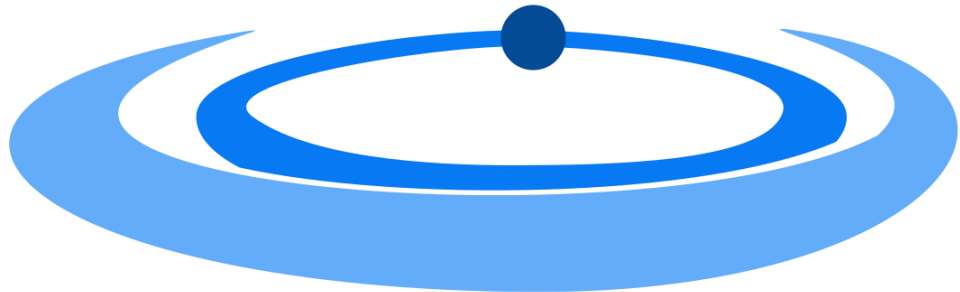


COASTRIDER-PILOTTIKARTOITUS NAANTALIN JA MASKUN RANNIKKOVESISSÄ 2022

Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista

Pro Litore ry

pro litore



Pro Litore ry, Raasepori 2022

Sisällys

0. Esipuhe	2
1. Tiivistelmä hankkeen toteutuksesta ja merkityksestä	3
2. Hankkeen lähtökohta ja tavoitteet	3
2.1. Rannikkovesiin kohdistuva kuormitus ja sen ympäristövaikutukset	3
2.2. Fysikaalisen ympäristön erityispiirteet Lounais-Suomen rannikkoalueilla	4
2.3. Coastrider-toimintamallin hyödyntäminen CR-NM-hankkeessa	5
2.4. Hankkeen perimmäiset tavoitteet	5
2.5. Coastrider-vedenlaatukartoitusten päätuotokset	6
3. Hankkeen toteutus	7
3.1. Vedenlaatumittaukset	7
3.1.1. Mittausaineiston kuvaus	7
3.1.2. Menetelmät ja aikataulu	8
3.1.3. Deskriptiivinen tiedonkäsittely	9
3.1.4. Analyttinen tiedonkäsittely	10
3.1.5. Työvaiheet	10
3.2. Valuma-alueaineistot	11
3.2.1. Valuma-alueaineistojen koostaminen ja työstäminen	11
4. Hankkeen tuotokset	11
4.1. Deskriptiiviset tuotokset	12
4.2. Analyttiset tuotokset	12
4.2.1. Fysikaalinen ympäristötyyppi (kuva 4, s. 13)	12
4.2.2. Valumariskialueet (kuva 5, s. 15)	12
4.2.3. Vedenlaadun indikaattorimuuttujien oletusarvot (kuvat 6-23, s. 15-32)	12
4.2.4. Vedenlaadun indikaattorimuuttujien poikkeamat (kuvat 6-23, s. 15-32)	12
4.3. Ympäristöhallinnolliset tuotokset	13
4.3.1. Vedenlaadultaan ongelmallisten vesialueiden tunnistaminen (kuva 24, s. 33)	13
4.3.2. Arvio Coastrider-toimintamallin soveltuvuudesta	13
5. Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset	34
5.1. Ympäristötyyppi ja keskeisimpien indikaattorimuuttujien oletustasot	34
5.2. Indikaattorimuuttujien poikkeamat oletustasostaan	34
5.3. Arvio aineiston keruun ja tulkinnan onnistumisesta	34
6. Vaikutukset ja hyödynsaajat sekä jatkokehitystarpeet	36
7. Raportissa käytetyt kirjallisuusviitteet	37

0. Esipuhe

Modernin sensoriteknologian ja tilastomallintamisen avulla ympäristön tilasta voidaan nykyään tuottaa kattavaa mittaustietoa sen resoluutiosta tinkimättä. Tämän ansiosta ympäristöä on mahdollista hallinnoida yhä enemmän todellista ympäristövaihtelua kuvaavan, tutkitun tiedon kuin yleisluontoisten arvioiden perusteella. Laajoja alueita kattava, korkearesoluutioinen tieto on yhtä monimuotoista kuin sen kuvaama ympäristökin. Lisäksi erityisesti vesiympäristö vaihtelee ennemmin katkeamattomina jatkumoina kuin selvärajaisina luokkina. Näin ollen tietoja ympäristön tilasta ei ole tarkoituksenmukaista esittää kirjallisina selontekoina lukemattomasta määrästä yksittäisiä ja rajoiltaan häilyviä ympäristökokonaisuuksia. Tässä raportissa ympäristön tilaa ja sen vaihtelua kuvataankin ensisijaisesti paikkatietoon perustuvien karttain. Niiden sisältö perustuu vedenlaadun objektiiviseen ja yhdenmukaiseen analyysiin, jossa rannikkoympäristön luontainen vaihtelu on otettu huomioon. Raportin kirjallisen osan pääasiallinen tarkoitus on tarjota lukijalle avaimet visuaalisten aineistojen tulkintaan, jotta niitä voitaisiin hyödyntää mahdollisimman räätälöidysti ja itsenäisesti ympäristöhallinnon vaihtelevien käyttötarpeiden ja kysymyksenasettelujen mukaan.

Hankkeen nimi: CR-NM (6.5.2022-20.12.2022)

Hankkeen toteuttaja: Pro Litore ry

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

Internetsivut: www.prolitore.fi

1. Tiivistelmä hankkeen toteutuksesta ja merkityksestä

Hankkeessa sovellettiin vapaasti skaalautuvaa ja monistettavaa *Coastrider*-toimintamallia Naantalın pohjoisosien ja Maskun eteläosien rannikkovesien kuormittuneisuuden ja niitä ympäröivien valuma-alueiden ominaisuuksien välisten yhteyksien alustavaksi selvittämiseksi. Vesien kuormittuneisuudesta ja laajemmin ilmaistuna *veden laadusta* tuotettiin alueellisesti tarkkaa, kattavaa ja luotettavaa havaintoaineistoa käyttämällä liikkuvaa ja jatkuvatoimista automaattimittausjärjestelmää. Lisäksi hankkeessa koostettiin paikkatietoaineistoa rannikkovesiä ympäröivien valuma-alueiden keskeisimmistä hydrologisista ominaisuuksista. Kummankin aineiston yhdistelmää käytettiin ensisijaisesti maalta mereen päätyvien hiili-, ravinne- ja kiintoainevalumien alkuperän aiempaa huomattavasti tarkempaan paikantamiseen. Näin hankkeessa luotiin tutkittuun tietoon perustuvat *edellytykset* konkreettisille suosituksille hajakuormitusta ehkäisevien vesienhoito- ja hallintatoimenpiteiden kustannustehokkaaksi kohdentamiseksi sekä niiden (ja muiden ympäristömuutosten) vaikutusten seuraamiseksi. Koska kyseessä on pilottiluontoinen tutkimus, hankkeen tuloksia tulee tulkita *alustavina arvioina*.

