

Hankkeen nimi: Havsmanualen 3.1 (1.1.2021-15.11.2022)

Hankkeen toteuttajat: Hangon kaupungin ympäristönsuojeluosasto ja Pro Litore ry

Yhteys henkilö ja yhteystiedot: Matias Scheinin, 040 83 53 439, matias@scheinin.fi

Internetsivut: www.prolitore.fi

1. Tiivistelmä / yhteenveto hankkeen toteutuksesta ja saavutetuista tuloksista

Havsmanualen 3.1 -hankkeessa kehitettiin ja sovellettiin vapaasti skaalautuvaa ja monistettavaa **Coastrider-toimintamallia vesien kuormittuneisuuden ja valuma-alueiden ominaisuuksien välisten yhteyksien selvittämiseksi Länsi-Uudenmaan rannikolla**. Rannikkovesiin kohdistuvasta kuormituksesta tuotettiin tarkkaa, kattavaa ja luotettavaa havaintoaineistoa käyttämällä liikkuvaa ja jatkuvatoimista **automaattimittausjärjestelmää**. Lisäksi hankkeessa koostettiin paikkatietoaineistoa näitä rannikkovesiä ympäröivien valuma-alueiden keskeisimmistä hydrologisista ominaisuuksista. Aineistoja käytettiin ensisijaisesti **maalta mereen päätyvien hiili-, ravinne- ja kiintoainealumien alkuperän aiempaa huomattavasti tarkempaan paikantamiseen**. Näin hankkeessa onnistuttiin luomaan tutkittuun tietoon perustuvat edellytykset konkreettisille **suosituksille hajakuormitusta ehkäisevien vesienhallintatoimenpiteiden kustannustehokkaaksi kohdentamiseksi sekä niiden (ja muiden ympäristömuutosten) vaikutusten seuraamiseksi**.

Hankkeen tulosten avulla vesienhallintaratkaisuja voidaan keskittää kustannustehokkaasti niiden vesistöille, ilmastolle sekä maa- ja metsätaloudelle tuottamien synergiahätytyjen mukaan. Uudelle toimintamallille on tarkoitus saada asema parhaana käyttökelpoisena käytäntönä, jota voidaan sellaisenaan monistaa **valuma-aluekohtaiseen suunnitteluun, toteutukseen ja seurantaan valtakunnallisesti niin sisävesillä kuin rannikollakin**. Tällä tavoin vesienhallintaan käytettävissä olevat resurssit saataisiin hyödynnettyä mahdollisimman kustannustehokkaasti, taloudelliset ja ympäristölliset arvot yhteensovittaen.

Coastrider-toimintamallia olisi jatkossa hyödyllistä käyttää kaikkien konkreettisia vesienhallinta- ja hoitotoimenpiteitä toteuttavien hankkeiden yhteisenä **kohdentamis- ja vaikuttavuusseurantatyökaluna** etukäteen synkronoidusti. Näin panostukset yksittäisiin hankkeisiin ohjautuisivat systemaattisesti tehokkaampaan sidosryhmätyöskentelyyn ja vaikuttavampiin käytännön ympäristötoimenpiteisiin.

2. Hankkeen lähtökohta, tavoitteet ja kohderyhmä

Havsmanualen 3.1 (HM3.1) on Hangon kaupungin ympäristönsuojeluosaston hallinnoima ja Pro Litore ry:n omistama kokonaisvaltainen vesienhallintahanke, joka kattaa Länsi-Uudenmaan rannikkoalueet (Kuva 1). Hankkeen tehtävänä on edistää rannikkoympäristön kokonaisvaltaista ja kestävä hallinnointia tuottamalla, soveltamalla ja jalkauttamalla tutkittua tietoa ennen kaikkea **maalta mereen päätyvästä hiili-, ravinne- ja kiintoaineskuormituksesta**. Hankkeen omarahoitusosuus muodostuu Vuorineuvoksetar Sophie von Julinin säätiön Havsmanualen 3 -hankkeelle (HM3) myöntämästä avustuksesta.

Merkittävä osa maaperän hiilestä ja ravinteista päätyy vesistöihin niin liukoisessa muodossa kuin kiintoaineksenakin. Valumien myötä maa köyhtyy, vedet rehevöityvät ja niistä vapautuu ilmaan kasvihuonekaasuja. Sekä maa- että vesiekosysteemien rakenne, toiminta ja niiden tarjoamat palvelut kärsivät tästä. Maalla muun muassa luonnon monimuotoisuus, taloudellinen tuottavuus ja hiilen sitominen ilmakehästä heikentyvät. Vesistöissä kuormitus ilmentyy myös eloperäisen aineksen, sameuden ja mikroväbiomassan lisääntymisenä sekä tummumisenä, happamoitumisena, hapen puutteena ja kohonneina hiilidioksid- ja metaanipitoisuuksina. Koska nämä kasvihuonekaasut siirtyvät pintavesistä tehokkaasti ilmaan, valumien ilmastolliset vaikutukset ilmenevät ensisijaisesti globaalina lämpenemisenä. Vesistöissä kuormittava aines muuntuu ja leviää nopeasti. Samalla sen vaikutukset ympäristön tilaan riippuvat vastaanottavan vesiympäristön tyypistä, erityisesti siinä vallitsevista fysikaalisista olosuhteista. **Näin ollen kuormitusta on tarkoituksenmukaisinta tarkastella eri kuormitusmuotojen ympäristövaikutuksia kuvaavien tilaindikaattoreiden (ml. kasvihuonekaasut) kautta. Vastaavasti tarkastelussa on ensiarvoisen tärkeää ottaa huomioon, minkälaisissa ympäristöolosuhteissa indikaattoreiden arvoja mitataan.**

Hankkeen perimmäinen tavoite on luoda tutkittuun tietoon perustuvat edellytykset konkreettisille suosituksille hajakuormitusta ehkäisevien vesienhallintatoimenpiteiden kustannustehokkaaksi kohdentamiseksi ja niiden vesistö- ja ilmastovaikutusten seuraamiseksi. Tämän saavuttamiseksi hankkeessa

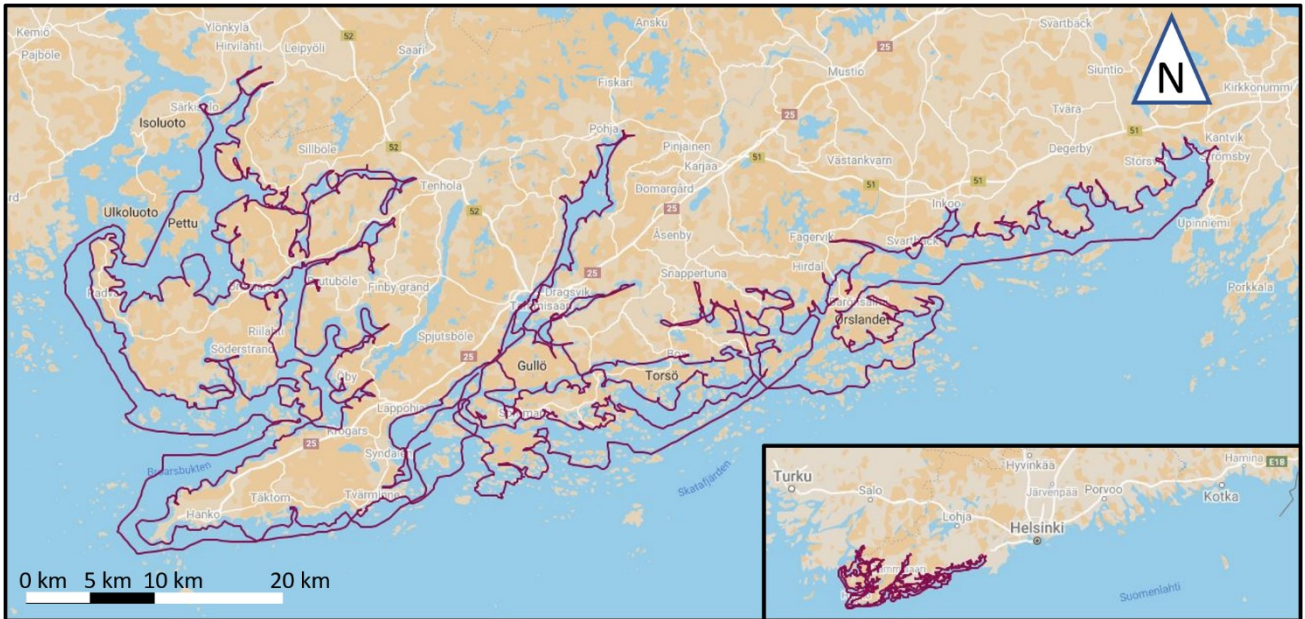
1. tuotettiin empiiristä mittausaineistoa seudun rannikkovesiin kohdistuvasta kuormituksesta,
2. koostettiin paikkatietoaineistoa valuma-alueiden keskeisimmistä hydrologisista olosuhteista, ja täten
3. selvitettiin vesien kuormittuneisuuden ja valuma-alueiden ominaisuuksien välisiä yhteyksiä.

Aineistojen on tarkoitus olla ympäristöhallinnon sovellettavissa vähintään ns. kolmannen jakovaiheen valuma-alueiden tarkkuudella. Näin ollen hanke vastaa käytännön tarpeisiin tasolla, joihin vastaaviin käyttötarkoituksiin sovellettavissa olevien mallien ja simulaatioiden tarkkuus ei riitä. Suurimmasta osasta kartoitettua rannikkovesialuetta ei myöskään ole olemassa mitään aiempaa vedenlaatumittausaineistoa.

HM3.1-hankkeessa tuotettava empiirinen mittausaineisto Länsi-Uudenmaan rannikkovesiin kohdistuvasta kuormituksesta on alueellisesti ja ajallisesti erittäin kattavaa ja tarkkaa. Aineiston keräämisessä, käsittelyssä ja tulkinnaissa sovelletaan **Coastrider-toimintamallia**. Siinä kullekin kuormitusmuodolle ominaisia indikaattoreita sekä fysikaalisia olosuhteita kuvaavia muuttujia rekisteröidään samanaikaisesti, käyttämällä liikkuvaa ja jatkuvatoimista mittausjärjestelmää (eli käytännössä avoveneeseen kytkettyä läpivirtausjärjestelmää siihen liitettyine automaattisensoreineen). Valituille indikaattoreille voidaan näin määrittää luontaisen ympäristövaihtelun saumattomasti kattavat, mittausympäristölle ja -olosuhteille ominaiset viitearvot sekä mittausarvojen poikkeamat niistä. **Sekoittavien taustamuuttujien kuten sadannan ja sekoittumisen aiheuttamaa harhaa saadaan tällä tavoin vähennettyä oleellisesti, ja vesien kuormittuneisuutta voidaan arvioida käyttötarkoituksen mukaan valittavalla ajallisella ja paikallisella resoluutiolla.**

Tiivistetysti ilmaisten Coastrider-aineistot koostuvat siis sisältämänsä ainutlaatuisen, suoran mittausaineiston lisäksi neljästä tietosisällöllisestä tai analyttisestä päätuotoksesta, joilla rannikkovesiympäristöjä ja niissä ilmenevää vaihtelua voidaan kuvata ympäristöhallinnollisesti merkittävällä, uudenlaisella tavalla. Hankkeessa vakiintuneita tilastoalgoritmejä soveltamalla mittausaineistoa voidaan käyttää **1) vesiympäristötyypin, 2) kuormitusindikaattoreiden arvojen paikka- ja aikaspesifin normaalitason ja 3) indikaattoreiden arvojen poikkeamien (em. normaalitasosta) objektiiviseen määrittämiseen sekä 4) muiden (kuin järjestelmällä suoraan mitattujen) vedenlaatumuuttujien arvojen vaihtelua kuvaavien empiiristen mallien luomiseen.** Vesialueiden ympäristötyypin (1) määrittämisessä hyödynnetään erityisesti pääkomponenttianalyysia (PCA). Määrittäminen perustuu siihen, että kultakin havaintopisteeltä mitattu, usean vuoden ja vuodenaajan kattava **suolaisuuden ja lämpötilan dynamiikka heijastelee vahvasti mm. vesien vaihtuvuutta (flushing), sekoittuneisuutta ja syvyyttä sekä ympäristön sijaintia sisä- ja ulkosaariston välisellä jatkumolla.** Kuormitusindikaattoreiden paikallisesti ja ajallisesti täsmällinen normaalitaso eli viitearvot (2) määritetään yleistettävien additiivisten mallien (GAM) avulla, jossa bootstrapping-tekniikalla (100 kertaa) toistetusti otetuista, uniikkeista satunnaisotoksista (n = 5 000) analysoidaan kunkin indikaattorimuuttujan arvojen vaihtelua suhteessa vallitseviin ympäristöolosuhteisiin. Poikkeamat (3) näistä viitearvoista määritetään vuorostaan vertaamalla tosiasiallisia mittausarvoja em. mallin perusteella oletettuihin. Empiiriset mallit (4) perustuvat vastaavanlaisiin tilastomalleihin (GAM) kuin viitearvojenkin määrittäminen. Tässä tapauksessa vastemuuttujana on esimerkiksi vesinäytteistä analysoitu suure (mm. kokonaisfosforipitoisuus) ja selittävinä muuttujina automaattisensoreiden rinnakkain mittaamia suureita (esim. fDOM, sameus ja *a*-klorofylli).

