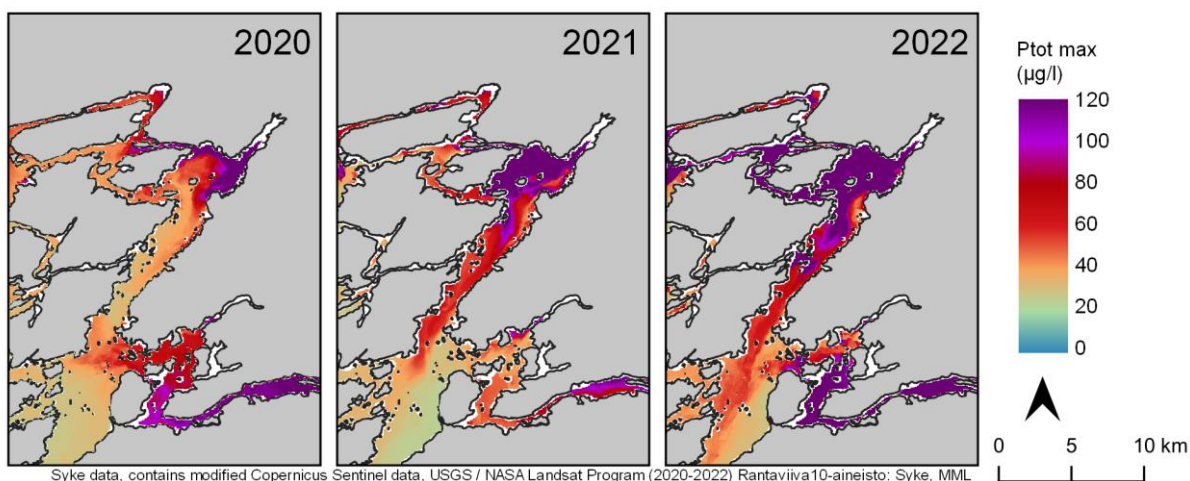
Kuva 6. Saaristomeren pintavirtaukset perustuen virtaushavaintoihin. Virtaushavainnot ovat eri vuodenajoilta ja vuosilta, eivätkä ne kuvaa samanaikaisia virtaustilanteita. Kuvasta kuitenkin nähdään pääasialliset virtaussuunnat (kompassiympyrä) ja yleisiä eroja virtausnopeuksissa Saaristomeren eri osissa (väri, kumulatiiviset prosentit). Syvyystieto: EMODnet Bathymetry.

MAAMERI-hankkeen tutkimus tarkensi tietoa jokien kuljettaman hiukkasaineksen fosforipitoisuudesta, aineksen koostumuksesta, sen laskeutumisesta pohjalle ja hajoamisesta. Tutkimuksien pääkohteena oli savisamea Paimionjoki ja sen vaikutusalue.

Tulokset osoittavat, että merkittävä osa Paimionjoen kuljettamasta savimateriaalista vajoaa pohjaan ja kerrostuu jo lähellä jokisuuta. mutta eloperäisen aineksen hajoaminen sedimentissä on aktiivista jokisuulta avomerelle asti. Eloperäisen aineksen hajotus vapauttaa ravinteita, kuluttaa happea ja tuottaa ilmastoaktiivisia kaasuja. Ilmastoaktiivisten kaasujen, kuten hiilidioksidin, metaanin ja typpioksiduulin ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  ja  $\text{N}_2\text{O}$ ), pitoisuudet olivat korkeimpia jokisuulla. Jokivesi kuljetti kaasuja jopa 10 kilometrin etäisyydelle jokisuusta. Alustavien arvioiden perusteella jokisuulla kasvihuonekaasujen päästöt ovat noin 80-kertaisia verrattuna uloimpaan avomeripisteeseen.