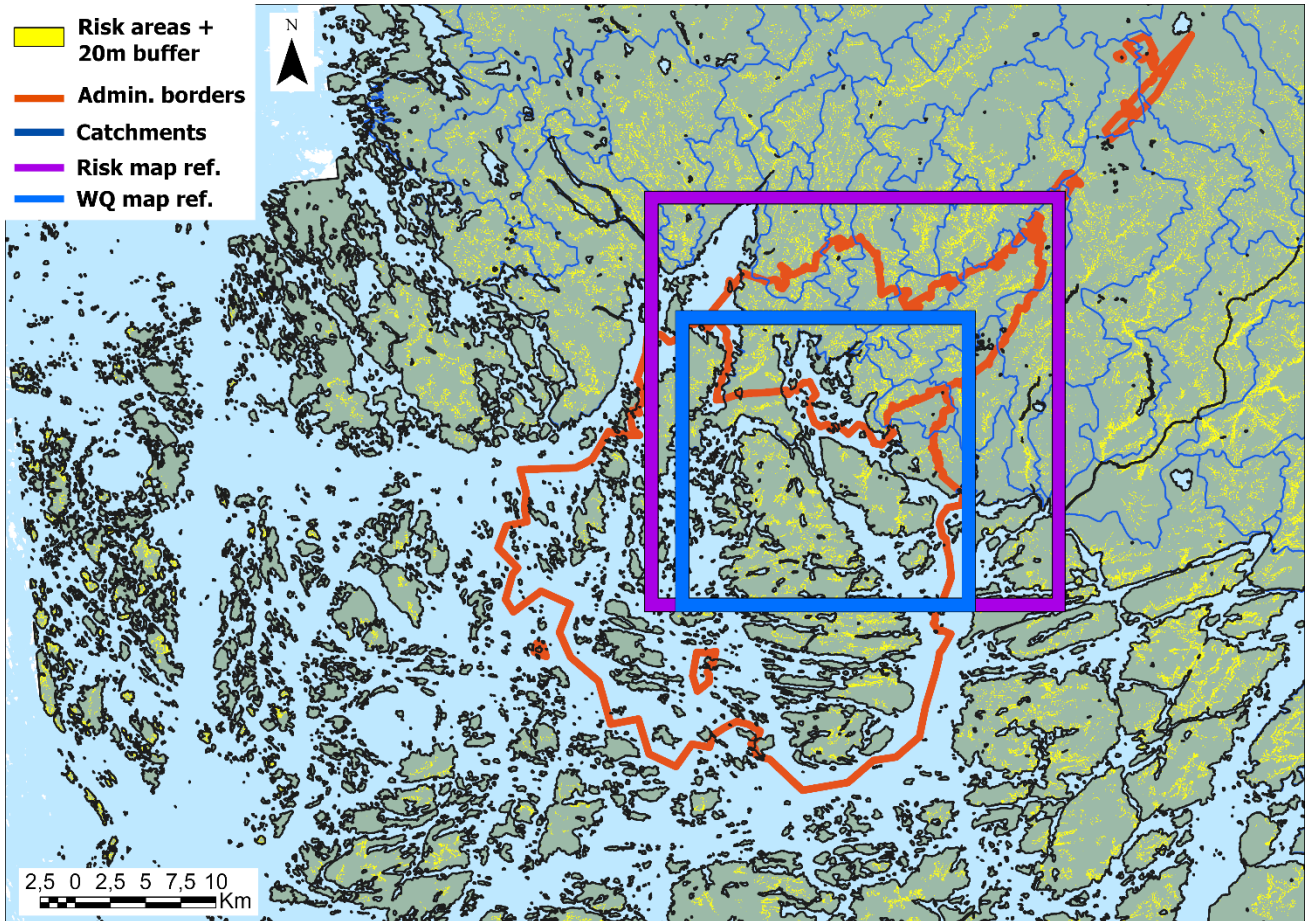
Hankkeessa tuotettujen taustatietojen avulla vesienhoito- ja hallintaratkaisuja voidaan keskittää entistä luotettavammin ja kustannustehokkaammin niiden vesistöille, ilmastolle sekä maankäytölle tuottamien synergiahyötyjen mukaan eli taloudelliset ja ympäristölliset arvot yhteensovittaen. Näiden päämäärien edistämiseksi edelleen *Coastrider*-toimintamallia tulisi soveltaa valuma-aluekohtaiseen suunnitteluun, toteutukseen ja seurantaan pidemmällä aikavälillä ja laajemmalla alueella. Käytännössä toimintamallia olisi jatkossa hyödyllistä käyttää kaikkien konkreettisia vesienhallinta- ja hoitotoimenpiteitä toteuttavien sekä ympäristön tilaan vaikuttavien toimien hallinnoivien tahojen eli muun muassa Varsinais-Suomen kuntien yhteisenä kohdentamis- ja vaikuttavuusseurantatyökaluna etukäteen synkronoidusti. Näin panostukset yksittäisiin hankkeisiin ja pienempiin kokonaisuuksiin ohjautuisivat systemaattisesti tehokkaampaan sidosryhmätyöskentelyyn ja vaikuttavampiin käytännön ympäristötoimenpiteisiin.

2. Hankkeen lähtökohta ja tavoitteet

CR-NM on Naantalın kaupungin ympäristötoimiston tilaama ja Pro Litore ry:n toteuttama pilottiluontoinen mutta lähestymistavaltaan kokonaisvaltainen vesienhallintahanke, joka kattaa Naantalın pohjoiset ja Maskun eteläiset rannikkovedet. Hankkeen pääpaino on *Coastrider*-toimintamallin mukaisissa vedenlaatukartoituksissa. Tarkastelussa kiinnitetään huomiota myös seudun rannikkovesiin suoraan vaikuttaviin valuma-alueisiin (kuva 1). Hankkeen tehtävänä on edistää rannikkoympäristön kestävä hallinnointia tuottamalla, soveltamalla ja jalkauttamalla tutkittua tietoa ennen kaikkea vesiympäristön tilan sekä maalta mereen päätyvän hiili-, ravinne- ja kiintoaineskuormituksen kartoittamiseksi. Rahoittajina olivat sekä Naantalın kaupunki (80 %) että Maskun kunta (20 %), perustuen vedenlaatuhavaintojen kattavuuteen.

2.1. Rannikkovesiin kohdistuva kuormitus ja sen ympäristövaikutukset

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 ilmacehystä heikentyvät. Vesistöissä kuormitus ilmentyy myös mm. *sameuden ja mikroleväbiomassan lisääntymisenä sekä tummumisenä, happamoitumisenä, hapen puutteena ja kohonneina hiilidioksidin ja metaanipitoisuuksina*. Koska nämä kasvihuonekaasut siirtyvät pintavesistä tehokkaasti ilmaan, valumien ilmastolliset vaikutukset ilmenevät ensisijaisesti *globaalina lämpenemisenä*. Vesistöön päädyttyään kuormittava aine muuntuu ja leviää nopeasti (Asmala ym. 2017 ja 2022). Sen vaikutukset ympäristön tilaan riippuvat myös erityisesti vastaanottavassa vesiympäristössä vallitsevista *fysikaalisista olosuhteista*.



Kuva 1. Coastrider-vedenlaatukartoituksissa selvitettiin Naantalın pohjoisosien ja Maskun eteläosien rannikkovesien (sininen neliö) kuormittuneisuutta. Tarkastelussa kiinnitetään huomiota myös niitä ympäröiviin valuma-alueisiin (violetti neliö). Naantalın ja Maskun kuntarajat on merkitty karttaan oranssilla. Valuma-alueiden rajat (tummansininen) on määritetty käyttämällä resoluutioltaan 10 metrin korkeusmallia.

Näin ollen kuormitusta on tarkoituksenmukaisinta tarkastella eri kuormitusmuotojen ympäristövaikutuksia kuvaavien tilaindikaattoreiden kautta. Hiili-, ravinne- ja kiintoainekuormituksesta kieliviä, keskeisimpiä ja konventionaalisimpia *indikaattoreita* ovat veden *sameus* sekä *liukoisen eloperäisen aineksen* ja *a-klorofyllin* pitoisuudet. Erityisesti hiilikuormituksen (tai laajemmin eloperäisen kuormituksen) osalta ympäristövaikutusten arvioinnissa on syytä mitata myös hiilidioksidin ja metaanin osapaineita sekä näiden kasvihuonekaasujen vapautumista ilmakehään. Lisäksi tarkastelussa on ensiarvoisen tärkeää ottaa huomioon, minkälaisissa ympäristöolosuhteissa indikaattoreiden arvoja mitataan. Koska hiili-, ravinne ja kiintoainekuormituksen syyt ja seuraukset ovat monelta osin toisiinsa sidoksissa, kukin kuormitusmuoto ilmenee usean eri indikaattorin kautta. Toisaalta mikään indikaattori ei ole sellaisenaan ominainen millekään yksittäiselle kuormitusmuodolle. Hankkeen keskeisimmät indikaattorit ja muut ympäristömuuttujat esitetään taulukossa 1. Raporttiin ei sisälly selontekoa näiden konventionaalisten vedenlaatumuuttujien sisällöllisestä olemuksesta, koska aihe kuuluu vesien tilan seurannan perusteisiin. Kustakin löytyy näin ollen myös useita ajankohtaisia ja kansantajuisia kuvauksia (esim. Anon. 2022).