Paikkatietoaineistot valuma-alueiden pinnanmuodoista, uomaverkostosta, maaperästä ja maankäytöstä on koostettu ajankohtaisimmista avoimista tietokannoista. Niitä käytettiin syöttökerroksina laskettaessa yleistä maaperän häviämisyhtälöä (Universal Soil Loss Equation), jossa kullekin syöttökerrokselle sovellettiin relevanteimmasta kirjallisuudesta peräisin olevia kertoimia (Sivertun 2003). **Yhtälön avulla koko Länsi-Uudenmaan rannikon valuma-alueelta määritettiin valumariskialueet painottuen ensisijaisesti maatalouden vesistövaikutuksiin ja näistä erityisesti fosfori- ja kiintoainekuormitukseen.** Valumariskialueiden määrittäminen on HM3.1-hankkeen **viides (5) tietosisällöllinen päätuotos.** Kuudentena (6) vastaavanlaisena päätuotoksena voidaan lisäksi pitää kaikkea rannikkovesistä kerättyä uutta ja ainutlaatuista mittausaineistoa sekä valuma-alueiden hydrologisista pääominaisuuksista koostettua, ajankohtaista tausta-aineistoa.



Kuva 1. HM3.1-hankkeessa Länsi-Uudenmaan rannikkovesien kuormittuneisuutta mitattiin vuosien 2021 ja 2022 avovesikausien aikana noin kuukauden välein 1 200 km pituiselta ja noin 25 000 havaintopistettä käsittävältä mittauslinjalta. Koko linja on jaettu noin 20 000 kiinteään mittausruutuun

3. Projektin toteutus

3.1. Vedenlaatumittaukset

3.1.1 Mittausaineiston kuvaus

Coastrider-ympäristökartoituksissa seurattiin veden laatua koko Länsi-Uudenmaan rannikkoalueella. Läpivirtausjärjestelmällä toteutettavien mittausten ohessa tutkimusalueelta kerättiin myös vesinäytteitä validointi- ja kalibrointitarkoituksiin sekä muiden kuin järjestelmän kattamien muuttujien analysoimiseksi. Kartoitusalue sijaitsee läntisen Suomenlahden ja eteläisen Saaristomerén välissä, jossa vesien tila laajemmassa mittakaavassa vaihtelee ennen muuta sisä- ja ulkosaariston kattavan, mantereen ja avomeren välisen rannikkovesijatkumon sekä Suomenlahden itäisten ja läntisten osien välisen, keskinäisen vuorovaikutuksen myötä. Kartoituksissa mitattiin erityisesti mittausalueen vesien tilan vaihtelua suhteessa muuhun ympäristöönsä. Vesien tilaa kuvattiin

- läpivirtausjärjestelmän antureiden suoraan rekisteröimien indikaattorimuuttujien (esim. [fDOM]),
- suoraan rekisteröityjen muuttujien perusteella laskennallisesti määritettävien muuttujien (esim. [CH₄]),
- empiirisiin mallifunktioihin, joissa läpivirtausjärjestelmällä suoraan rekisteröidyt muuttujat ovat selittäviä muuttujia ja vesinäytteistä analysoidut muuttujat vastemuuttujia (esim. [Tot-P]).

Muuta vesiympäristöä kuvattiin

- läpivirtausjärjestelmän antureiden suoraan rekisteröimien fysikaalisin muuttujien (esim. johtokyky),
- suoraan rekisteröityjen muuttujien perusteella laskennallisesti määritettävien muuttujien (esim. suola),
- fysikaalisten muuttujien dynamiikan perusteella määritettyä ympäristötyyppejä ilmentävin tekijöihin.

3.1.2 Menetelmät ja aikataulu

Pintavedestä eli puolen metrin syvyydeltä vettä (29 l/min) keräävään läpivirtausjärjestelmään (Scheinin & Asmala 2020) liitetyn EXO2-sondin (Xylem Inc., USA) anturit mittasivat vedestä keskeisimpiä tilaindikaattoreita eli liukoisen eloperäisen aineksen (fDOM) määrää, kasviplankton- ja sinileväpigmenttien (α -klorofylli ja fykosyaniini) pitoisuuksia, sameutta, hapen määrää sekä happamuutta. Lisäksi sondissa oli veden lämpötilaa ja suolapitoisuutta mittaava anturi ympäristöolosuhteiden rekisteröintiä varten. Sondiin suorassa yhteydessä oleva EXO Handheld -yksikkö mittasi samalla ilmanpainetta sekä rekisteröi GPS-sijainnin ja -ajan. Lisäksi läpivirtausjärjestelmään kuului veden hiilidioksidipitoisuutta rekisteröivä CO2 Pro CV -anturi (Pro Oceanus Inc., Kanada) ja veden metaanipitoisuutta rekisteröivä Mini CH4-anturi (Pro Oceanus Inc., Kanada). Veneen

HAVSMANUALEN 3.1 – TUTKITUSTA TIEDOSTA TEHOKKAASEEN VESIENHALLINTAAN

Liite 1: Loppuraportti

Maksatushakemus 14.11.2022

targakaarelle asennetuilla antureilla (Onset Computer Corp., USA) mitattiin yhteyttämislle aallonpituuksiltaan soveltuvan valon (PAR) määrää (S-LIA-M003) sekä ilman lämpötilaa ja kosteutta (S-THB-M002). Läpivirtausjärjestelmän runko (Luode Consulting Oy) koostui Utility Puppy 2000 -vesipumpusta (Jabsco Inc., USA) sekä valmistajan käyttötarkoitukseen räätälöimästä, pyörreperiaatteella toimivasta kuplanpoistajasta putkiliitäntöineen. Mittausanturien valinta, niiden väliset kytkennät ja hydraulisten viiveaikojen säätäminen (ks. alla) on tehty Pro Litore ry:n toimesta.

Läpivirtausjärjestelmällä pintavedestä toteutettujen mittausten lisäksi kunakin kartoituskertana tutkimusalueelta kerättiin pintavesinäytteitä keskimäärin seitsemästä havaintopisteestä. Niiden tuloksia käytetään automaattimittausaineiston kalibrointiin (α -klorofylli ja sameus) ja validointiin (johtokyky) sekä hankkeen ulkopuolisen rahoituksen mahdollistamissa puitteissa empiiristen mallien luomiseksi esim. kokonaistypen (Kok-N), kokonaisfosforin (Kok-P), eloperäisen hiilen (TOC), liukoisen eloperäisen hiilen (DOC) ja kromoforisen liukoisen eloperäisen aineksen (CDOM) pitoisuuksille sekä veden alkaliniteetille. Vesinäytteet otettiin läpivirtausjärjestelmään kuuluvasta hanasta. Näytteet analysoi Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy.

Hankkeen aikana toteutettiin yhteensä kymmenen Coastrider-kartoitusta (Kuva 1). Mittaukset tehtiin avoveneeseen (Brig N610) kytkettyyn läpivirtausjärjestelmään (Kuva 2) liitetyillä sekä veneen kannelle kiinnitetyillä antureilla. Kaikkia mitattavia muuttujia rekisteröitiin yhdessä paikka- ja aikatiedon kanssa viiden sekunnin eli veneen nopeudesta (10-45 km/h) riippuen noin 15-60 metrin välein. Tällä tavoin kultakin kartoituskerralta havaintoja kertyi noin 25 000 mittauspisteestä. Näin ollen koko hankkeen aikana mittaushavaintoja tuotettiin kokonaisuudessaan noin 250 000 pisteestä. Coastrider-kartoituksen havaintopisteitä ja -frekvenssiä räätälöitiin kohdealueen pinnan- ja pohjanmuotojen lisäksi mm. toteutettavien ja suunniteltujen suojelutoimenpiteiden sekä tiedossa olevien ympäristömuutosten mukaisella tarkkuudella ja kattavuudella. Vesien tilaa keskeisesti kuvaavien indikaattorimuuttujia mitattiin rinnakkain fyysikaalisia olosuhteita kuvaavien muuttujien kanssa siten, että kaikissa muuttujissa ilmenevä alueellinen vaihtelu katettiin sekä edustavasti että riittävällä resoluutiolla. Mittausaineistoa kerättiin yhteensä noin 1 200 kilometrin mittaiselta linjastolta, joka kattaa edustavasti alueella vallitsevat, laajemmat ympäristögradientit sekä erilaisten ympäristötyyppien kirjon aina sisälahdistä ulappavesille.

Kartoitukset avovesiaikana

Pituus: 650 mpk (1 200 km)
Aika: 5 pv (peräkkäistä)
Frekvenssi: 1 kk (yht. 6 kk)
Havainnot: 25 000 kpl/kk

Vesianturit (-0.5 m):

- α -klorofylli
- fykosyaniini
- sameus
- fDOM
- happi
- pH
- johtokyky
- lämpötila
- metaani
- hiilidioksidi

Ilma-anturit (+1.0 m):

- ilmanpaine
- ilmankosteus
- lämpötila
- PAR



Kuva 2. Brig N610 -veneeseen asennettu läpivirtausjärjestelmä ja kartoituksissa käytetyt anturit.

Eri antureilla kerätty aineisto synkronoitiin GPS-sijainnin ja -ajan mukaan. Laitteiston hydraulisten ominaisuuksien sekä käytettyjen antureiden vasteaikojen viive otettiin huomioon säätämällä läpivirtausjärjestelmän putkisto pituudeltaan siten, että mittaushavaintojen ja niiden GPS-leiman välinen ero oli $10 (\pm 2)$ sekuntia. Kun mittausaineisto oli korjattu tämän kokonaisviiveen osalta, havainnot sijoitettiin viiden tasasekunnin väliin aikaluokkiin (Scheinin & Asmala 2020). Keskeisimmistä mitattavista muuttujista fluoresoivan liukoisen eloperäisen aineksen (fDOM) pitoisuus korjattiin laskennallisesti lämpötilan ja sameuden suhteen soveltamalla seuraavia (1-3) kaavoja (Snyder et al. 2018).

$$(1) \text{fDOM}[\text{temp}] = (\text{fDOM}[\text{qsu}] / (1 + (-0.01 * (\text{Temp}[\text{C}] - 25))))$$

$$(2) \text{fDOM}[\text{turb}] = (\text{fDOM}[\text{temp}]) / (2.7183^{(-0.006 * \text{Turb}[\text{FNU}])})$$

$$(3) \text{fDOM}[\text{corr}] = (0.0044 * (\text{fDOM}[\text{turb}]^2)) + (0.7324 * \text{fDOM}[\text{turb}])$$

Kaikissa analyysissä ja muissa esityksissä käytettiin ainoastaan korjattuja fDOM-arvoja (fDOM[corr]), joiden yksikkönä on raaka-aineiston tapaan QSU (Quinone Sulphate Unit). Keskeisistä indikaattorimuuttujista α -klorofyllin pitoisuudet ($\mu\text{g/l}$) ja sameus (FNU) kalibroitiin vesinäytteistä laboratoriossa määritettyjen arvojen mukaan. Kummassakin tapauksessa antureiden mittaamille arvoille määritetään korjauskerroin ja -vakio soveltamalla lineaarisia regressiomalleja (Scheinin & Asmala 2020).

Kaikki mittausanturit kalibroitiin valmistajien suositusten mukaisesti (1-6 kk ennen näytteenottoa anturista riippuen). Coastrider-aineistoon sovellettiin biogeokemiallisen ”ferry box” -dataan käytettävää kolmiosaista kontrollirutiinia, joka koostuu muuttujien nimeämisen, puuttuvien mittausarvojen sekä mittausanomalioiden tarkastelusta (Linders ym. 2017).