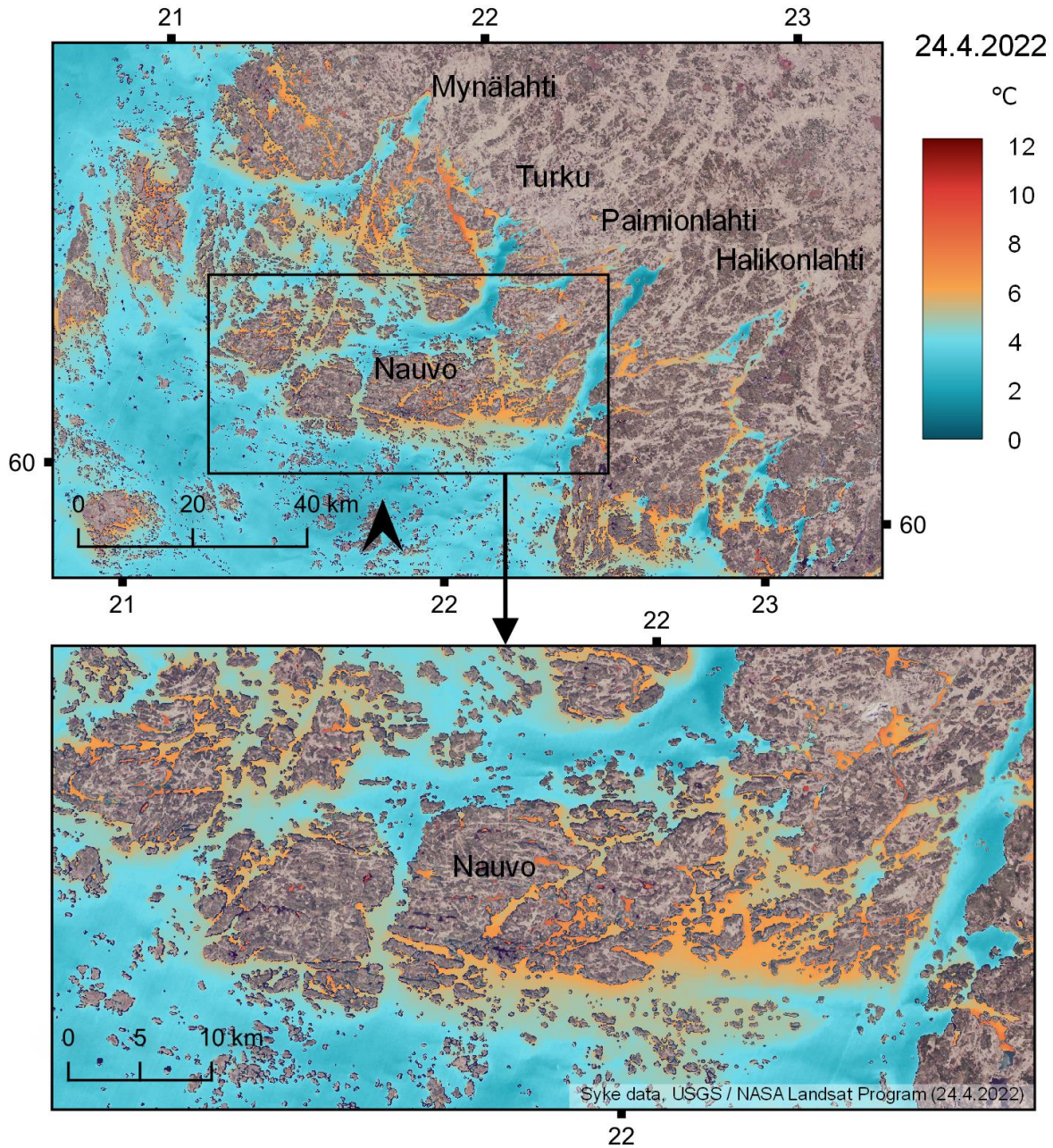
Jokikuormituksen vaikutuksia Paimionlahden lajiston monimuotoisuuteen tarkasteltiin tutkimalla kasvillisuutta ja sen joukossa eläviä selkärangattomia eläimiä. Tulosten perusteella ravinnekuormitus muokkaa sekä kasvi-, levä- että eläinlajistoa Paimionlahdella jokisuulta avomerelle mentäessä. Jokisuun lähellä kasvaa pääosin makean veden kasveja, jotka viihtyvät pehmeillä ja rehevöityneillä sedimentaatiopohjilla, kun taas merelliset kasvi- ja levälajit rajoittuvat ulkosaaristoon. Pohjaeläinyhteisöjen lajimäärä, biomassa sekä ravinne- ja hiilipitoisuudet nousevat jokisuulta ulkosaaristoa kohti. Tulokset vahvistavat myös sen, että ulko- ja välisaaristossa kasviplanktontuotannon määrä riippuu saatavilla olevan typen määrästä.