2.2. Fysikaalisen ympäristön erityispiirteet Lounais-Suomen rannikkoalueilla

Erityisesti Suomen lounaisosien rannikoiden leimallisin piirre on topografisesta vaihtelusta johtuva ympäristön maantieteellinen pirstaleisuus. Pinnan yllä tämä ilmenee kukkulaisena maastona sekä saarten, niemiä ja kannasten muodostamana mosaiikkina, joissa vedenjakajat erottavat omiksi, pieniksi kokonaisuuksikseen pinnanmuodoiltaan, maaperältään ja maankäytöltään vaihtelevia alueita. Pinnan alla topografinen vaihtelu toistuu pohjanmuodoiltaan, malliltaan ja mittakaavaltaan erilaisina allasmuodostumina, joiden välillä veden

vaihtuminen on rajoittunutta. Sekä maalla että meressä vallitsevasta pirstaleisuudesta johtuen erityisesti sisä- ja välisaariston verrattain matalien vesialueiden tila on ensisijaisesti sidoksissa paikallisiin valumiin, joiden määrä vaihtelee merkittävästi myös vuodenaikojen myötä. Rannikon pienten, niin sanottujen välivaluma-alueiden arvioidaan olevan yhteisvaikutukseltaan huomattava hiili-, ravinne- ja kiintoainekuormituksen lähde niin rannikkovesien kuin koko Saaristomerenkin kannalta. Merkittävä osa valumien vesistö- ja ilmastovaikutuksista syntyykin vaikeasti ennustettavan hajakuormituksen seurauksena. Tämä hankaloittaa ympäristön tilan seurantaan sekä sitä parantavien toimenpiteiden kohdentamista. Tähän käyttötarkoitukseen luotujen hydrologisten mallien ja niihin perustuvien simulaatioiden soveltaminen rajoittuu nimittäin laajojen maa-alueiden yhteisvaikutuksiin – pääosin empiiristen tausta-aineistojen epätarkkuudesta johtuen. Perinteiset, vesinäytteisiin perustuvat arviot eivät vuorostaan ole alueelliselta ja ajalliselta kattavuudeltaan ja tarkkuudeltaan riittäviä, kun taas kaukokartoitusaineistojen keskeisimpiä rajoitteita ovat luotettavan aineiston puuttuminen matalista ja rannanläheisistä vesistä sekä menetelmien soveltumattomuus useiden, keskeisten ympäristömuuttujien mittaamiseen. Yksittäisten valuma-alueiden tasolla konkreettiset suositukset vesistökuormitusta ehkäisevien toimenpiteiden kohdentamiseksi ja seurannaksi edellyttävätkin

- 1) alueellisesti ja ajallisesti tarkkaa ja kattavaa *empiiristä* tietoa vesistöjen tilan indikaattoreista sekä
- 2) sen suhteuttamista fysikaalisten ympäristöolosuhteiden ja ajankohdan mukaisiin viitearvoihin.

Modernin sensoriteknologian ja mallinnusmenetelmien innovatiiviseen yhdistämiseen perustuvan Coastrider-toimintamallin tarkoitus on edistää ympäristön tilan seurantaan sekä sitä parantavien toimenpiteiden kohdentamista mahdollistamalla ympäristön tilan määrittäminen ja hajakuormituslähteiden paikantaminen aiempaa tarkemmin ja kattavammin sekä ennen kaikkea luotettavammin ja kustannustehokkaammin.

2.3. Coastrider-toimintamallin hyödyntäminen CR-NM-hankkeessa

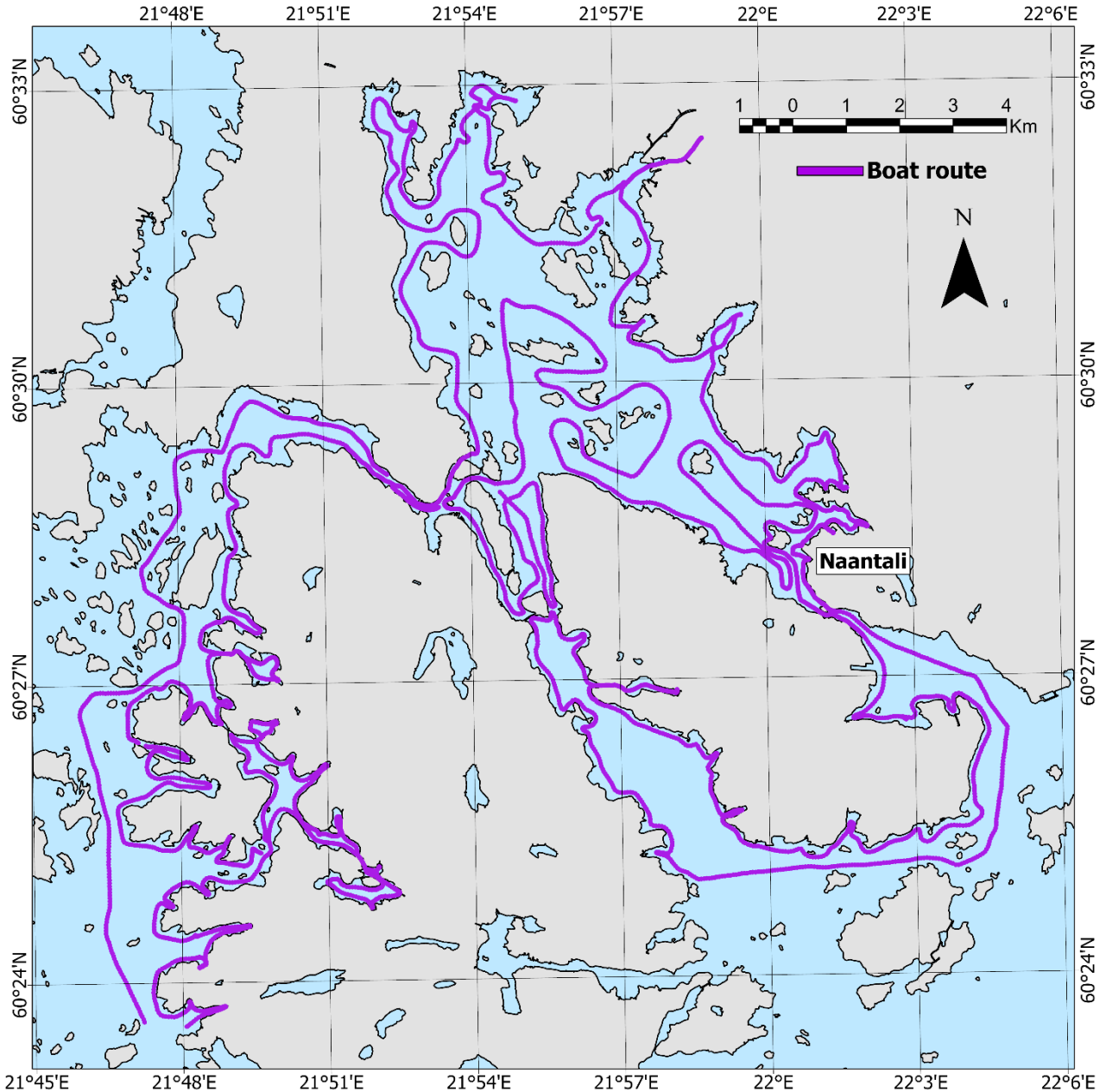
CR-NM-hankkeessa kerätty aineisto on alueellisesti ja ajallisesti erittäin kattavaa ja tarkkaa. Aineiston keräämisessä, käsittelyssä ja tulkinassa sovellettiin *Coastrider*-toimintamallia, jossa kullekin kuormitusmuodolle ominaisia indikaattoreita sekä fysikaalisia olosuhteita kuvaavia muuttujia rekisteröidään samanaikaisesti käyttämällä liikkuvaa ja jatkuvatoimista mittausjärjestelmää (eli käytännössä avoveneeseen kytkettyä läpivirtausjärjestelmää siihen liitettyine automaattisensoreineen). Naantalın ja Maskun vesiltä kerättyjen mittausaineistojen (ks. kuva 2) tilastoanalyysissä hyödynnettiin noin 600 000 havaintopisteestä koostuvaa tausta-aineistoa, joka kattaa Etelä-Suomen rannikkovesien ympäristövaihtelun useiden vuosien ajalta.