3.1.3 Deskriptiivinen tiedonkäsittely

Kartoitusaineistot interpoloitiin ArcGIS-ohjelmalla soveltamalla *diffusion kernel* -menetelmää ja yhden meripeninkulman (1 852 m) interpolointietäisyyttä. Menetelmän avulla maa-alueet kyettiin ottamaan huomioon mittauspisteiden välisten etäisyyksien määrittämisessä.

Tutkimusalueen ympäristötyypit tunnistettiin ja luokiteltiin veden lämpötilan ja suolapitoisuuden vuodenaikaisdynamikan perusteella. Ensimmäisen koko mittauslinjan (Kuva 1) jaettiin 60 m suuntaansa oleviin ruutuihin. Tällä tavoin linjalle saatiin muodostettua noin 20 000 mittausruutua, jotka ovat verrattavissa kiinteisiin mittausasemiin. Kullekin ruudulle laskettiin sille kullakin kartoituskerralla osuvien suolapitoisuus- ja lämpötilahavaintojen keskiarvo. Koska hankeaikana mittausaineistoa kerättiin yhteensä kymmeneen kertaan, kaikille ruuduille voitiin näin luoda kymmenestä aikapisteestä koostuva havaintosarja kuvaamaan suolapitoisuuden ja lämpötilan vuodenaikaisdynamikkaa. Ympäristötyyppien tunnistamiseen sovellettiin pääkomponenttianalyysia, jossa sekä lämpötilan että suolapitoisuuden kutakin mittausajankohtaa käsiteltiin omana muuttujanaan. Tällä tavoin kullekin havaintopisteelle saatiin määritettyä spesifinen ”sormenjälki”, joka voidaan esittää tiivistetysti pääkomponenttianalyysin kolmen ensimmäisen akselin koordinaatein. Havaintopisteet luokiteltiin myös 12 eri luokkaan näiden koordinaattipisteiden euklidisen etäisyyden perusteella. Käytännössä näin muodostuvat luokat ilmentävät niiden välisiä eroja pääosin vesien vaihtuvuudessa ja sekoittuvuudessa sekä sijoittumisessa sisä- ja ulkosaariston väliselle jatkumolle.

3.1.4 Analyttinen tiedonkäsittely

Keskeisimmille vedenlaatuindikaattoreille eli α -klorofyllin ja fluoresoivan liukoisen eloperäisen aineksen pitoisuuksille sekä sameudelle määritettiin viitearvot selittämällä kunkin muuttujan arvojen vaihtelua muilla rinnakkain mitatuilla muuttujilla sekä ympäristötyyppejä kuvaavilla tekijöillä. Määrittämisessä käytettiin koko hankeaineistosta (n. 250 000 havaintopistettä) sekä alueen aiemmista Coastrider-aineistoista (n. 350 000 havaintopistettä) otettuja 5 000 pisteen uniikkeja satunnaisotoksia, jotka toistettiin 100 kertaa Bootstrapping-tekniikkaa hyödyntäen. Tällä tavoin aineistoa voitiin analysoida autokorrelaatioita välttämällä sen edustavuudesta tinkimättä. Analyysiin sovellettiin yleistettyä, additiivista (GAM) sekamallia, jossa kartoitusvuosi toimi luokkamuuttujana eli selittävänä tekijänä. Parsimonisimman tällä tavoin määritetyn mallin funktio kuvasi viitearvojen vaihtelua suhteessa ympäristöönsä.

Parsimonisimpien mallien määrittämisen jälkeen valittuja malliyhtälöitä sovellettiin koko aineistoon, josta indikaattorimuuttujien havaittujen mittausarvojen poikkeamat vastaavista mallin ennustamista arvoista määritetään muodossa $m_p = m_h - m_e$. Yhtälössä m_p on indikaattorimuuttujan arvon poikkeama viitearvostaan, m_h on havaittu indikaattorimuuttujan arvo, ja m_e = mallin ennustama indikaattorimuuttujan arvo eli ympäristöspesifinen viitearvo. Poikkeamat standardisoitiin Z-arvoiksi (SD) soveltamalla yhtälöä $Z_i = (x_i - \bar{x}) / s$. Siinä Z_i kuvaa veden *ympäristövakioitua tilaa* tietyn indikaattorimuuttujan osalta, x_i on havainnon poikkeama absoluuttisella skaalalla, \bar{x} on kaikkien poikkeamien keskiarvo absoluuttisella skaalalla, ja s on kaikkien poikkeamien keskihajonta absoluuttisella skaalalla.

Vesinäytteiden laboratorioanalyysien perusteella luotiin alustavat empiiriset mallit esimerkiksi kokonaistypen (Kok-N), kokonaisfosforin (Kok-P), eloperäisen hiilen (TOC) ja liukoisen eloperäisen hiilen (DOC) pitoisuuksille. Empiirisissä malleissa em. muuttujat toimivat vastemuuttujina ja läpivirtausjärjestelmällä mitatut muuttujat selittävinä muuttujina. Soveltamalla mallifunktioita koko läpivirtausmittausaineistoon kunkin vastemuuttujan arvot voidaan ekstrapoloida kaikkiin läpivirtausmittauksiin katettuihin havaintopisteisiin.

3.1.5 Toteutusaikataulu

Coastrider-ympäristökartoitukset toteutettiin vuosien 2021 ja 2022 avovesikausien aikana, keskimäärin noin kuukauden välein toisistaan. Kukin kartoitus suoritettiin viiden perättäisen päivän sisällä. Kumpanakin mittausvuonna kerätty, huolellisesti synkronoitu, validoitu ja kalibroitu aineisto taulukoitiin välittömästi kunkin kartoituskerran jälkeen. Aineisto sisältää mittausarvoiltaan tarkan, resoluutioltaan yksityiskohtaisen, kattavuudeltaan laajan sekä otokseltaan edustavan kuvauksen vesiympäristön fysikaalisten olosuhteiden, veden laadun sekä vedestä ilmakehään vapautuvien kasvihuonekaasujen alueellisesta ja ajallisesta vaihtelusta tutkimusalueella.

Tutkimusalueen ympäristötyyppien objektiivinen tunnistaminen ja luokittelu fysikaalisten muuttujien vuodenaikaisdynamiikan perusteella toteutettiin välittömästi, kun kaikki hankkeen kartoitusaineisto oli taulukoituna. Kaikki aineistot käsiteltiin ja liitettiin aiempiin samalla menetelmällä kerättyihin aineistoihin ennen lopullisten tilastoanalyysien aloittamista. Aiemmat aineistot ovat Pro Litore ry:n omaisuutta, ja niiden käyttöoikeudesta on sovittu erikseen. Indikaattorimuuttujien spesifisten viitearvojen määrittäminen tilastollisin sekamallein toteutettiin rinnan ympäristötyypin luokittelun kanssa. Samaa aikataulua noudatettiin myös Indikaattorimuuttujien arvojen ja kullekin arvolle spesifisen viitearvon välisen poikkeaman määrittämiseen tähtäävien analyysien suhteen.

3.2.1 Valuma-alueaineistojen koostaminen ja työstäminen

Valuma-alueiden pinnanmuotojen, maaperän ja maankäytön vesistö- ja ilmastovaikutusten arvioinnissa sovellettiin yleistä maaperän häviämisyhtälöä eli USLE-yhtälöä (Universal Soil Loss Equation). Sen avulla voidaan määrittää maalta vesistöihin päätyvän hajakuormituksen (ml. suoravalumien) valumariski (P) käyttämällä selittävinä muuttujina eli syöttökerroksina valuma-alueiden maaperän koostumukseen (K), pinnanmuotoihin (S), virtausuomiin ja makean veden altaisuuteen (W) sekä maankäyttöön (U) lukeutuvia ominaisuuksia. Kullekin syöttökerrokselle sovellettiin Länsi-Uudenmaan valuma-alueita ominaisuuksiltaan eniten muistuttavilla alueilla empiirisesti määritettyjä, valmiita kertoimia (Sivertun 2003). Maankäytön suhteen luotettavasti määritetyt kertoimet rajoittuvat kuitenkin maatalouteen ja siitä peräisin olevaan fosfori- ja kiintoaineskuormitukseen. Tästä johtuen esimerkiksi metsätalouden vesistövaikutuksista ei saada USLE-mallin perusteella todenmukaista käsitystä.

Aineistojen koostaminen aloitettiin keväällä 2022 ja saatiin päätökseen saman vuoden alkusyksynä. Lopulliset analyysit valmistuivat syksyllä, heti viimeisten Coastrider-kartoitusten toteuttamisen jälkeen. Yhdistämällä valumariskiä koskevat arviot vesien kuormittuneisuutta kuvaavaan Coastrider-aineistoon erityisesti maankäytön vesistö- ja ilmastovaikutuksista voidaan muodostaa aiempaa huomattavasti tarkempi käsitys.

4. Yhteistyö ja sidosryhmätyöskentely

Hankkeen hallinnointiorganisaationa toimi Hangon kaupungin ympäristönsuojeluosasto. Muihin osallistuviin organisaatioihin kuuluu tutkimuslaitoksia, viranomaistahoja, kansalaisjärjestöjä sekä muita ympäristöhankkeita. Lisäksi hankkeella on laajakirjoinen ohjausryhmä. Tutkimuslaitoksia edustaa pääsääntöisesti useampi osasto tai ryhmä.

4.1 Tutkimuslaitokset

Tutkimuslaitoksista hankkeen keskeisimpiä yhteistyökumppaneita ovat olleet Helsingin yliopisto, Turun yliopisto, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (Saksa), Örebro Universitet (Ruotsi), Suomen ympäristökeskus, Yrkeshögskolan Novia ja Geologian tutkimuskeskus. Monialainen yhteistyö useiden tutkimuslaitosten kanssa on ollut hankkeelle keskeisen tärkeää, koska kaikki hankkeen ympäristöhallinnolliset sovellukset perustuvat tarkasti validoituun, tutkittuun tietoon.

4.2 Viranomaistahot

Viranomaistahoista keskeisimpiä yhteistyökumppaneita ovat Länsi-Uudenmaan kuntien eli Hangon, Raaseporin, Inkon, Siuntion ja Kirkkonummen lisäksi olleet Uudenmaan ELY-keskus, Suomen ympäristökeskus sekä Metsähallitus. Koska viranomaistahot kuuluvat ensisijaisesti hankkeen kohderyhmään ja hyödynsaajiin, **eri viranomaistahojen näkemyksistä ja toivomuksista ympäristöhallinnollisesti tärkeiden tuotosten suhteen on keskusteltu aktiivisesti koko hankkeen ajan.** Lisäksi viranomaistahoista Metsähallitus on toteuttanut hankealueella konkreettisia vesiensuojelutoimenpiteitä kuten meriajokasistutuksia sekä kosteikkoja. **Hankkeen tuloksia on hyödynnetty erityisesti toimenpiteiden vaikuttavuuden sekä kohteiden ympäristöolosuhteiden soveltuvuuden arvioinnissa.**

4.3 Kansalaisjärjestöt

Hankkeelle keskeisimpiä yhteistyötahoja kansalaisjärjestöjen osalta ovat olleet Baltic Sea Action Group (BSAG), Pro Falköfjärden ry, Pro Litore ry ja WWF. **BSAG:lla on ollut tärkeä rooli hankkeen tulosten ja tuotosten jalkauttamisessa ja ilmiöittämisessä.** WWF on toteuttanut hankealueella konkreettisia vesiensuojelutoimenpiteitä eli meriajokasistutuksia sekä kosteikkoja. Hankkeen tuloksia on hyödynnetty vastaavasti kuin Metsähallituksen toteuttamien toimenpiteiden yhteydessä eli erityisesti niiden vaikuttavuuden sekä kohteiden ympäristöolosuhteiden soveltuvuuden arvioinnissa.

4.4 Muut ympäristöhankkeet

Muista ympäristöhankkeista HM3.1-hankkeen keskeisimpiä yhteistyökumppaneita ovat olleet Raaseporinjoki-kärkihanke, VELMU-, TARKKA- ja PINTA-palvelut sekä lukuisat eri tutkimuslaitosten tutkimushankkeet. Yhteistyön muoto on vaihdellut hankkeen luonteesta riippuen perustutkimuksesta toimenpiteiden kohdentamiseen ja niiden vaikuttavuuden seurantaan.