Satelliittihavaintoihin perustuva Saaristomeren tilan arviointi vahvistui MAAMERI-hankkeessa. Saaristomerelle perustettiin 28 uutta satelliittiseuranta-asemaa, joiden jatkuvasti kertyviä vedenlaatu-tietoja voi jatkossa tarkastella Suomen ympäristökeskuksen TARKKA-palvelussa. Hankkeessa tuotettiin veden sameustietoihin perustuva karttatuote, joka kuvaa jokivesien Saaristomereen tuomaa vuosittaista fosforikuormaa (kuva 7), sekä satelliittihavainnoista tulkittuja arvioita jokien tuomasta kokonaisfosforista. Lisäksi tuotettiin kattava kuva sameuden ja pintalevien määrää kuvaavan klorofylli-a:n vaihtelusta Mynäjoen ja Paimionjoen edustalla ja laajemmin koko Saaristomerellä vuosina 2019–2021 sekä tarkan erotuskyvyn lämpötilakarttatuote Saaristomerelle (kuva 8).



Kuva 7. Jokien kuljettamien hiukasten määrästä eli veden sameustiedoista johdettu kokonaisfosforin (Ptot) määrä Paimionlahdella koostettuna vuosien 2020–2022 keväisen sulamisajan satelliittihavainnoista.

Uudet satelliittipohjaiset karttatuotteet tulevat vapaasti saataville TARKKA-palveluun, ja niitä voidaan vapaasti hyödyntää yksityisiin, paikallisiin tai alueellisiin tarpeisiin. MAAMERI-hanke edisti eri menetelmin tuotettujen aineistojen yhteiskäyttöä Saaristomerен tilan tarkemmaksi seuraamiseksi Suomen ympäristökeskuksen DataFuusio-järjestelmän avulla. Hankkeessa parannettiin Saaristomerен ravinnekuormituksen arvioinnissa käytettyjen mallien yhteensopivuutta muokkaamalla kaksi keskeistä mallia (FICOS ja Coastal Load Response -malli, CLR) toimimaan samassa palvelinympäristössä.



Kuva 8. Tarkan erotuskyvyn lämpötilakartta näyttää, kuinka paljon veden lämpötila vaihtelee Saaristomerellä lyhyelläkin matkalla. MAAMERI-hankkeessa kehitetyt karttatuotteet tulevat vapaasti saataville ja käytettäväksi Suomen ympäristökeskuksen TARKKA-palveluun ([www.syke.fi/tarkka](http://www.syke.fi/tarkka)).

Samaan aikaan MAAMERI-hankkeen kanssa Saaristomeren valuma-alueella käynnistyi peltojen laajamittainen kipsikäsittely. KIPSI-hanke on osa vesiensuojelun tehostamisohjelmaa, ja sen tarkoituksena on vähentää fosforin huuhtoutumista maatalousmaasta vesistöihin ja edelleen mereen. MAAMERI-hankkeella pyrittiin parantamaan edellytyksiä seurata ja ymmärtää kipsikäsittelyn vaikutuksia. Hankkeet tekivät valuma-aluetta koskevissa tutkimuksissa tiivistä yhteistyötä. Seuranta tehtiin samanaikaisesti kipsin levityksen kanssa. MAAMERI-hanke tuotti ehdotuksen kipsikäsittelyjen vaikutuksen seurannasta ja katsauksen tuleviin tutkimustarpeisiin. Vaikka tarvittavien vesiensuojelutoimien suunta onkin selvä, tarvittavien toimien suuruus ja alueellisten vaikutusten ennakointi sekä ekosysteemin monimuotoisten vasteiden ymmärtäminen vaatii jatkuvaa uuden kohdennetun tutkimustiedon tuottamista. Valuma-alueella tehtävien vesiensuojelutoimien vaikutusten ja keston havaitseminen ja vaadittavien jatkotoimien arviointi edellyttää myös pitkäjänteistä seuranta.