Ympäristöolosuhteiden ja indikaattoreiden rinnakkaisen mittaamisen ansiosta valituille indikaattoreille voidaan määrittää luontaisen ympäristövaihtelun saumattomasti kattavat, mittausympäristölle ja -olosuhteille ominaiset viitearvot sekä mittausarvojen poikkeamat niistä. Sekoittavien taustamuuttujien kuten *sadannan*, muiden *sääolosuhteiden* ja vesien *sekoittumisen* aiheuttamaa harhaa saadaan tällä tavoin vähennettyä oleellisesti, ja vesien kuormittuneisuutta voidaan arvioida käyttötarkoituksen mukaan valittavalla ajallisella ja paikallisella resoluutiolla. 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 kartoitusalueetta ei myöskään ole olemassa mitään aiempaa vedenlaatumittausaineistoa.

2.4. Hankkeen perimmäiset tavoitteet

Hankkeen perimmäinen tavoite on luoda tutkittuun tietoon perustuvat *edellytykset* konkreettisille suosituksille hajakuormitusta ehkäisevien vesienhallintatoimenpiteiden kustannustehokkaaksi kohdentamiseksi ja niiden sekä muiden ympäristömuutosten vesistö- ja ilmastovaikutusten myöhemmän seurannan mahdollistamiseksi. Tavoitteiden saavuttamiseksi hankkeessa

- 1) tuotettiin empiiristä mittausaineistoa tutkimusalueen rannikkovesien kuormittuneisuudesta,
- 2) koostettiin paikkatietoaineistoa lähivaluma-alueiden keskeisimmistä hydrologisista ominaisuuksista, ja täten luotiin edellytykset
- 3) vesien kuormittuneisuuden ja valuma-alueiden ominaisuuksien välisten yhteyksien jatkoarvioinnille.



Kuva 2. CR-NM-hankkeessa Naantalın ja Maskun rannikkovesien kuormittuneisuutta mitattiin vuoden 2022 avovesikauden aikana kolmeen kertaan 224 km pituiselta ja noin 7 000 havaintopistettä käsittävältä mittauslinjalta (violetti väri). Kartoitukset toteutettiin heti jäiden lähdettyä toukokuun alussa, keskellä kesää heinäkuun puolivälissä ja lokakuun lopussa ennen vesien jäätymistä uudelleen. Kukin kartoituskerta toteutettiin yhden päivän aikana.

2.5. Coastrider-vedenlaatukartoitusten päätuotokset

Coastrider-aineistot koostuvat sisältämänsä ainutlaatuisen, suoran mittausaineiston (eli ns. raakadatan) lisäksi neljästä tietosisällöllisestä tai analyttisestä päätuotoksesta, joilla rannikkovesiympäristöjä ja niissä ilmenevää vaihtelua voidaan kuvata ympäristöhallinnollisesti merkittäväällä, uudella tavalla. Coastrider-toimintamalliin keskeisenä elementtinä sisältyviä, jo vakiintuneita tilastoanalyysijä soveltamalla mittausaineistoja voidaan käyttää 1) *fysikaalisen vesiympäristötyypin*, 2) kuormitusindikaattoreiden arvojen paikka- ja aikaspesifin normaalitason eli *oletustason* ja 3) indikaattoreiden arvojen *poikkeamien* (em. oletustasosta) objektiiviseen määrittämiseen sekä 4) muiden (kuin järjestelmällä suoraan mitattujen) vedenlaatumuuttujien arvojen vaihtelua kuvaavien *empiiristen mallien* luomiseen. Koska CR-NM-hankkeessa

toteutettiin ainoastaan pilottiluontoinen kartoitus, tuotetut aineistot eivät riitä empiiristen mallien luomiseen. Näitä selvityksiä ei näin ollen myöskään ole tilattu osaksi hanketta. Suoran mittausaineiston lisäksi raportin tuloksien yhteydessä keskitytään siis kuvaamaan fysikaalista vesiympäristötyyppiä (1) vesien tilan normaali- eli oletustason (2) sekä vedenlaadun poikkeamien (3) vaihtelua. Empiiristen mallien luominen käydään kuitenkin menetelmänä pintapuolisesti läpi, koska nämäkin analyttiset päätuotokset voidaan toteuttaa hyödyntäen pilottihankkeessa kerättyjä aineistoja, mikäli vastaavanlaisia kartoituksia pystytään tulevaisuudessa jatkamaan.

Vesialueiden fysikaalisen ympäristötyypin (1) määrittämisessä hyödynnettiin pääkomponenttianalyysia (PCA). Määrittäminen perustui siihen, että kultakin havaintopisteeltä mitattu, usean vuodenajan kattava suolaisuuden ja lämpötilan *dynamiikka* heijastelee vahvasti mm. vesien vaihtuvuutta (*flushing*), sekoittuneisuutta ja syvyyttä sekä ympäristön sijaintia sisä- ja välisaariston välisellä jatkumolla. Kuormitusindikaattoreiden paikallisesti ja ajallisesti täsmällinen normaalitaso eli viitearvot (2) määritettiin yleistettävien additiivisten mallien (GAM) avulla, jossa bootstrapping-tekniikalla (600 kertaa) toistettavasti otetuista, uniikkeista satunnaisotoksista ($n = 1000$) analysoitiin kunkin indikaattorimuuttujan arvojen vaihtelua suhteessa vallitseviin ympäristöolosuhteisiin. Poikkeamat (3) näistä viitearvoista määritettiin 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 mitattavia suureita (esim. fDOM, sameus ja α -klorofylli).

Paikkatietoaineistot valuma-alueiden pinnanmuodoista, uomaverkostosta, maaperästä ja maankäytöstä on koostettu ajankohtaisimmista avoimista tietokannoista (mm. Corine). Niitä käytettiin syöttökerroksina laskettaessa yleistä maaperän häviämisyhtälöä (Universal Soil Loss Equation), jossa kullekin syöttökerrokselle sovellettiin relevanteimmasta kirjallisuudesta peräisin olevia kertoimia (Sivertun 2003). Yhtälön avulla Naantalin itäosien ja koko Maskun valuma-alueilta määritettiin valumariskialueet painottuen ensisijaisesti maatalouden vesistövaikutuksiin ja näistä erityisesti fosfori- ja kiintoaineskuormitukseen. Valumariskialueiden määrittämisen ensisijaisena tarkoituksena oli tukea Coastrider-vedenlaatuaineistojen tulkintaa.

3. Hankkeen toteutus

3.1. Vedenlaatumittaukset

3.1.1 Mittausaineiston kuvaus

Coastrider-ympäristökartoituksissa seurattiin veden laatua Rymättylän pohjoisosissa, Luonnonmaan ympärillä sekä koko Askaistenlahdella (kuva 2). Läpivirtausjärjestelmällä toteutettavien mittausten ohessa tutkimusalueelta kerättiin myös vesinäytteitä validointi- ja kalibrointitarkoituksiin sekä (omakustanteisesti) muiden kuin järjestelmän kattamien muuttujien analysoimiseksi. Kartoitusalue sijaitsee Saaristomeren sisäosissa, jossa vesien tila laajemmalla mittakaavassa vaihtelee ennen muuta sisä- ja välisaariston kattavan, mantereen ja avomeren välisen rannikkovesijatkumon myötä. Kartoituksissa mitattiin erityisesti mittausalueen vesien tilan vaihtelua suhteessa muuhun ympäristöönsä eli vallitseviin fysikaalisiin olosuhteisiin.

Vesien tilaa mitattiin

- läpivirtausjärjestelmän antureiden suoraan rekisteröimien indikaattorimuuttujien (esim. [fDOM]) ja
- suoraan rekisteröityjen muuttujien perusteella laskennallisesti määritettävien muuttujien (esim. [CH₄]).

Muuta vesiympäristöä kuvattiin

- läpivirtausjärjestelmän antureiden suoraan rekisteröimien fysikaalisten muuttujien (esim. johtokyky),
- näiden muuttujien perusteella laskennallisesti määritettävien muuttujien (esim. suolapitoisuus) ja

Mikäli vastaavanlaisia kartoituksia toteutetaan myös jatkossa, vesien tilaa ja ympäristöä voidaan kuvata myös

- empiirisiin mallifunktioihin, joissa läpivirtausjärjestelmällä suoraan rekisteröidyt muuttujat ovat selittäviä muuttujia ja vesinäytteistä analysoidut muuttujat vastemuuttujia (esim. [Tot-P]).