4.5 Ohjausryhmä

Hankkeen ohjausryhmä koostui yhteensä 11 jäsenestä, jotka edustavat hyvin laajaa yhteistyötahojen kirjoa:
Petter Bruncrona | Hallituksen puheenjohtaja, Vuorineuvoksetar Sophie von Julinin säätiö
Ann Grönblom | Hallituksen jäsen, Vuorineuvoksetar Sophie von Julinin säätiö
Herlin, Ilkka | FT, ympäristöasiantuntija, Baltic Sea Action Group
Kankaanrinta, Saara | Perustaja/hallituksen puheenjohtaja, Baltic Sea Action Group
Knuuttila, Seppo | Erikoistutkija, SYKE merikeskus
Limburg Stirum, Fredrik von | Ympäristöasiantuntija, Kosken tila
Munsterhjelm, Gustav | Ympäristöpäällikkö (emer.), Raaseporin kaupungin ympäristötoimisto
Mäntykoski, Antti | Johtava asiantuntija, Uudenmaan ELY-keskus
Reinikainen, Marko | Toiminnanjohtaja, Airclim (Ruotsi)
Takala, Jukka | Teknisen ja ympäristöviraston johtaja, Hangon kaupunki
Wahteristo, Ville | Ympäristönsuojelupäällikkö, Hangon kaupunki



5. Viestintä ja tiedottaminen

Hankkeen luonteen vuoksi sen tulosten tehokas jalkauttaminen on ensiarvoisen tärkeää. Tiivis ja suora yhteydenpito kunnallisten, alueellisten ja kansallisten ympäristöviranomaisten kanssa aloitettiin välittömästi hankkeen rahoituksen varmistuttua. Jo tätä edeltävästi suunnitelmista oli kuntien osalta keskusteltu Hangon (vastuuhenkilö: Ville Wahteristo), Raaseporin (Maria Eriksson), Inkoon (Elina Röman) ja Siuntion (Tiina Hartman) johtavien ympäristöviranomaisten kanssa. Alueellisista ja kansallisista viranomaisista mm. Uudenmaan ELY-keskus (Antti Mäntykoski) ja SYKE (Seppo Knuuttila) ovat olleet mukana esitettävän hankkeen taustatöissä. Hankkeen aikana siinä tuotetulle tiedolle on ilmennyt myös huomattavasti laajempaa kysyntää. Hankkeessa tuotettua tietoa ja osaamista ovat pyytäneet ja saaneet mm. Raaseporinjoki-hanke, WWF, Baltic Sea Action Group (ja erityisesti sen Carbon Action -ohjelma), Metsähallituksen luontopalvelut, SYKE:n Meri- ja Vesikeskukset, Natur och miljö rf, AirClim, Luonnonvarakeskus, Geologian tutkimuskeskus sekä useat koti- ja ulkomaiset yliopistot ja muut tutkimusyhteisöt. Vuorovaikutusta näiden tahojen kanssa on tarkoitus jatkaa tiiviisti hankkeen jälkeinkin.

Hanke on siis toiminut tiiviissä ja kattavassa yhteistyössä tutkimuslaitosten, viranomaisten, kansalaisjärjestöjen sekä muiden ympäristöhankkeiden kanssa muodostaen näiden tahojen välille eräänlaisen jalustan, jonka keskeisimpinä funktioina on ollut

- ympäristön tilaa, toimintaa ja palveluita koskevan informaation vaihto,
- ympäristöinformaation keräämisen, analysoinnin ja tulkitsemisen koordinointi sekä
- ympäristöinformaatiota koskevan viestinnän suunnittelu, toteuttaminen ja tehostaminen.

Viestintä on tapahtunut ensisijaisesti suoralla yhteydenpidolla (kymmenet kokoukset ym.) kunnallisten, alueellisten ja kansallisten viranomaisten sekä kansalaisjärjestöjen kanssa. Tärkeintä sisältöä on julkaistu myös kansantajuisessa muodossa mm. paikallisissa, alueellisissa ja valtakunnallisissa tiedotusvälineissä sekä hankkeen omistajan (www.prolitore.fi) ja sen kumppaneiden verkkosivuilla. Lisäksi hankkeen viestinnässä on tehty erityisen tiivistä yhteistyötä Baltic Sea Action Group -säätiön ja sen Carbon Action -ohjelman puitteissa.

Hankkeen akateemisesti mielenkiintoista sisältöä on julkaistu korkealuokkaisissa, vertaisarvioituissa, kansainvälisissä julkaisusarjoissa. Akateemiset julkaisut toimivat näin myös laadunvarmennuksena sekä menetelmien että tulosten vaikuttavuuden osalta. Hankkeen aikana sille relevanttia sisältöä on jalkautettu yhteensä kuudessa tieteellisessä julkaisussa. Tämä ei kuitenkaan ole edellyttänyt erityisen paljon hankkeen henkilöstöresurssien käyttöä, koska suurta osaa näistä julkaisuista oli työstetty jo ennen hankkeen aloittamista sekä hankkeen aikana myös muilla resursseilla eli hankkeen yhteistyökumppaneiden avulla. Vuoden 2022 aikana hankkeen oma henkilöstö on ollut mukana seuraavissa tieteellisissä julkaisuissa.

- 1) Gunko R, Rapeli L, Vuorisalo T, Scheinin M, Karell P. Does water quality matter for life quality? A study of the impact of water quality on well-being in a coastal community. *Environ. Manage.* 70: 464–474.
- 2) Olofsson M, Almén A-K, Jaatinen K, Scheinin M. 2022. Temporal escape – adaptation to eutrophication by *Skeletonema marinoi*. *FEMS Microb. Lett.* fnac011.
- 3) Asmala E, Virtasalo J, Scheinin M, Newton S, Jilbert T. 2022. Role of particle dynamics in processing of terrestrial nitrogen and phosphorus in the estuarine mixing zone. *Limnol. Oceanogr.* 67, 1-12. <https://doi.org/10.1002/lno.11961>
- 4) Gunko R, Rapeli L, Vuorisalo T, Scheinin M, Karell P. 2022. How accurate is citizen science? Evaluating the public's assessments of coastal water quality. *Environ. Policy Gov.* 1-9. <https://doi.org/10.1002/eet.1975>
- 5) Asmala E, Scheinin M. Persistent hot spots of CO₂ and CH₄ emissions in coastal nearshore environments. *Limnol. Oceanogr.* [vertaisarvioitavana].
- 6) Almén A-K, Engström-Öst J, Karell P, Lindén A, Scheinin M. A quantitative basis for context-sensitive trophic state assessment in sheltered coastal waters. *Front. Mar. Sci.* [vertaisarvioitavana].

Aihepiireiltään julkaisut ja käsikirjoitukset liittyvät laajemmin maalta mereen päätyvään eloperäiseen kuormitukseen ja sen vesistöllisiin, ilmastollisiin ja sosio-ekonomisiin vaikutuksiin. Tämän lisäksi hankkeen

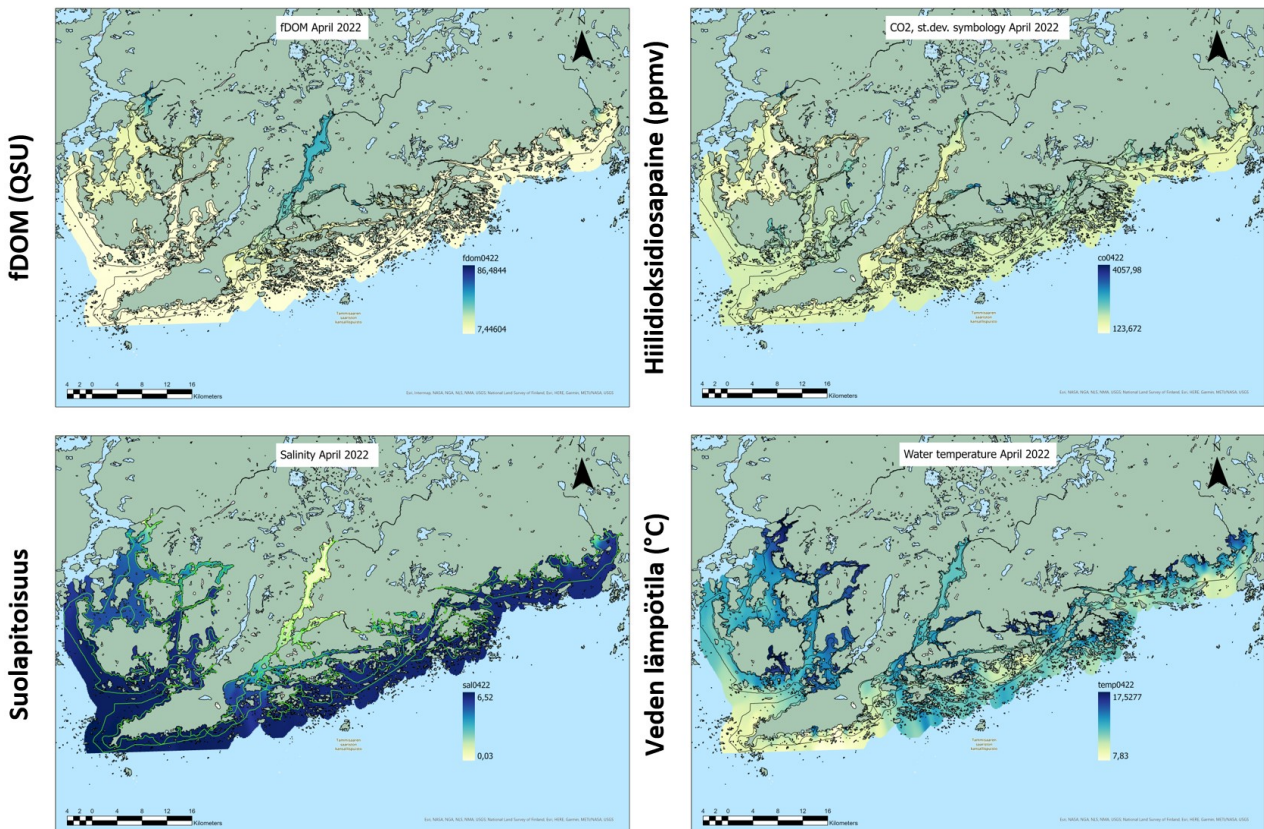
tuloksia ja suunnitelmia on esitelty muun muassa kahdessa kansainvälisessä webinaarissa eli Carbon Action -jalustan *Science Webinar* -tilaisuudessa sekä ruotsalaisen AirClim-järjestön tilaisuudessa *The Ocean Acidification Conference 2021*. Carbon Action Science Webinarista on tarjolla videotallenne osoitteessa <https://www.youtube.com/watch?v=z8KY4BMe8Pk>. HM3.1-osuus alkaa kohdasta 1:31:00 ja loppuu kohdassa 1:59:00. Uusimpia tuloksia esiteltiin lisäksi Kuopiossa 3.-4.11.2022 järjestetyssä kansainvälisessä 2nd International Conference for Sustainable Resource Society -konferenssissa.