Rannikon elinympäristöt ovat eliöstöltään monimuotoisia ja ekosysteemien toiminnan kannalta keskeisiä elinympäristöjä. Ilmastonmuutos, rehevöityminen ja muut ihmisen toiminnan aiheuttamat riskit uhkaavat heikentää niiden tilaa. Rannikkoekosysteemit, kuten Saaristomeren, ovat maalla tapahtuvan ihmistoiminnan vaikutusten ja meriekosysteemin monimuotoisuuden ja tuottavuuden polttopisteitä, joissa myös vesien- ja merensuojelu on vaikuttavinta. Rehevöityminen, ilmastonmuutos ja luontokato kietoutuvat rannikkoekosysteemeissä yhteen tavalla, jonka ymmärtäminen ja ihmistoimien aiheuttamien riskien hallinta edellyttää vankkaa ja monipuolista merentutkimusta myös Suomessa.

Suomessa ei tällä hetkellä ole tehokasta pitkäaikaisseurantaa, jolla seurattaisiin rannikonläheisten tärkeiden matalien elinympäristöjen, kuten sinisimpukkariuttojen, rakkohaurumetsien ja meriajokasniittyjen, kehitystä. Euroopan unionin vuoteen 2030 ulottuva biodiversiteettistrategia sisältää muun muassa entistä laajemman monimuotoista luontoa suojelevan verkoston perustamisen. Meriluonnon suojeleminen vaatii ymmärrystä siitä, miten rannikon elinympäristöt muuttuvat ajan myötä ja miten vastustuskykyisiä ne ovat äkillisiä ympäristön muutoksia vastaan. Myös mallinnus kaipa kipeästi seurantatietoa rannikon matalista alueista.

MAAMERI-hanke tuotti lyhyenä hankeaikanaan tehokkaasti ja monipuolisesti kaivattua uutta tietoa Saaristomeren meriympäristön tilan parantamisen tueksi. Tutkimushankkeen aikana laajamittainen kipsikäsittely oli Saaristomeren valuma-alueella vasta alkamassa, joten sen vaikutukset maatalouden päästöihin eivät vielä näkyneet meren ekosysteemissä. MAAMERI-hanke tuotti kuitenkin merkittävästi uutta tutkimustietoa, jonka avulla maatalouden innovatiivisten vesiensuojelutoimien, kuten kipsi-, kuitu- ja rakennekalkkikäsittelyjen, vaikutuksia voidaan jatkossa paremmin seurata. Suojelutoimien vaikutusten seurantaan saatiin MAAMERI-hankkeen tuloksena uusia, koko Saaristomeren mittakaavassa toimivia työkaluja, kuten uusia kaukokartoitustuotteita.

Meriekosysteemin toiminnan ymmärtämisen ja muutosten ennustamisen vaatiman mittaus- ja tutkimustiedon hankkiminen vaatii edistynyttä tieteellistä osaamista ja laajaa toimijoiden yhteistyötä. Saaristomeren ongelmien ratkaiseminen vaatii myös pitkäaikaista sitoutumista paitsi vesiensuojelutoimiin, myös jatkuvaan tiedon tuotantoon ja kansainväliseen yhteistyöhön. Saaristomeren kohtalo riippuu Suomen tekemien suojelutoimien onnistumisesta mutta myös koko Itämeren tilan paranemiseen tähtäävän kansainvälisen työn menestyksestä tulevina vuosikymmeninä.



Kuva 9. Näytteitä Saaristomereltä. Kuvaajat: Susanna Mikander ja Pata Degerman

## Mitä MAAMERI-hankkeen jälkeen?

Meriympäristön tilan parantamista kaikilla Suomen merialueilla ohjaa merenhoitosuunnitelma, jollainen laaditaan kaikissa EU:n merenrantavaltioissa. Suomi on sitoutunut myös useisiin kansainvälisiin meriympäristön suojelusopimuksiin, joista keskeisin on Itämeren suojelua koskeva HELCOM-yleissopimus. Merenhoitosuunnitelman tavoitteena on saavuttaa meren hyvä tila. Tavoitteeseen pyritään monella eri osa-alueella, joita ovat muun muassa haitallisten aineiden vähentäminen, roskaantumisen ja vieraslajien torjunta sekä rehevöitymisen vähentäminen.