Hankkeen päätuotoksiin (ks. kohta 2.4.) johtavat tilastoanalyysit perustuivat siis em. mittausaineistoihin.

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) pitoisuutta, 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 hiilidioksidiosapainetta rekisteröivä CO2 Pro CV -anturi (Pro Oceanus Inc., Kanada) ja veden metaaniosapainetta rekisteröivä Mini CH4-anturi (Pro Oceanus Inc., Kanada). Veneen 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 putkiliitännöineen. Mittausanturien valinta, niiden väliset kytkennät ja hydraulisten viiveaikojen säätäminen (ks. alla) on tehty Pro Litore ry:n toimesta.

Läpivirtausjärjestelmällä pintavedestä (0,5 m) toteutettujen mittausten lisäksi kunakin kartoituskertana tutkimusalueelta kerättiin pintavesinäytteitä keskimäärin seitsemästä havaintopisteestä. Niiden tuloksia käytettiin automaattimittausaineiston kalibrointiin (α -klorofylli ja sameus) ja validointiin (johtokyky). Hankkeen ulkopuolisen rahoituksen mahdollistamissa puitteissa tuloksia voidaan jatkossa käyttää myös 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 tehtiin yhteensä kolme Coastrider-kartoitusta (kuva 2). Kartoitukset toteutettiin toukokuun alussa heti jäiden lähdettyä, keskellä kesää heinäkuun puolivälissä ja lokakuun lopussa ennen vesien jäätymistä. Tällä tavoin vuodenaikaisvaihtelua katettiin niin hyvin kuin kolmen kartoituskerran avulla on mahdollista. Kukin kartoituskerta toteutettiin yhden päivän aikana. Mittaukset tehtiin avoveneeseen (Brig N610) kytkettyyn läpivirtausjärjestelmään (kuva 3) 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 (keskimäärin 32 m) välein. Kultakin kartoituskerralta havainnoja kertyi noin 7 000 mittauspisteestä. Näin ollen koko hankkeen aikana mittaushavainnoja tuotettiin kokonaisuudessaan noin 21 000 pisteestä. Coastrider-kartoituksen havaintopisteiden sijainti ja frekvenssi räätälöitiin ensisijaisesti kohdealueen pinnan- ja mukaisella tarkkuudella ja kattavuudella – rahoituksen mahdollistamissa puitteissa. Vesien tilaa keskeisesti kuvaavien indikaattorimuuttujia mitattiin rinnakkain fyysikaalisia olosuhteita kuvaavien muuttujien kanssa siten, että kaikissa muuttujissa ilmenevä alueellinen vaihtelu katettiin sekä edustavasti että korkealla resoluutiolla. Mittausaineistoa kerättiin yhteensä 224 kilometrin mittaiselta linjastolta, joka kattaa edustavasti alueella vallitsevat, laajemmat ympäristögradientit sekä erilaisten ympäristötyyppien kirjon aina sisälahdistä välisaariston ulappavesille (kuva 2).

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 Snyderin ym. (2018) mukaisesti. Kaikissa analyyseissä ja muissa esityksissä käytettiin ainoastaan korjattuja fDOM-arvoja (fDOM[corr]), joiden yksikkönä on raaka-aineiston tapaan QSU (Quinone Sulphate Unit).



Kuva 3. Avoveneeseen asennettu läpivirtausjärjestelmä ja kartoituksissa käytetyt anturit. Mitattujen muuttujien lukumäärä on huomattavasti antureiden lukumäärää korkeampi, koska useat mittaustuottajat määritetään laskennallisesti muiden muuttujien perusteella. Vedenlaatuindikaattoreista tulosten tarkastelussa kiinnitetään huomiota erityisesti sameuteen, (fluoresoivaan) liukoiseen eloperäiseen ainekseen (fDOM) sekä α -klorofylliin.

Hiilidioksidin ja metaanin osapaineiden määrittämisessä otettiin huomioon antureiden ajautuminen eli ns. "drift" (Fietzek ym. 2014, Canning ym. 2021), veden lämpötilan muutokset läpivirtausjärjestelmässä (Takahashi ym. 1993, Gültzow ym. 2011), mahdolliset kalibraatioalueen ylitykset (Canning ym. 2021), hydrostaattisen paineen, virtausnopeuden ja lämpötilan vaikutukset antureiden vasteaikaan (Fiedler ym. 2013, Canning 2021) sekä antureiden vasteajan ja mittaustajuuuden välinen epäsuhta (Miloshevich ym. 2004). Kasvihuonekaasujen pitoisuusmäärittämisissä lähteinä olivat vastaavasti Weiss (1974) sekä Wiesenburg ja Guinasso (1979). 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 mittauservojen sekä mittausanomalioiden tarkastelusta (Linders ym. 2017).

3.1.3 Deskriptiivinen tiedonkäsittely

Kartoitusaineistot interpoloitiin ArcGIS-ohjelmalla soveltamalla *kernel diffusion* -menetelmää ja yhden meripeninkulman (1 852 m) interpolointitietäisyyttä. Menetelmän avulla maa-alueet kyettiin ottamaan huomioon mittauspisteiden välisten etäisyyksien määrittämisessä. Kultakin kartoituskerralta tuotettiin tällä tavoin interpoloituja karttoja suolapitoisuuden, lämpötilan, sameuden, liukoisen eloperäisen aineksen pitoisuuden, happisaturaation, α -klorofyllipitoisuuden, fykosyaniinipitoisuuden (sinileväpigmentti), happamuuden sekä hiilidioksidin osapaineen ja metaanin pitoisuuden osalta (ks. liitteet 1 ja 2). Metaanipitoisuudesta ei ole kartoitustuloksia heinäkuulta eikä hiilidioksidin osapaineesta lokakuulta. Nämä aineistot eivät läpäisseet kontrollirutiineja mittalaitteissa ilmenneiden, tilapäisten ongelmien takia.

3.1.4 Analyttinen tiedonkäsittely

Tutkimusalueen jakautuminen fysikaalisiin ympäristötyyppeihin määritettiin veden lämpötilan ja suolapitoisuuden vuodenaikaisdynamiikan perusteella. Ensin koko mittauslinja (kuva 2) jaettiin 6 400 havaintopisteeseen, jotka ovat verrattavissa kiinteisiin mittausasemiin. Kullekin pisteelle annettiin sitä kullakin kartoituskerralla lähimmäksi (mutta maksimissaan 50 metrin päähän) osuivien suolapitoisuus- ja lämpötilahavaintojen arvot. Koska hankeaikana mittausaineistoa kerättiin yhteensä kolmeen kertaan, kaikille pisteille voitiin näin luoda kolmesta aikapisteestä koostuva havintosarja kuvaamaan suolapitoisuuden ja lämpötilan vuodenaikaisdynamiikkaa. 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 kahden ensimmäisen akselin koordinaatein (ks. liite 3). Tällöin koordinaattipisteiden euklidiset etäisyydet toisistaan kuvaavat havaintopisteiden fysikaalisten ympäristöolosuhteiden eroavaisuutta (tai samankaltaisuutta). Käytännössä havaintopisteiden väliset erot ilmentävät niiden edustamien ympäristöjen välisiä eroja pääosin vesien vaihtuvuudessa ja sekoittuvuudessa sekä sijoittumisessa sisä- ja välisaariston väliselle jatkumolle.

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. Määrityksessä käytettiin koko hankeaineistosta (n. 21 000 havaintopistettä) sekä muilta Etelä-Suomen rannikolta kerätyistä Coastrider-aineistoista (n. 580 000 havaintopistettä) otettuja 1 000 pisteen uniikkeja satunnaisotoksia, jotka toistettiin 500 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 ympäristönsä (ks. liite 3).

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 keskihajontayksiköiksi (SD) soveltamalla kuhunkin yleistettävään additiiviseen malliin sisältyvää kokonaisepävarmuutta (ks. liite 3). Alueet, joilla havaitaan toistuvia vedenlaadun poikkeamia (eli oletustasoltaan korkeampia vedenlaatuindikaattoreiden arvoja) voidaan määrittää ns. hot spot -alueiksi (esim. McClain ym. 2003, Bernhardt ym. 2017).