6. Hankkeen tuotokset

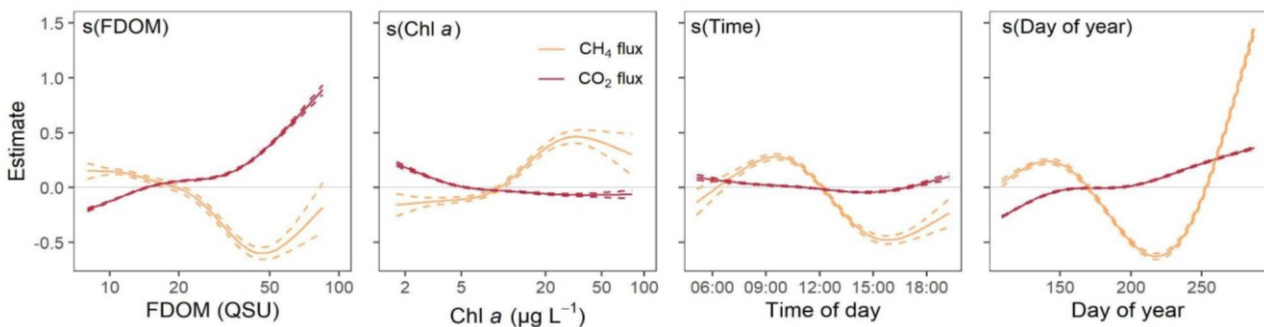
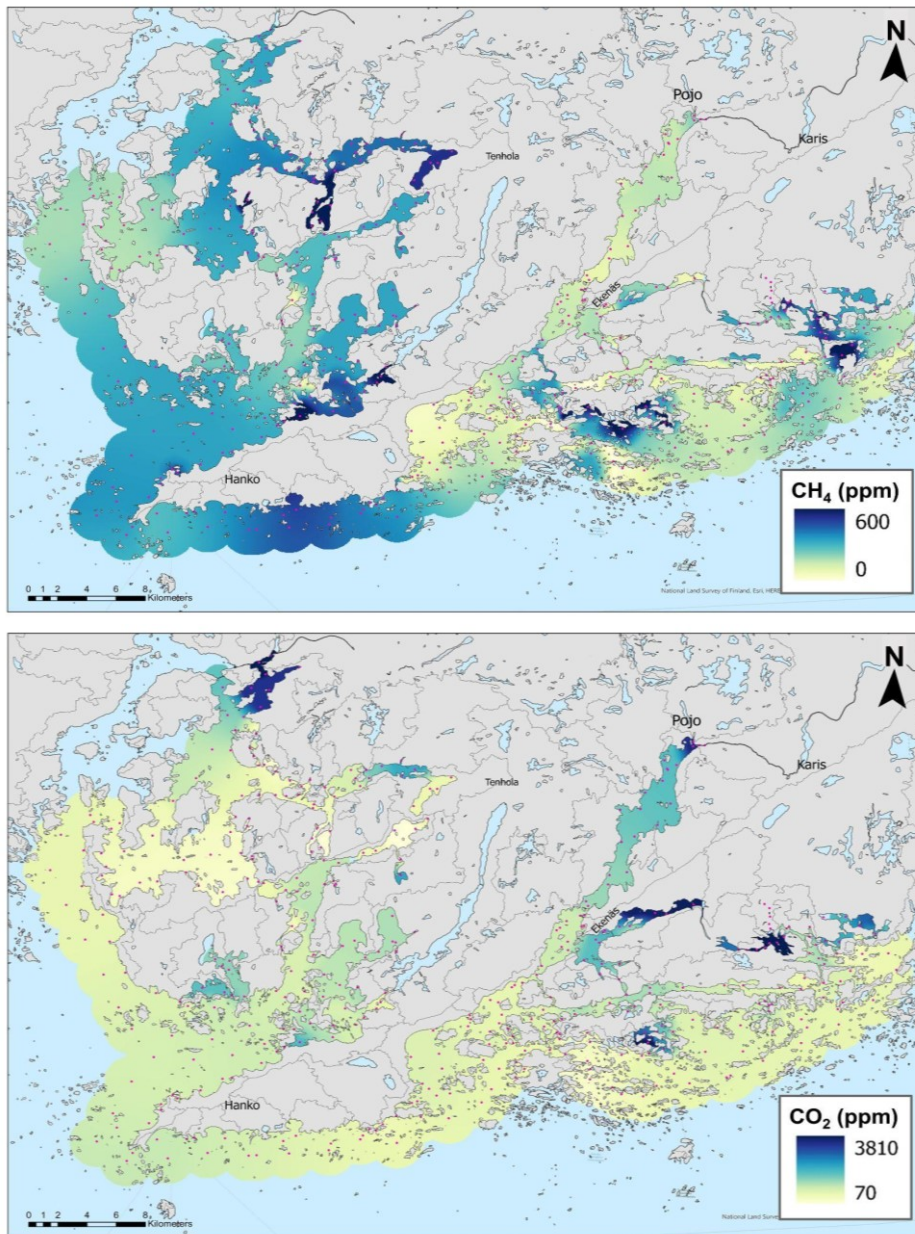
Hankkeessa syntyvät tuotokset jaetaan kolmeen kategoriaan (1-3), ja ne koskevat koko hankealuetta.

6.1 Deskriptiiviset tuotokset

- 1.1 Mittausarvoiltaan tarkka, resoluutioltaan yksityiskohtainen, kattavuudeltaan laaja sekä otokseltaan edustava kuvaus vesiympäristön fysikaalisten olosuhteiden ja vedenlaatuindikaattoreiden arvojen alueellisesta ja ajallisesta vaihtelusta (Kuva 3).
- 1.2 Mittausarvoiltaan tarkka, resoluutioltaan yksityiskohtainen, kattavuudeltaan laaja sekä otokseltaan edustava kuvaus rannikkovesistä ilmakehään vapautuvien kasvihuonekaasujen alueellisesta ja ajallisesta vaihtelusta sekä sitä selittävästä muuttujista (Kuva 4).
- 1.3 Tutkimusalueen ympäristötyyppien objektiivinen tunnistaminen ja luokittelu fysikaalisten muuttujien vuodenaikadynamiikan perusteella siten, että ympäristötyyppejä kuvaavan tekijän luokat ilmentävät niiden välisiä eroja pääosin vesien vaihtuvuudessa ja sekoittuvuudessa sekä kohteen sijainnissa sisä- ja ulkosaariston välisellä jatkumolla (Kuva 5).
- 1.4 Valuma-alueiden pinnanmuotojen, maaperän, maankäytön ja uomaverkoston kuvaus (Kuva 6).



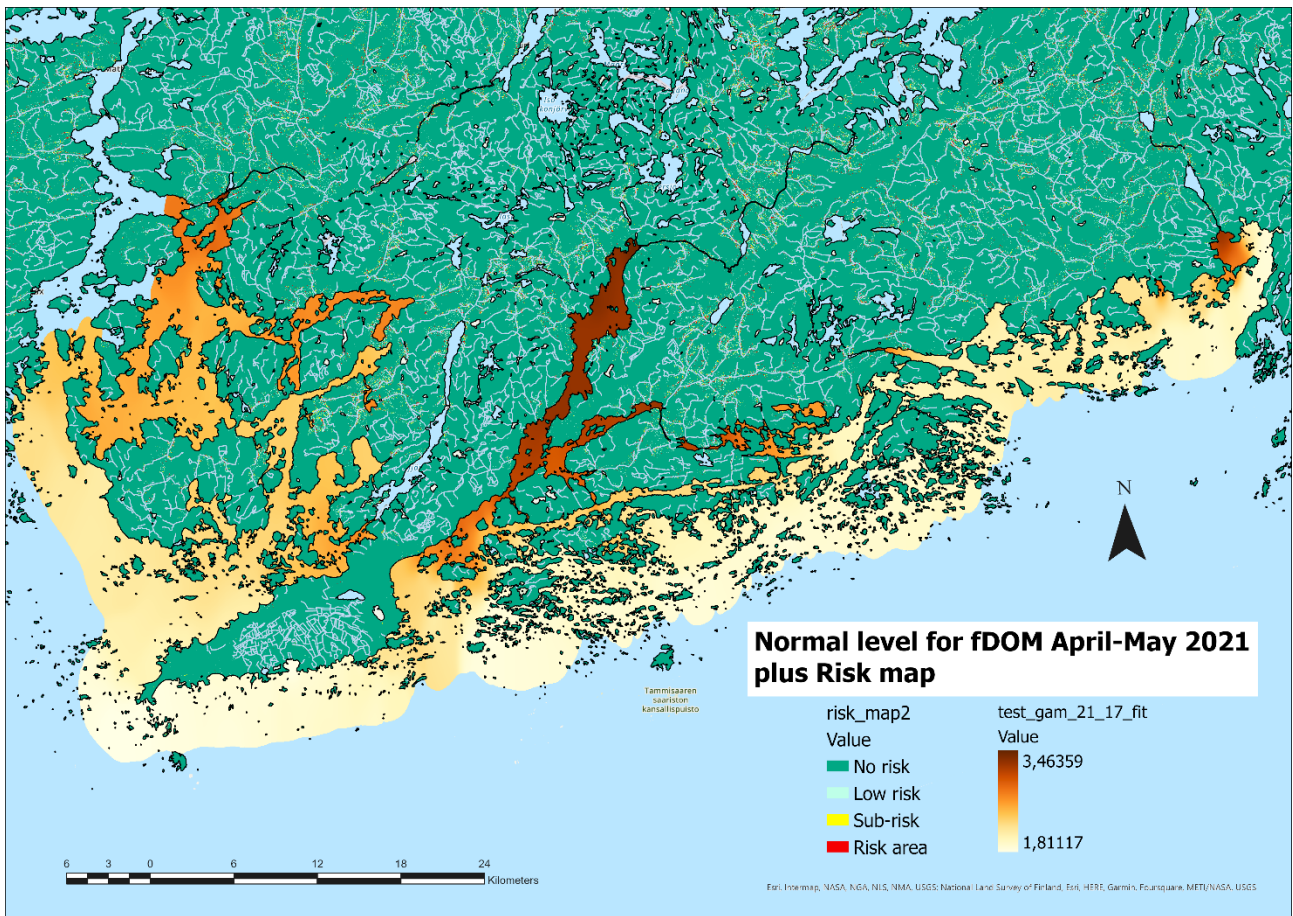
Kuva 3. Coastrider-järjestelmällä Länsi-Uudenmaan rannikkovesistä on mitattu mm. liukoisen, eloperäisen aineksen (fDOM) pitoisuuksia, hiilidioksidin osapainetta sekä suolaisuutta ja lämpötilaa. Esimerkkikuvat ovat peräisin vuoden 2022 keväältä.



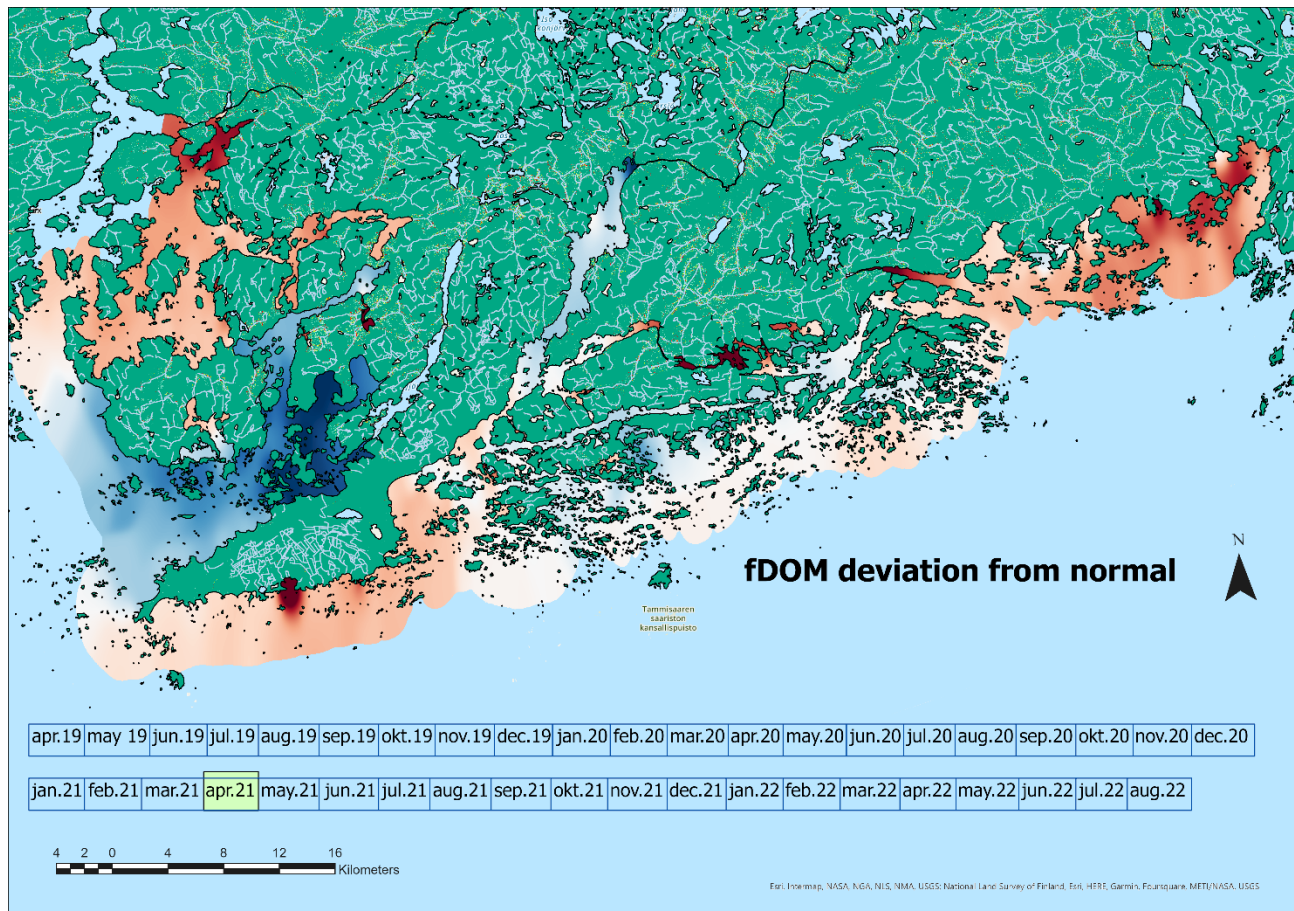
Kuva 4. Metaanin ja hiilidioksidin osapaine (ppmv) Hangon ja Raaseporin rannikon pintavesissä (0,5 m) huhtikuussa 2020 (yläpaneelit) sekä kummankin kaasuvuon suhde alloktioniseen (fDOM) ja autoktoniseen (Chl a) kuormitukseen sekä vuorokauden- ja vuodenaikohin (alarivi). Näistä aiemmista tuloksista selviää, että vuorokaudenajalla on kasvihuonekaasujen päästöihin vain pieni merkitys, kun taas vuodenaikalla suuri merkitys; päästöt ovat korkeimmillaan syksyllä. Maalta tuleva hiilikuormitus kasvattaa merkittävästi hiilidioksidin päästöjä rannikkovesistä, kun taas rehevöitymisen seurauksena syntyvä kasviplanktonbiomassa kasvattaa metaanipäästöjä. Lähde: Asmala & Scheinin (käsikirjoitus, Limnology & Oceanography).