Tuoreimmassa Suomen merialueiden tilan arvioinnissa kaikkien Suomen avomerialueiden rehevöitymistila oli heikko ja vesienhoidossa käytetyn ekologisen luokituksen mukaan rannikkovesistä vain 13 % oli hyvässä tilassa (Korpinen ym. 2018). Merenhoitosuunnitelman rehevöitymistä koskeva yleistavoite on vähentää Suomen ravinnekuormitus HELCOM-yhteistyössä määritellyn kuormituskaton alapuolelle. Jotta meren hyvä tila voidaan rehevöitymisen osalta saavuttaa niin rannikkovesissä kuin avomerellä, ravinnekuormitusta pitää edelleen vähentää huomattavasti. Vähennystarvetta korostavat entisestään arviot ilmastomuutoksen myötä lisääntyvästä fosforin hajakuormituksesta. Meren sisäisen ravinnekuormituksen merkitys korostuu erityisesti niillä Suomenlahden ja Saaristomeren rannikkoalueilla, joissa paikallinen ravinnekuormitus on vähäistä. Fosforin vähentämisen lisäksi myös typpikuormituksen hillitseminen on tärkeä osa merensuojelutoimiamme.

Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma pyrkii parantamaan merta kuormittavan toiminnan vaikutusten arviointia kehittämällä ekologisten vaikutusten arviointiin soveltuvia isomman merialueen kattavia virtaus- ja vedenlaatumalleja. Nykyisiin virtaus- ja vedenlaatumalleihin on sisällytetty tärkeimpien biologisten muuttujien laskenta ja ravinnekierrot, sedimentaationopeudet ja pohjan prosessit. Mallien tuottamat tulokset riippuvat olennaisesti meren sisäisten prosessien kuvauksesta, malliin syötettyjen oletusten paikkansapitävyydestä ja näiden yhteisvaikutuksista. MAAMERI-hanke vahvistaa merkittävästi mallien tarvitsemia lähtötietoja ja tuotti uutta tietoa ravinnekuormituksen vaikutuksesta Saaristomeren ekosysteemiin. Vesien- ja merenhoidon työkaluina käytettyjen mallien kehittäminen ja ylläpito edellyttää kuitenkin säännöllistä ja pitkäjänteistä resurssien kohdentamista tietopohjan päivittämiseen ja laajentamiseen.

Saaristomeren meriluonto on herkkä ja ainutlaatuinen. Alue on tärkeä virkistykseen ja toimeentulon lähde paikallisille asukkaille ja merkittävä koko suomalaiselle yhteiskunnalle. Ihmistoiminta Saaristomeren valuma-alueella ja koko Itämerellä on huonontanut merialueen tilaa vuosikymmenien ajan. Aktiivisia ja pitkäjänteisiä vesiensuojelutoimia on tehty jo pitkään, ja vaikka sisäsaariston tila ei ole parantunut, merkkejä myönteisestä kehityksestä on nähtävissä esimerkiksi välisaaristossa. Saaristomeren palautuminen vaatii jatkossakin sitoutumista vesiensuojelutoimiin.

Tutkimus ja sen perusteella kehitetyt työkalut, kuten mallit ja jatkuvatoiminen seuranta, avaavat mahdollisuuksia meren tilan ennakoivaan ja oikea-aikaiseen ymmärtämiseen. Riittävä meriympäristön tilan seuranta, sen laatu, jatkuvuus ja kattavuus ovat avainasemassa ympäristön tilassa tapahtuvien muutosten havaitsemisessa ja mallityökalujen toiminnan varmistamisessa. Tässä uusien menetelmien, kuten kaukokartoituksen, hyödyntäminen avaa mahdollisuuksia joidenkin seurantamuuttujien osalta.