Vesinäytteiden laboratorioanalyysien perusteella voidaan mahdollisissa jatkohankkeissa luoda 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 Työvaiheet

Hankkeen aikana tehtiin yhteensä kolme Coastrider-kartoitusta (kohta 3.1.2.). Niin sanottu raakadata synkronoitiin ja taulukoitiin välittömästi kunkin kartoituskerran jälkeen. Vesinäytteiden laboratorioanalyysit toteutettiin loka-marraskuussa 2022. Niiden avulla validoitu ja kalibroitu, lopullinen aineisto sisältää mittausarvoiltaan tarkan, resoluutioltaan yksityiskohtaisen, kattavuudeltaan laajan sekä otokseltaan edustavan kuvauksen vesiympäristön fysikaalisten olosuhteiden, veden laadun sekä pintaveden kasvihuonekaasuosapaineiden alueellisesta ja ajallisesta vaihtelusta tutkimusalueella. Kaasujen vapautumista ilmakehään tai sitoutumista ilmakehästä pintaveteen ei CR-NM-hankkeen puitteissa kvantifioitu. Tämä on kuitenkin kerätyn aineiston avulla mahdollista, mikäli tarvetta jatkossa ilmenee.

Tutkimusalueen ympäristötyyppien objektiivinen tunnistaminen ja luokittelu fysikaalisten muuttujien vuodenaikadynamiikan perusteella toteutettiin välittömästi, kun lopullinen kartoitusaineisto oli taulukoituna. Kaikki aineistot käsiteltiin ja liitettiin aiempiin samalla menetelmällä kerättyihin aineistoihin ennen lopullisten tilastoanalyysien aloittamista. Aiemmat aineistot eli *tausta-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. Valuma-alueaineistot

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 altaisiin (W) sekä maankäyttöön (U) lukeutuvia ominaisuuksia. Kullekin syöttökerrokselle sovellettiin Naantalın ja Maskun valuma-alueita ominaisuuksiltaan mahdollisimman paljon muistuttavilla alueilla empiirisesti määritettyjä, viitteellisiä ominaiskuormituskertoimia (Sivertun 2003). Haja-asutusalueilla maankäytön suhteen luotettavasti määritetyt kertoimet rajoittuvat kuitenkin maatalouteen ja siitä peräisin olevaan fosfori- ja kiintoainekuormitukseen. 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. Yhdistämällä valumariskiä koskevat arviot vesien kuormittuneisuutta kuvaavaan Coastrider-aineistoon erityisesti maankäytön vesistö- ja ilmastovaikutuksista voidaan muodostaa aiempaa huomattavasti tarkempi käsitys. Hankkeen puitteissa tämän käsityksen muodostaminen perustuu kuitenkin subjektiiviseen tulkintaan. Formaaliempi analyysi edellyttäisi empiiristä ominaiskuormituskertoimien määrittämistä, mikä ei CR-NM-hankkeen resurssien puitteissa ollut mahdollista (eikä siten myöskään sisältynyt hankesuunnitelmaan).

4. Hankkeen tuotokset

Hankkeessa syntyvät tuotokset jaetaan kolmeen kategoriaan. Deskriptiiviset aineistot (1) esitellään taulukon 1 lisäksi ainoastaan liitteissä. Raportti painottuu analyttisiin tuotoksiin (2) ja niiden soveltamiseen (3).

4.1 Deskriptiiviset tuotokset (taulukko 1 ja liitteet 1 ja 2)

- 1.1 Mittausarvoiltaan tarkka, resoluutioltaan yksityiskohtainen, kattavuudeltaan laaja sekä otokseltaan edustava kuvaus vesiympäristön fysikaalisten olosuhteiden ja vedenlaatuindikaattoreiden arvojen alueellisesta ja ajallisesta vaihtelusta (taulukko 1 sekä liitteet 1 ja 2) tutkimusalueella (kuva 3).
- 1.2 Kohdealueen (kuva 3) pinnanmuotojen, maaperän, maankäytön ja uomaverkostojen kuvaus (liite 2).

4.2 Analyttiset tuotokset (kuvat 4-23)

- 2.1 Kartoitetun vesialueen ympäristötyyppien objektiivinen määrittäminen fysikaalisten muuttujien vuodenaikadynamiikan perusteella heijastellen mm. vesien vaihtuvuutta ja sekoittuvuutta sekä ympäristön sijaintia sisä- ja välisaariston välisellä jatkumolla (kuva 4).
- 2.2 Fosfori- ja kiintoainevalumariskialueiden määrittäminen yleisellä maaperän häviämisyhtälöllä (kuva 5).
- 2.3 Kunkin indikaattorimuuttujan spesifisten viitearvojen määrittäminen tilastollisin mallein, joissa indikaattorimuuttujien arvot ovat vastemuuttujia ja vallitsevat fysikaaliset olosuhteet ja mittausajankohta selittäviä muuttujia (kuvat 6-).
- 2.4 Indikaattorimuuttujien arvojen ja kullekin arvolle spesifisen viitearvon välisen poikkeaman määrittäminen sekä sen ilmaiseminen standardoidussa muodossa eli keskihajontayksiköin (kuvat 6-).

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalın ja Maskun rannikkovesissä 2022

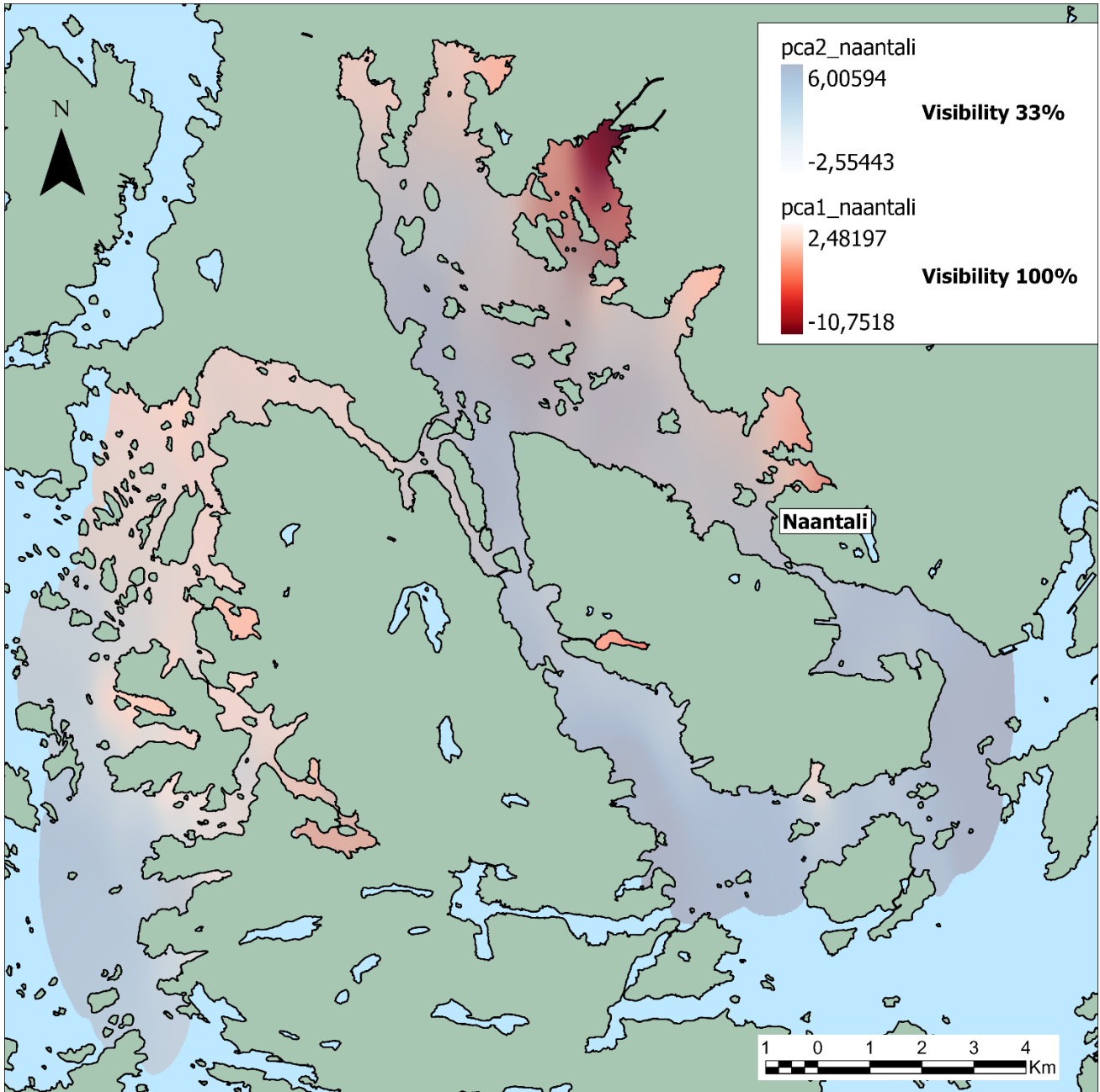
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022