6.2 Analyttiset tuotokset

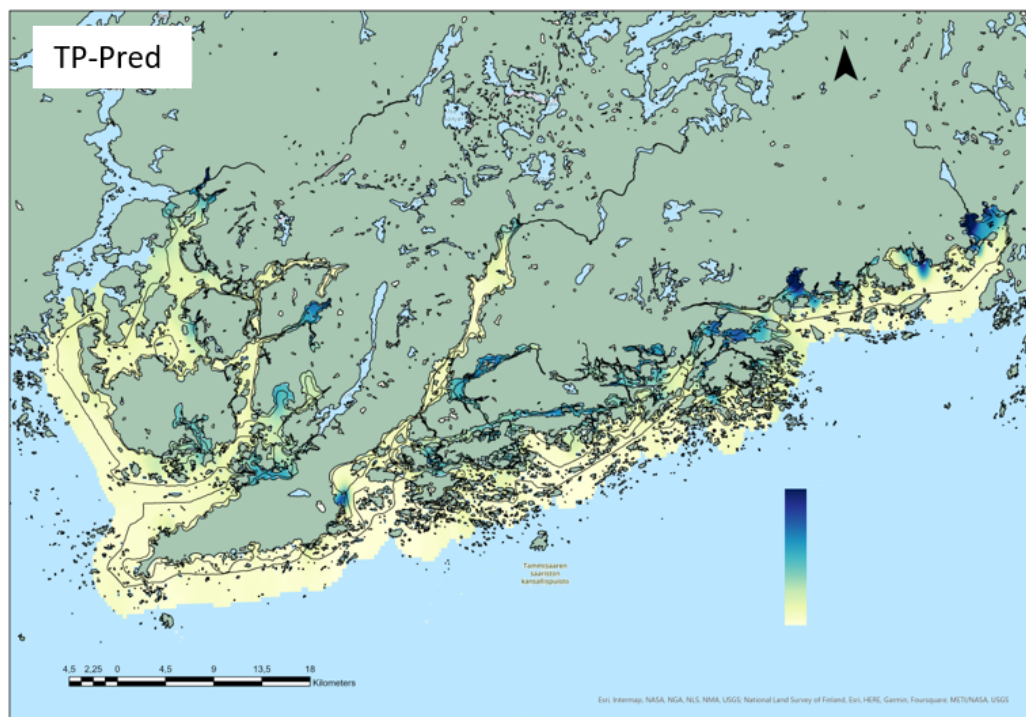
- 2.1 Kunkin indikaattorimuuttujan spesifisten viitearvojen määrittäminen tilastollisin sekamallein, joissa indikaattorimuuttujien arvot ovat vastemuuttujia, vallitsevat fysikaaliset olosuhteet ja mittausajankohta ovat selittäviä muuttujia, ja ympäristötyyppi on selittävä tekijä (Kuva 7).
- 2.2 Indikaattorimuuttujien arvojen ja kullekin arvolle spesifisen viitearvon välisen poikkeaman määrittäminen sekä sen ilmaiseminen standardoidussa muodossa eli keskihajontayksiköin (Kuva 8).
- 2.3 Läpivirtausjärjestelmällä mitattuihin ja vesinäytteistä analysoituihin muuttujiin perustuvien empiiristen mallien määrittäminen sekä niiden tulosten ekstrapolointi kaikkiin läpivirtausjärjestelmällä katettuihin mittauspisteisiin ja -ajankohtiin (Kuva 9).
- 2.4 Maatalouden fosfori- ja kiintoainesvalumariskialueiden seikkaperäinen määrittäminen koko Länsi-Uudenmaan valuma-alueella soveltaen yleistä maaperän häviämisyhtälöä (Kuva 10).



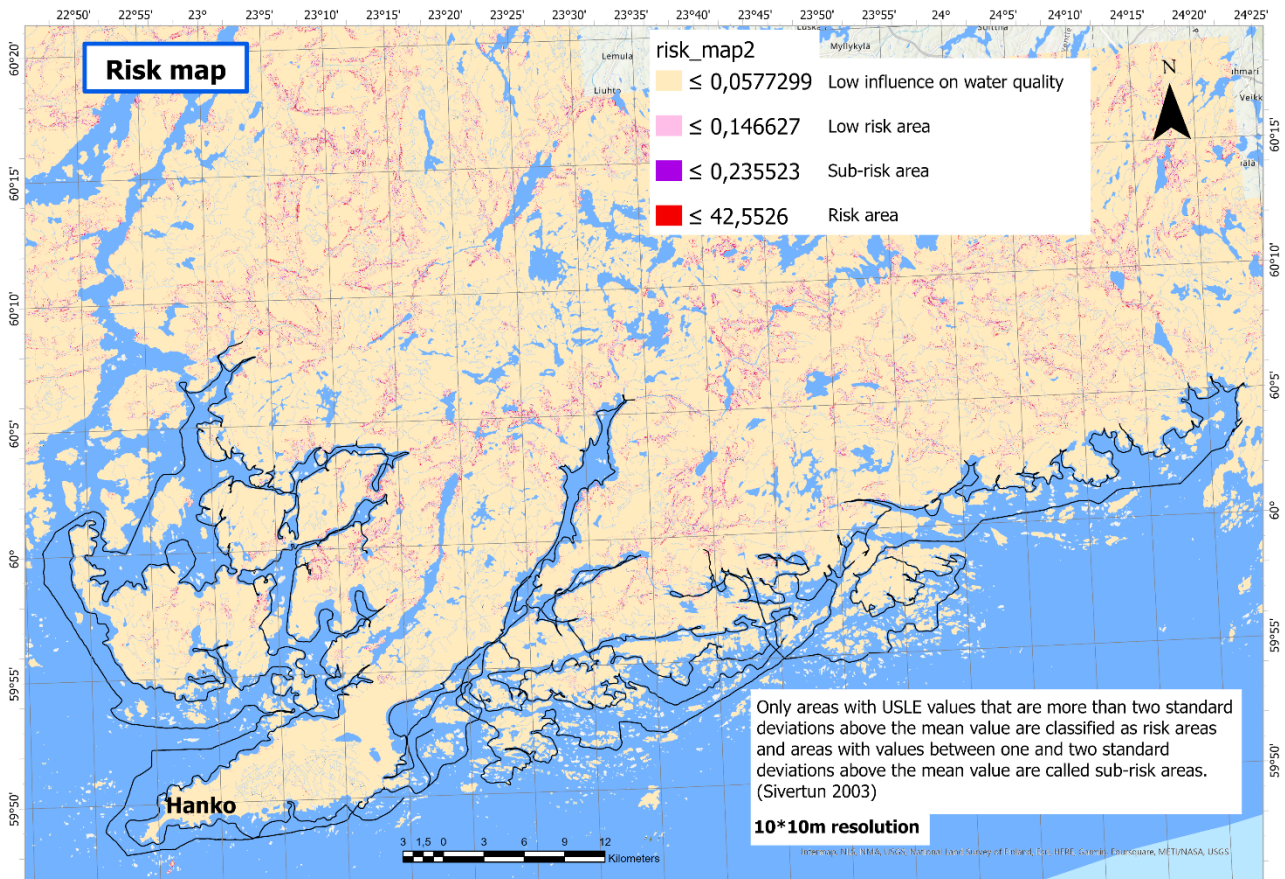
Kuva 7. Kuormitusindikaattoreista esimerkiksi liukoisen eloperäisen aineksen (fDOM) pitoisuudelle (QSU) voidaan Coastrider-aineistojen perusteella määrittää paikka- ja aikaspesifit viitearvot. Viitearvot eli normaalitaso määritettiin yleistettävien additiivisten mallien (GAM) avulla, jossa bootstrapping-tekniikalla 100 kertaa toistetusti otetuista, uniikeista satunnaisotoksista (n = 5 000) analysotiin kyseisen indikaattorimuuttujan arvojen vaihtelua suhteessa vallitseviin ympäristöolosuhteisiin. Esimerkiksi liukoisen eloperäisen aineksen pitoisuuksien normaalitasoa määritettäessä parsimonisimman tilastomallin selittävinä muuttujina käytettiin veden suolapitoisuutta ja lämpötilaa sekä vuodenaikaa. Mittausvuosi otettiin mallissa huomioon selittävä tekijänä eli kategorisena muuttujana. Mallin (selitysaste eli $R^2 = 0,93$) ennustamat liukoisen eloperäisen aineksen pitoisuudet on muunnettu todellisten arvojen luonnollisten logaritmien (ln) mukaiselle skaalalle.



Kuva 8. Esimerkiksi liukoisen eloperäisen aineksen (fDOM) pitoisuudelle (QSU) voidaan määrittää positiiviset (punainen) ja negatiiviset (sininen) poikkeamat (SD) paikka- ja aikaspesifeistä viitearvoistaan (ks. kuva 7).



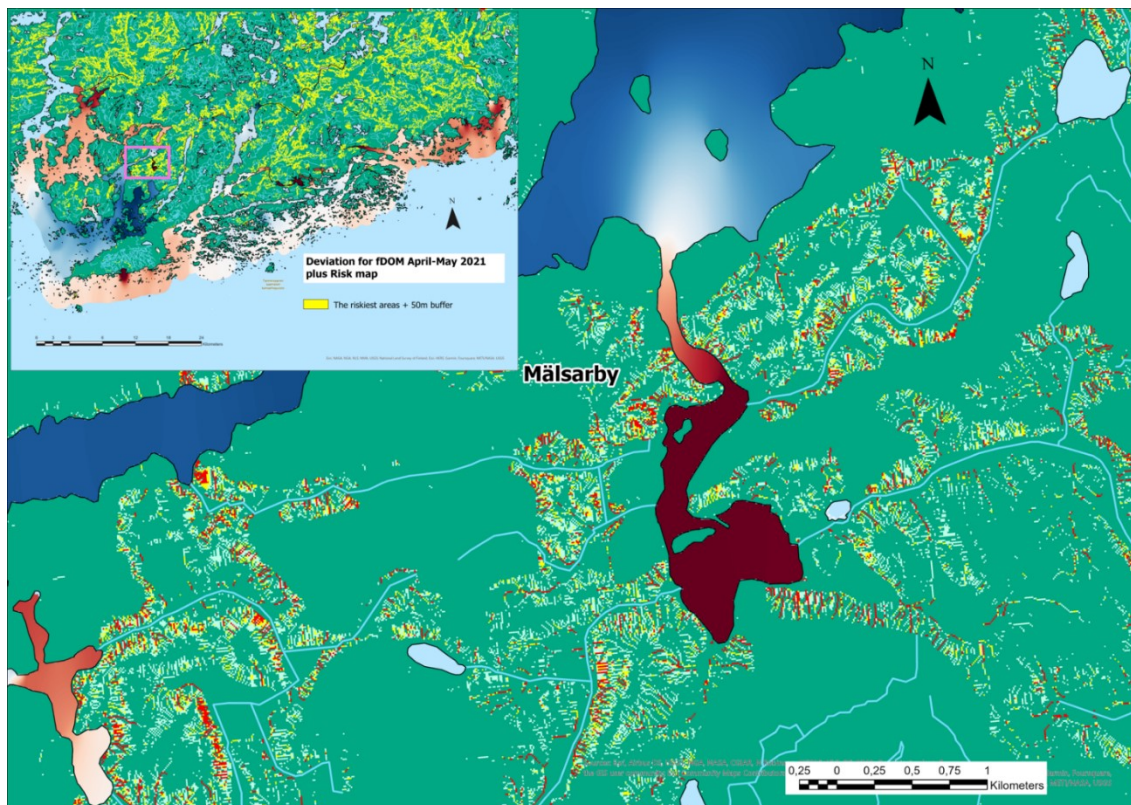
Kuva 9. Vesinäytteistä analysoiduille muuttujille kuten kokonaisfosforipitoisuudelle ($\mu\text{g/l}$) voidaan luoda empiiriset mallit ja ekstrapoloida tulokset kaikkiin läpivirtausjärjestelmällä katettuihin havaintopisteisiin.