Meren tilaa parantavan viisaan päätöksenteon edellytys on ajantasainen tutkittu tieto. Saaristomeren, kuten koko Itämerenkin, nykyistä tilaa heikentävät rehevöitymisen ja haitallisten aineiden lisäksi myös ilmastonmuutoksen vaikutukset ja luontokato. Myös Saaristomereen liittyvien merialueiden, erityisesti Selkämeren, viimeaikainen kehitys on huolestuttava. Tutkimustiedossa on edelleen avoimia kysymyksiä ja selkeitä puutteita. Esimerkiksi Saaristomeren luonnon monimuotoisuuden seuranta on edelleen puutteellista. Saaristomerta ei voi tarkastella irrallaan muusta Itämeren kehityksestä, mutta kestävän kehityksen varmistaminen Saaristomeren alueella vaatii myös paikallista näkökulmaa.

Nykyisellään merialueisiin kohdistuva taloudellinen mielenkiinto on lisääntynyt voimakkaasti, ja merelle suunnitellaan laajoja hankkeita. Tässä tilanteessa oikea-aikaisen ja monitieteisen merentutkimuksen ja hyvän ekosysteemitason näkemyksen tarve korostuu entisestäänkin, kun taloudellisten tarpeiden ja ympäristön hyvinvoinnin yhdistäminen vaatii yhä monialaisempaa tieteellistä yhteistyötä ja kattavaa vaikutusten ennakoitua. Samalla tuotetaan tietoa kaikille Saaristomeren hyvinvoinnista kiinnostuneille. MAAMERI-hanke on osoittanut, että oikein suunnatulla hankerahoituksella voidaan lyhyessäkin ajassa tuottaa merkittävää kohdennettua ja vaikuttavaa tutkimustietoa meriympäristön tilasta.

## MAAMERI-hanke – osa vesiensuojelun tehostamisohjelmaa

Ympäristöministeriö tuki MAAMERI-hanketta vesiensuojelun tehostamisohjelmassa. Vesiensuojelun tehostamisohjelma 2019–2023 on merkittävä panostus vesien suojeluun. Ohjelman tavoitteena on Itämeren ja sisävesien hyvä tila. Ohjelman toimilla vähennetään maa- ja metsätalouden ravinnekuormitusta vesiin, puhdistetaan hylkyjä öljystä, kunnostetaan vesistöjä ja vähennetään haitallisia aineita kaupunkivesistä.

MAAMERI-hankkeessa olivat mukana Helsingin ja Turun yliopistot, Åbo Akademi, Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus, Geologian tutkimuskeskus, Ilmatieteen laitos sekä hanketta koordinoanut Suomen ympäristökeskus. Hankkeen kokonaisrahoitus vuosina 2020–2022 oli 2,2miljoonaa euroa, josta ympäristöministeriön osuus oli 1,9 miljoonaa euroa.

Hankkeeseen osallistui 35 vesiensuojeluun erikoistunutta tutkijaa eri tutkimusaloilta. Kaikkiaan 34 kuukauden aikana työtä tehtiin 73 henkilötyövuotta ympäristöministeriön ja hanketoimijoiden yhteisrahoituksella. Hankkeen tavoitteet saavutettiin samaan aikaan yhteiskuntaa sulkeneesta laajamittaisesta pandemiasta huolimatta.

Hankkeen tieteellisten tulosten julkaisu on käynnissä. Vuoden 2023 maaliskuuhun mennessä on julkaistu viisi tieteellistä artikkelia. Hanke on tuottanut myös yleistajuisia lehtiartikkeleita ja osallistunut aktiivisesti Saaristomeren tilaa koskevaan keskusteluun.

Lisätieto: [MAAMERI-hankkeen verkkosivut](#)



## Viitteet

- Korpinen, S., Laamanen, M., Suomela, J., Paavilainen, P., Lahtinen, T. ja Ekebom, J., ym. 2018. Suomen meriympäristön tila 2018. Syken julkaisuja. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/274086>
- Laamanen, M., Suomela, J., Ekebom, J., Korpinen, S., Paavilainen, P., Lahtinen, T., Nieminen, S. and Hernberg, A., 2021. Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma vuosille 2022–2027. Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:30 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-198-6>
- Fleming, V., Kuosa, H., Hoikkala, L., Räike, A., Huttunen, M., Miettunen, E., Virtanen, E., Tuomi, L., Nygård, H. ja Kauppila, P., 2021. Rannikkovesiemme vedenlaadun ja rehevöitymistilan tulevaisuus ja sen arvioiminen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:14. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-111-7>