4.3 Ympäristöhallinnolliset tuotokset (kuva 24)

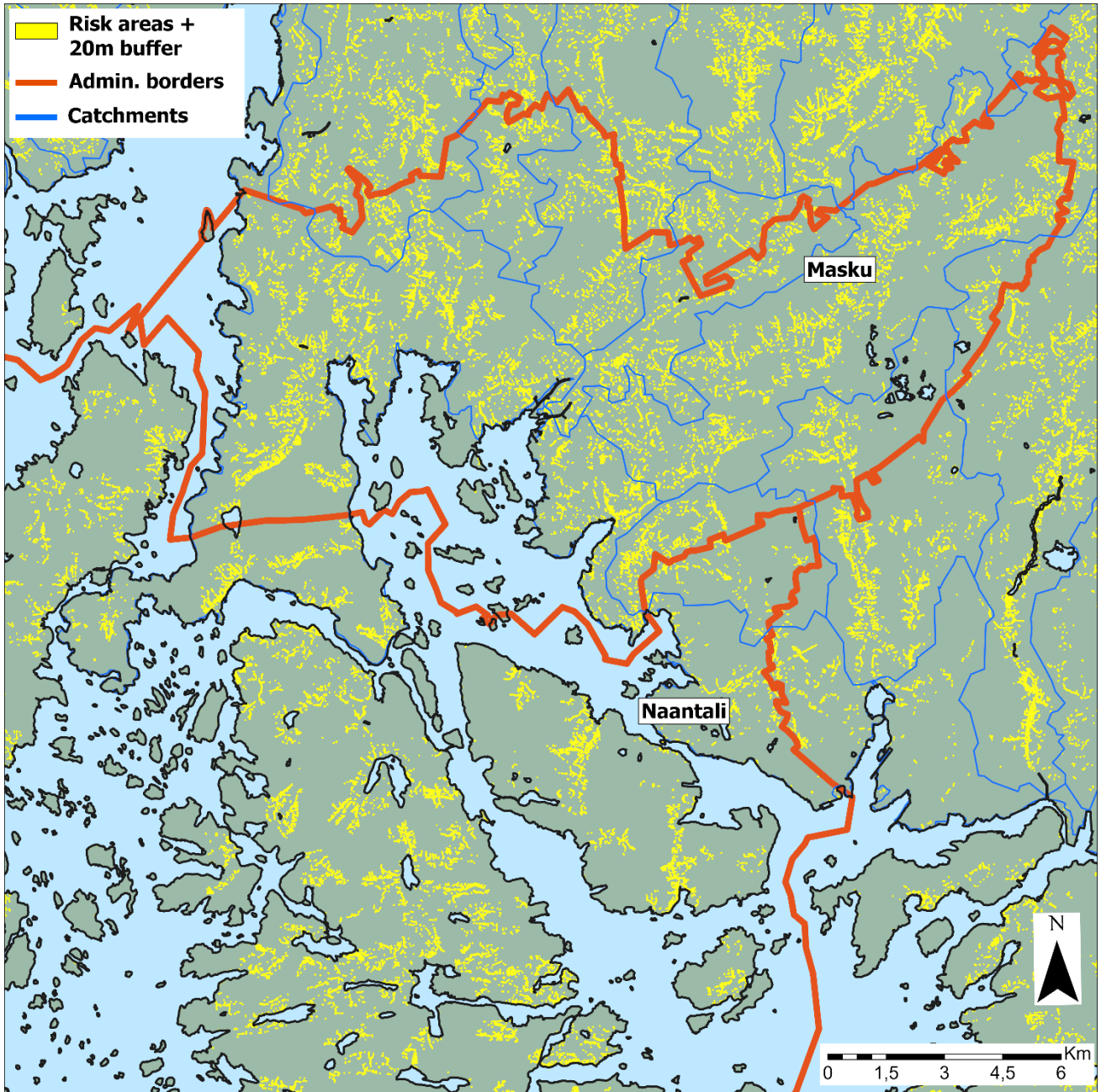
- 3.1 Vedenlaadultaan ongelmallisten vesialueiden tunnistaminen ja veden laadun poikkeamia kuvaaviin jatkumoihin sekä valumariskianalyysiin perustuva arvio keskeisimmistä kuormituslähteistä.
- 3.2 Arvio Coastrider-toimintamallin soveltuvuudesta ja mahdollisten jatkokehitystarpeiden määrittäminen.

Taulukko 1. CR-NM-hankkeen Coastrider-vedenlaatukartoitukset toteutettiin vuoden 2022 keväällä, kesällä ja syksyllä. Keskeisimpien muuttujien osalta metaanipitoisuudesta ei ole kartoitustuloksia heinäkuulta eikä hiilidioksidin osapaineesta lokakuulta. Nämä aineistot eivät läpäisseet kontrolliritiineja mittalaitteissa ilmenneiden, tilapäisten ongelmien takia. Hiili-, ravinne- ja kiintoainekuormituksesta kieliviä, keskeisimpiä ja konventionaalisimpia indikaattoreita ovat veden sameus sekä liukoisen eloperäisen aineksen ja α -klorofyllin pitoisuudet sekä hiilen osalta myös hiilidioksidi ja metaani (esim. Anon. 2022). Lisäksi tarkastelussa on ensiarvoisen tärkeää ottaa huomioon, minkälaisissa ympäristöolosuhteissa (esim. suolaisuus ja lämpötila) indikaattoreiden arvoja mitataan. Koska hiili-, ravinne ja kiintoainekuormituksen syyt ja seuraukset ovat monelta osin toisiinsa sidoksissa, kukin kuormitusmuoto ilmenee usean eri indikaattorin kautta. Toisaalta mikään indikaattori ei ole sellaisenaan ominainen millekään yksittäiselle kuormitusmuodolle.