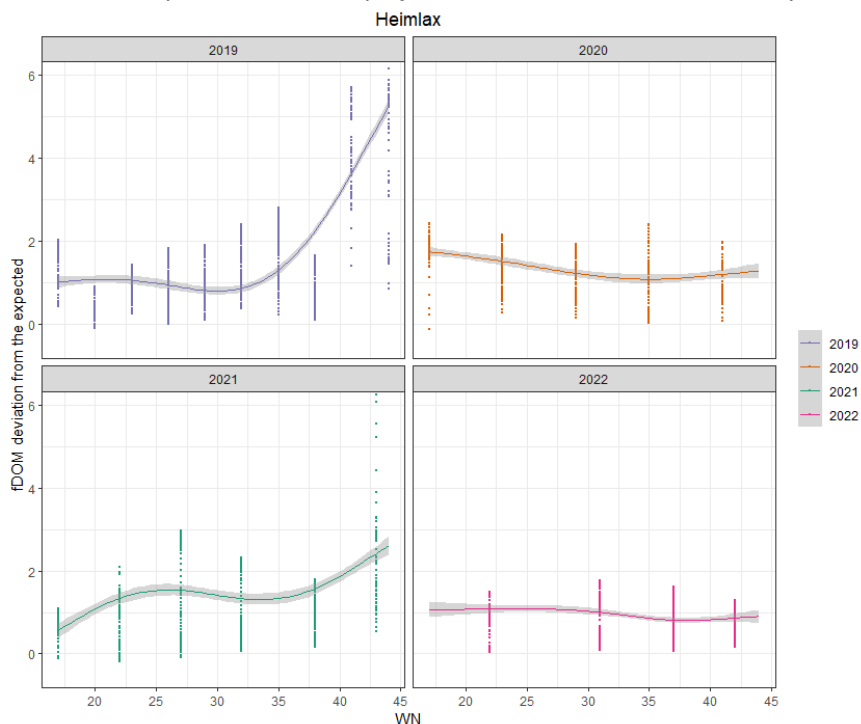
Kuva 10. Maataloudesta syntyvien fosfori- ja kiintoainesvalumien riskialueet määritettiin soveltamalla yleistä maaperän häviämisyhtälöä eli USLE-yhtälöä (Universal Soil Loss Equation). Sen avulla voidaan määrittää maalta vesistöihin päätyvän hajakuormituksen (ml. suoravalumien) valumariski (P) käyttämällä selittävinä muuttujina eli syöttökerroksina valuma-alueiden maaperän koostumukseen (K), pinnanmuotoihin (S), virtausuomiin ja makean veden altaisiin (W) sekä maankäyttöön (U) lukeutuvia ominaisuuksia. Kullekin syöttökerrokselle sovellettiin Länsi-Uudenmaan valuma-alueita ominaisuuksiltaan eniten muistuttavilla alueilla empiirisesti määritettyjä, valmiita kertoimia (Sivertun 2003). Huomattavan riskialttiit alueet on merkitty karttaan punaisella, melko riskialttiit alueet violetilla ja kohtalaisen riskialttiit alueet vaaleanpunaisella. Alueet, joita ei arvioida maatalouden valumariskialueiksi on merkitty keltaisella. Tulkinnaassa on tärkeää ottaa huomioon, että muille maankäyttömuodoille kuin maataloudelle ei ole määritetty luotettavia kertoimia.

6.3 Ympäristöhallinnolliset tuotokset

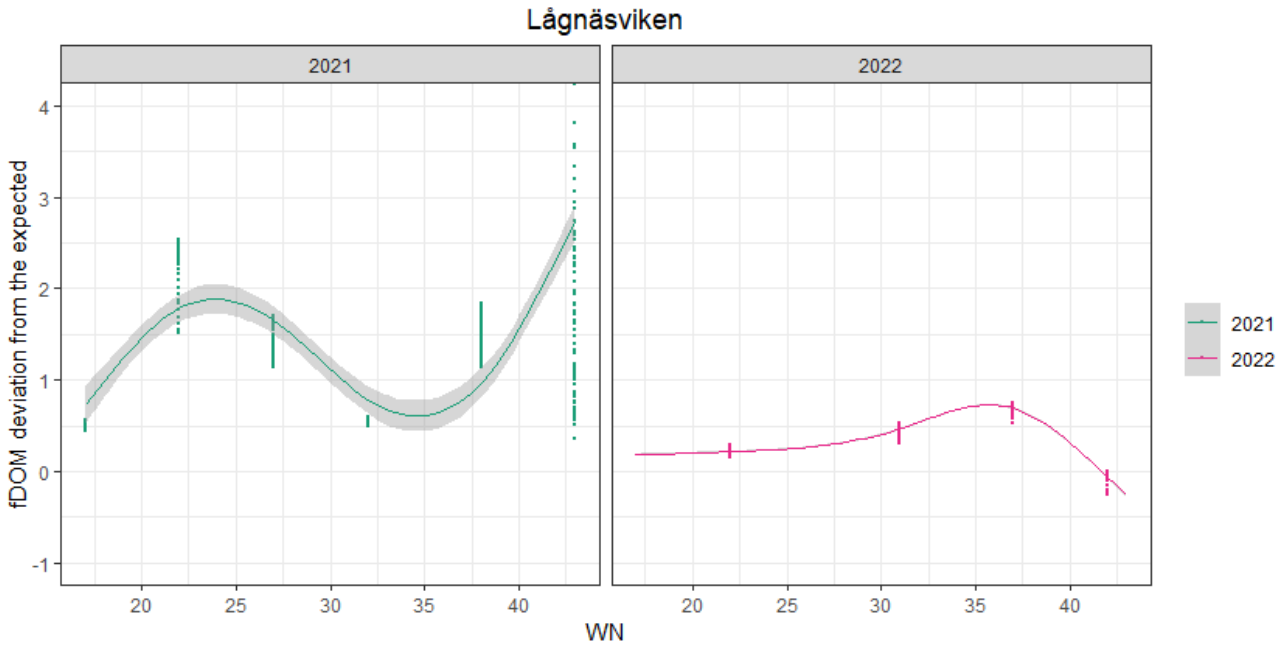
- 3.1 Keskeisimpien kuormituslähteiden tunnistaminen veden laadun poikkeamia kuvaavien gradienttien sekä valumariskianalyysien perusteella (Kuva 11).
- 3.2 Suositus hankkeen tulosten ottamisesta huomioon vesienhallinta- ja hoitotoimenpiteiden kohdentamisessa ja suunnittelussa (Kuva 12).
- 3.3 Suositus hankkeen tulosten ottamisesta huomioon vesienhallinta- ja hoitotoimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa (Kuva 13).
- 3.4 Arvio Coastrider-toimintamallin soveltuvuudesta em. käyttötarkoituksiin ja mahdollisten jatkokehitystarpeiden määrittäminen.



Kuva 11. Keskeisimmät kuormituslähteet voidaan tunnistaa veden laadun negatiivisia poikkeamia kuvaavien gradienttien sekä valumariskianalyysien perusteella. Esimerkiksi Heimlaxviken Raaseporissa poikkeaa vedenlaadultaan huomattavasti ympäristöolosuhteidensa perusteella määritetystä normaalitasosta. Lahtea ympäröivillä valuma-alueilla on poikkeuksellisen paljon valumariskialueiksi määritettyä maatalousalaa.



Kuva 12. Liukoisen eloperäisen aineksen pitoisuuden poikkeama normaalista ($SD \pm CI$) Heimlaxvikenissä (Kuva 11) vuosien 2019–22 avovesikausien (viikot 15–45) aikana. Veden laatu on poikkeuksetta merkittävästi oletustasoaan huonompi. Ympäröiville valuma-alueille tulisi kohdistaa vesienhallintatoimenpiteitä. WWF on yhteistyössä HM3.1-hankkeen kanssa suunnitellut perustavansa alueelle laajamittaisia kosteikkoja.



Kuva 13. WWF on RANKKU-hankeessaan perustanut Inkoon Westerbyn ja Grotaksen valuma-alueille kaksi perättäistä kosteikkoa ja kaksi perättäistä laskeutusallasta maaliskuussa 2022. HM3.1-hankkeen alustavien tulosten perusteella veden laatu vastaanottavassa Lågnäsvikenin fladassa on kohentunut toimenpiteiden jälkeen tilastollisesti merkitsevästi. Fladassa veden laatua kartoitettiin mittaamalla mm. liukoisen eloperäisen aineksen (fDOM) pitoisuutta (QSU) kuutena kertana toimenpiteitä edeltävänä vuonna ja neljänä kertana toimenpiteiden toteutusvuonna (toteutuksen jälkeen). Kullakin kartoituskerralla (x-akselin viikot) mittausaineistoa kertyi noin sadasta havaintopisteestä. Ennen toimenpiteiden toteutusta liukoisen eloperäisen aineksen pitoisuudet poikkesivat (y-akselin SD-yksiköt) toistuvasti ympäristöolosuhteiden perusteella määritetystä normaalitasostaan. Toimenpiteiden jälkeen pitoisuudet lähentyivät em. normaalitasoa ja lokakuussa 2022 jopa alittivat sen. Havaitut muutokset eivät johdu vuosien välisistä eroista taustaosuhteissa kuten sadannassa ja vesien sekoittumisessa, koska nämä taustatekijät on otettu huomioon (eli vakioitu) liukoisen eloperäisen aineksen normaalitason määrittämisessä. Aineistoista ei myöskään erotu kosteikkojen ja laskeutusaltaiden perustamista tyypillisesti pian seuraavaa, tilapäistä kohoumaa liukoisen eloperäisen aineksen (suhteellisissa) pitoisuuksissa.

7. Hankkeen tulokset

Rannikkovesiin päätyvän ulkoisen hajakuormituksen aiheuttamia seurauksia pidetään tällä hetkellä merkittävimpänä Itämeren ekologisen tilan kohenemistä ehkäisevänä ongelmana. HavsmanuaLEN 3.1 -hankeessa tuotettu perusteellisesti validoitu tieto mahdollistaa **kuormituslähteiden yksityiskohtaisen paikantamisen**, niiden kuormitustason seikkaperäisen kvantifioinnin, kuormitusta ehkäisevien toimenpiteiden tehokkaan kohdentamisen ja toteuttamisen sekä toimenpiteiden välittömän vaikuttavuusseurannan. Pidemmällä aikavälillä hankkeessa luotu **toimintamalli** siis mahdollistaisi rannikkovesien vesienhallintatoimenpiteisiin käytössä olevien rajallisten taloudellisten resurssien optimaalisen käytön siten, että niistä on mahdollisimman suuria synergiahyötyjä myös maa- ja metsätalouden tuotantoedellytyksille ja ilmastolle.

Vaikuttavuuden arviointi on ollut erottamaton osa hanketta. Arvioimalla alueellisia ja ajallisia muutoksia rannikkoekosysteemin tilassa, toiminnassa ja palveluissa, on voitu arvioida myös hankkeen vaikuttavuutta ympäristön tilan kautta (esim. Kuva 13). Hankeajan loppumisen jälkeen valmiin toimintamallin käyttöä pyritään tämän takia jatkamaan muulla rahoituksella, jonka hankkimista yritetään maksimoida saamalla toimintamallille parhaan käyttökelpoisen käytännön asema. **Hankkeen lopullisiin hyödynsajiin voidaan laskea mm. rannikoiden asukkaat, ekosysteemipalveluiden kautta suoraan tai välillisesti elantonsa saavat tahot eli ennen muuta maa- ja metsätaloustuottajat sekä viime kädessä kaikki valtakunnan veronmaksajat.** Koska

rannikkovesien tila vaikuttaa koko Itämeren tilaan, edellä mainitut vaikutukset ovat teoriassa havaittavissa myös muissa Itämeren rantavaltioissa. Koska kuormitusta ehkäisevillä toimenpiteillä on myös positiivinen ilmastovaikutus, hankkeen lopulliset hyödynsaajat voidaan nähdä maailmanlaajuisessa mittakaavassa. Mitä laajemmin hankkeessa luotua toimintamallia päästään monistamaan ja soveltamaan, sitä suuremmiksi kansainvälisten, lopullisten hyödynsaajien joukko kasvaa, ja sitä kustannustehokkaampaa toiminta on.

Hankkeen välittömät hyödynsaajat ovat siihen osallistuvat tahot eli tutkimuslaitosten työntekijät, ympäristöviranomaiset, kansalaisjärjestöjen jäsenet sekä muiden ympäristöhankkeiden edustajat. Nämä ovat samalla myös hankkeen kohde- ja sidosryhmiä. Hankkeen tulokset onkin räätälöity ensisijaisesti näiden sidosryhmien konkreettisia tarpeita palveleviksi.

8. Hankkeen innovatiivisuus, monistettavuus, uutuusarvo ja hyöty

Hankkeessa luotu toimintamalli on perusteellisesti validoitu. Se on sekä luonteeltaan monistettava että käyttötarpeen mukaan skaalautuva. Toimintamalli soveltuu siis sellaisenaan valtakunnalliseen ja kansainväliseenkin käyttöön. Vastaavanlaisia hankkeita ei tiettävästi vielä ole käynnissä missään muualla koko maailmassa. Hankkeen innovatiivisuus perustuu saumattomaan tutkimusyhteisöjen ja viranomaisten väliseen yhteistyöhön, modernien ja monipuolisten menetelmien soveltamiseen sekä molempiin, edellä mainittuihin tekijöihin pohjautuvaan lähestymistapaan, jossa perusteellisesti validoitua, korkearesoluutioista ja kattavaa tietoa ympäristön tilasta ja toiminnasta voidaan ympäristön luontaiset olosuhteet huomioon ottamalla käyttää omana vertailuaineistonaan.

Hankkeessa luotua ja sovellettua toimintamallia voidaan sellaisenaan hyödyntää kaikenlaisissa rannikkoympäristöissä. Jatkokehittämismahdollisuudet ovat siinä mielessä lähes rajattomat, että hankkeessa käytettyyn läpivirtausmittausjärjestelmään voidaan lisätä suuri määrä uusia antureita esim. ympäristömyrkkujen ja muiden haitallisten aineiden mittaamiseen. Järjestelmään nyt kuuluvia sondeja ja antureita voi lisäksi soveltaa myös vertikaalitason ympäristövaihtelun kartoittamiseen hankkeessa käytettävässä tutkimusveneessä jo olevia lisävarusteita käyttämällä.

9. Toiminnan jatkuvuus

Hankkeessa tuotettu aineisto on tallessa Pro Litore ry:n tietokannassa sekä Hangon kaupungin palvelimella. Hankkeen jälkeen Pro Litore ry vastaa aineiston hallinnoinnista ja jakamisesta. Hankkeen toimintaa pyritään laajentamaan ja jatkamaan hakemalla sekä yksityistä rahoitusta että valtion avustuksia. Jatkossa toiminta tulee painottumaan entistä enemmän SYKE:n kanssa tehtävään yhteistyöhön. SYKE on paraikaa luomassa HM3.1-mallin mukaista kopiota Coastrider-mittausjärjestelmästä. **Tulevaisuudessa tullaan panostamaan erityisesti metsätalousvalumiin vesistö- ja ilmastovaikutusten selvittämiseen sekä yleisemmin maankäytön hiili- ja typpikuormituksen merkitykseen yhdessä SYKE:n mallintajien (mm. VEMALA ja FICOS) kanssa.**

10. Hankkeen rahoitus

Hankerahoitusta anottiin pääosin henkilöstökuluihin (aineiston keruu ja analysointi), materiaalikuluihin (välineistön ylläpito) sekä logistiikkaan (mm. veneen käyttökustannukset). Viestinnästä koituvat kulut olivat pieniä, sillä **viestintä sisältyi hankepäällikön ja yhteistyötahojen toimenkuvaan.** Yhteistyötahot myötävaikuttivat hankkeeseen myös osallistumalla ympäristön tilaa, toimintaa ja palveluita koskevan informaation keräämiseen, analysointiin ja tulkitsemiseen sekä ko. informaatiota koskevan viestinnän suunnitteluun, toteuttamiseen ja tehostamiseen. Pro Litore ry tarjosi tutkimusveneeseen kytketyn läpivirtauslaitteiston kaikkine antureineen hankkeen käyttöön niin sanottuun omakustannushintaan. Koko välineistö on hankinta-arvoltaan runsaan 100 000 euron arvoinen. Tätä ei kuitenkaan käytetty hankkeen omarahoitusosuutena.

Hankkeen talousarvioerittely koski alun perin ajanjaksoa 1.1.2021-31.12.2022, mutta hankkeen loppumisajankohdaksi määrittyi myöhemmin 15.11.2022. Tästä johtuen hankkeen kulurakennetta jouduttiin hieman tiivistämään. Hankkeen alkuperäisessä kustannuserittelyssä lähdettiin siitä, että tietyt momenttien ja

vuosien väliset siirrot olisivat mahdollisia. Tällaiset siirrot ovat olleet tarpeellisia erityisesti hankkeen loppuvaiheessa, jolloin siihen palkattiin kaksi assistenttia sen sijaan, että vastaavat työt olisi toteutettu ostopalveluina. Muutos hyväksyttiin ELY-keskuksen edustajilla hyvissä ajoin etukäteen. Muutos on myös todettu tulosten kannalta erittäin kannattavaksi. Vastaavaa työmäärää ei olisi voitu toteuttaa ostopalveluna siihen varatulla summalla. Hankkeen kokonaiskustannukset olivat 164 300 euroa. Tästä 82 150 euron omarahoitusosuus (50 %) katettiin Pro Litore ry:n kanssa toteutettavan yhteistyön kautta. Valtiolta haettiin vastaavansuuruista avustusta eli 82 150 euroa (50 %). **Lisäksi HM3.1-hankkeen taustahankkeeseen HM3 käytettiin 21 617,05 euroa.** Haettavalla avustuksella katettiin yksinomaan Coastrider-toimintamallin kehittämiseen, soveltamiseen ja jalkauttamiseen sisältyviä kuluja. Hanke onnistui niin hyvin, että siihen olisi kannattanut käyttää huomattavasti enemmänkin rahaa. Aiomme hakea vastaavanlaista rahoitusta jatkohankkeelle nyt vuoden 2022 marraskuun lopussa umpeutuvassa Vesienhallinta- ja hoitoaussa.

11. Hankkeen toteutus numeroina

KYSYMYKSET	Ikä
Kuinka monta maanomistajaa on ollut mukana hankkeessa? Myös maanvuokraajat lasketaan.	Välillisesti satoja tai tuhansia.
Kuinka monta uutta menetelmää hankkeessa pilotoitiin?	Kahta.
Kuinka monta valuma-aluekohtaista / osa-valuma-aluekohtaista suunnitelmaa hankkeessa on laadittu?	Yksi koko Länsi-Uudellemaalle.
Mikä on valuma-aluekohtaisten suunnitelmien laajuus (pinta-ala, ha)?	Noin 500 000.
Kuinka monta tilaisuutta hanke on järjestänyt? Tässä huomioidaan tilaisuudet, joissa on mukana hankkeen ulkopuolisia osallistujia.	Kymmeniä tapaamisia.
Kuinka monta osallistujaa on yhteensä ollut hankkeen järjestämissä tilaisuuksissa? Tässä huomioidaan tilaisuudet, joissa on mukana hankkeen ulkopuolisia osallistujia.	Yleensä noin 2-10.
Kuinka moneen muiden järjestämään tilaisuuteen hanke / hankkeen edustajat ovat osallistuneet. Tässä huomioidaan vesienhallinnan teemaan liittyvät tilaisuudet. Esim. webinaariesittelyt/ Webinaarien arvioitu kuulijamäärät.	Kymmeniä.
Kuinka monta viestintätuotetta hankkeessa on valmistunut? Viestintätuotteita ovat esimerkiksi tiedotteet/uutiset, blogit, videot, esitteet, podcastit, some, verkkosivut, lehtijutut yms.	Noin tusinan verran.
Kuinka monta asiantuntija-artikkelia hankkeessa on valmistunut?	Kuusi.

12. Toteutusvaiheen (itse)arviointi

12.1 Mitkä asiat saavutettiin hyvin? Mitkä huonommin?

Kaikki tavoitteet toteutuivat melko tarkasti suunnitelmien mukaan.

12.2 Mitkä olivat suurimpia yllätyksiä/odottamattomia asioita hankeaikana?

Polttoaineen hinnan kallistumisella oli jonkin verran merkitystä talousarvioon.

12.3 Toteutuiko ennakoituja riskejä ja miten niitä hallittiin? Entä ennakoimattomia riskejä?

Välinerikkoja ja sairastapauksia sattui hankkeen aikana, mutta ne hallittiin suunnitelmien mukaan.

12.4 Millaista osaamista syntyi hankkeen myötä? Millaista osaamista olisi tarvittu?

Eryteisesti paikatietoanalytiikkaan ja tilastomallintamiseen liittyvää osaamista. Kumpaakin olisi tarvittu lisää.

12.5 Valvonnan ja ohjauksen onnistuminen (ml. verkostoituminen?)

Verkostoituminen onnistui yli odotusten, ja ELY-keskuksen valvojat olivat kullannarvoisen tärkeitä.

12.6 Onko hankkeen tulosten ja saavutettujen hyötyjen jalkauttaminen, ylläpito ja jatkuvuus onnistunut?

Ainakin suunnitelmien mukaisesti. Näiden parissa tullaan jatkamaan erittäin aktiivisesti hankkeen jälkeinkin.

13. Raportissa käytetyt kirjallisuusviitteet

1. Asmala E, Carstensen J, Conley DJ, Slomp CP, Stadmark J, Voss M. 2017. Efficiency of the coastal filter: nitrogen and phosphorus removal in the Baltic Sea. *Limnology and Oceanography*. 62, 222–238.
2. Asmala E, Virtasalo J, Scheinin M, Newton S, Jilbert T. 2022. Role of particle dynamics in processing of terrestrial nitrogen and phosphorus in the estuarine mixing zone. *Limnology and Oceanography*. 67, 1-12.
3. Bernhardt SE, Blaszcak JR, Ficken CD, Fork ML, Kaiser KE, Seybold EC. 2017. Control points in ecosystems: Moving beyond the hot spot hot moment concept. *Ecosystems*. 20, 665–682.
4. Gunko R, Rapeli L, Vuorisalo T, Scheinin M, Karell P. 2022. How accurate is citizen science? Evaluating the public's assessments of coastal water quality. *Environmental Policy and Governance*. <https://doi.org/10.1002/eet.1975>
5. Linders, J, Willstrand Wranne A, Perivoliotis L, Gorringer P. 2017. Best practices for quality control of sensor based biochemical data. Version 1.3. [Deliverable 5.11].
6. McClain ME, Boyer EW, Dent CL, Gergel SE, Grimm NB, Groffman PM, Hart SC, Harvey JW, Johnston CA, Mayorga E, McDowell WH, Pinay G. 2003. Biogeochemical hot spots and hot moments at the interface of terrestrial and aquatic ecosystems. *Ecosystems*. 6, 301–12.
7. Scheinin M, Asmala E. 2020. Ubiquitous patchiness in chlorophyll a concentration in coastal archipelago of the Baltic Sea. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00563>
8. Sivertun Å. 2003. Non-point source critical area analysis in the Gisselö watershed using GIS. *Environmental Modelling and Software*. 18: 887-898.
9. Snyder L, Potter JD, McDowell WH. 2018. An evaluation of nitrate, fDOM, and turbidity sensors in New Hampshire streams. *Water Resources Research*. 54, 2466-2479.