Muuttuja Suure Yksikkö Pää- indikaatio(t)	Leveyspiiri WGS84 Desimaaliaste Maantieteellinen sijainti	Pituuspiiri WGS84 Desimaaliaste Maantieteellinen sijainti	Suolaisuus Sadanta ja vesien sekoittuminen	Lämpötila Aste °C Prosessinopeudet ja sääolosuhteet	Happi Saturaatio % Yhteyttäminen ja hapen puute	pH Respiraatio ja happamoituminen	
KEVÄT (6.5.2022)	Keskiarvo	60.46809	21.91111	5.44	8.03	115.26	8.18
	Mediaani	60.46876	21.91056	5.61	8.05	116.80	8.28
	Tyyppiarvo	60.44912	21.87395	5.62	8.09	120.70	8.36
	Minimi	60.39211	21.76601	0.92	4.90	88.40	6.82
	Maksimi	60.55014	22.08120	6.11	14.39	130.90	8.42
KESÄ (23.7.2022)	Keskiarvo	60.46167	21.90684	5.91	21.80	108.86	7.97
	Mediaani	60.45969	21.89981	5.99	21.81	109.20	8.00
	Tyyppiarvo	60.44909	21.81441	5.89	20.94	108.30	8.03
	Minimi	60.39275	21.76600	1.27	20.08	55.20	6.74
	Maksimi	60.55008	22.08128	6.22	23.85	129.40	8.48
SYKSY (19.10.2022)	Keskiarvo	60.44974	21.89635	5.82	10.32	91.82	7.71
	Mediaani	60.45845	21.91179	6.07	10.41	92.00	7.72
	Tyyppiarvo	60.44910	21.97987	6.03	10.37	91.10	7.71
	Minimi	60.39266	21.76584	0.10	5.70	72.50	6.46
	Maksimi	60.55009	22.08125	6.39	11.48	106.50	8.06
Muuttuja Suure Yksikkö Pää- indikaatio(t)	Hiilidioksidi Osapaine ppm Respiraatio ja ilmastopäästöt	Metaani Konsentraatio μ M Hapen kulutus ja ilmastopäästöt	Sameus Pitoisuus FNU Liettyminen ja rehevöityminen	fDOM Pitoisuus QSU Tummuminen ja rehevöityminen	α -klorofylli Pitoisuus μ g/l Mikroleväbiomassa ja rehevöityminen	Fykosyaniini Pitoisuus μ g/l Sinileväbiomassa ja rehevöityminen	
KEVÄT (6.5.2022)	Keskiarvo	247.06	0.70	9.76	14.50	18.55	0.27
	Mediaani	174.73	0.57	7.70	12.23	16.59	0.27
	Tyyppiarvo	145.75	0.00	5.42	11.76	13.31	0.29
	Minimi	117.35	0.00	2.11	8.53	7.86	0.04
	Maksimi	1852.73	7.35	80.00	77.20	71.56	0.90
KESÄ (23.7.2022)	Keskiarvo	573.76		8.00	11.72	22.44	0.88
	Mediaani	443.05		6.99	10.33	21.28	0.58
	Tyyppiarvo	391.51		6.92	10.37	11.30	0.20
	Minimi	182.86		2.80	7.12	6.81	0.07
	Maksimi	6040.81		49.10	92.22	81.55	11.89
SYKSY (19.10.2022)	Keskiarvo		0.33	11.34	16.16	6.88	0.37
	Mediaani		0.18	6.50	10.70	5.90	0.27
	Tyyppiarvo		0.00	2.37	10.48	4.79	0.27
	Minimi		0.00	2.09	7.25	3.04	0.12
	Maksimi		1.91	225.54	206.58	97.24	3.82



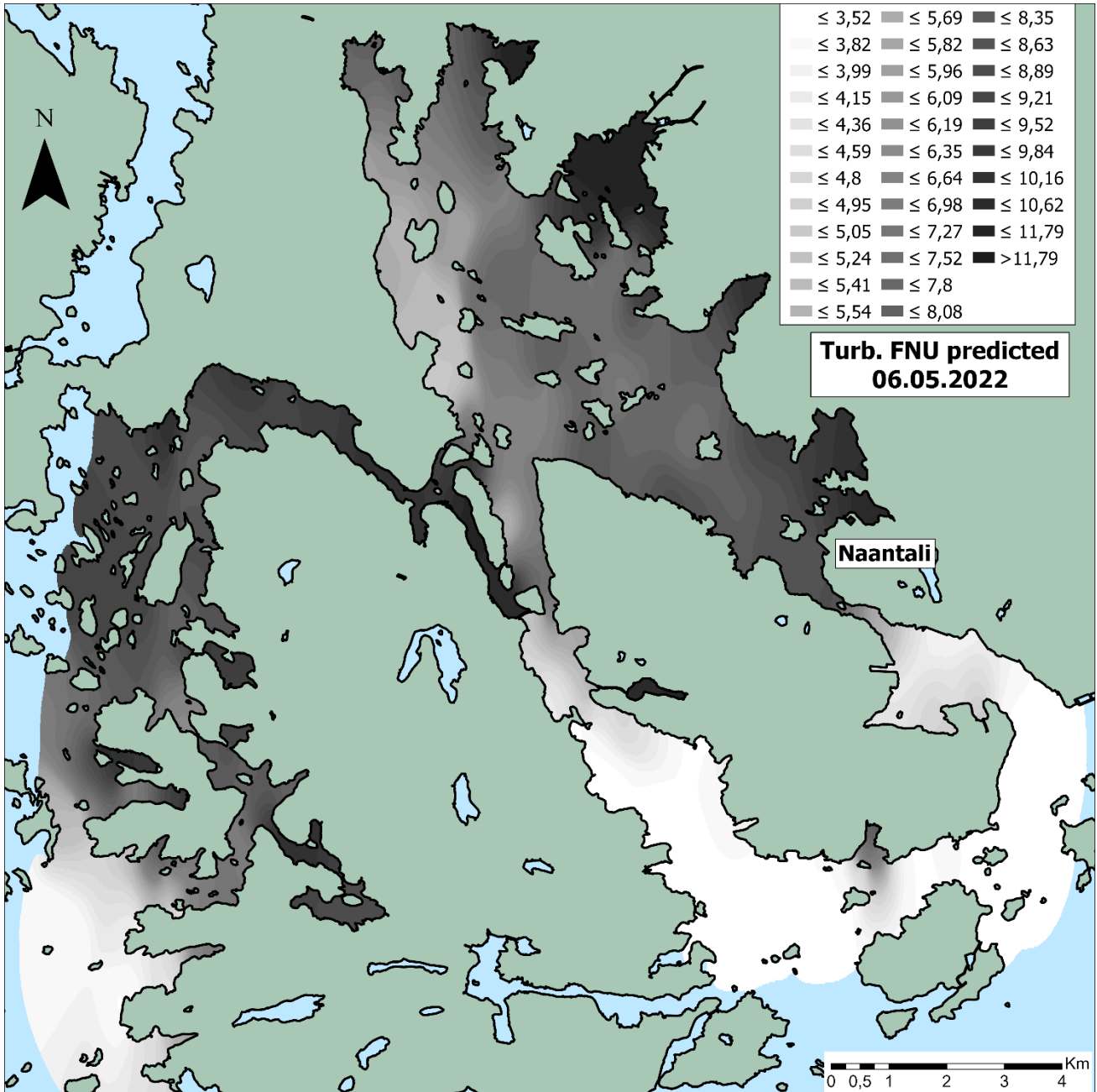
Kuva 4. Fysikaalisen ympäristötyypin määrittämiseksi mittauslinja jaettiin kiinteisiin mittausasemiin verrattaviin havaintopisteisiin, ja kullekin pisteelle annettiin sitä kullakin kartoituskerralla lähimmäksi osuivien suolapitoisuus- ja lämpötilahavaintojen arvot. Koska hankeaikana mittausaineistoa kerättiin yhteensä kolmeen kertaan, kaikille pisteille muodostui kolmesta aikapisteestä koostuva havaintosarja kuvaamaan suolapitoisuuden ja lämpötilan vuodenaikaisdynamiikkaa. Pääkomponenttianalyysissä sekä lämpötilan että suolapitoisuuden kutakin mittausajankohtaa käsiteltiin omana muuttujanaan, jolloin kullekin kaikkiaan 6 400 havaintopisteestä saatiin määritettyä oma sijaintinsa kuusiulotteisessa avaruudessa. Havaintopisteiden sijaintia tässä avaruudessa voidaan kuvata tiivistetysti pääkomponenttianalyysin kahden ensimmäisen akselin ominaisarvoilla, koska ne selittävät yhdessä 83 % aineiston kokonaisvaihtelusta. Kartalla havaintopisteiden ensimmäisen akselin ominaisarvojen muutosta pienistä suuriin kuvataan punaisesta valkoiseen muuttuvalla värijatkumolla. Vastaavaa muutosta toisella akselilla kuvataan valkoisesta siniseen muuttuvalla värijatkumolla. Tällöin värierot kuvaavat havaintopisteiden fysikaalisten ympäristöolosuhteiden eroavaisuutta. Havaintopisteiden väliset erot ilmentävät niiden edustamien ympäristöjen välisiä eroja pääosin vesien vaihtuvuudessa (puna-sininen jatkumo) ja sekoittuvuudessa (valko-sininen jatkumo) sekä sijoittumisessa sisä- ja välisaariston väliselle jatkumolle (valko-punainen).



Kuva 5. Maankäytöstä syntyvien fosfori- ja kiintoainesvalumiin riskialueet määritettiin soveltamalla viitteellisiä ominaiskuormituskertoimia yleiseen maaperän häviämisyhtälöön (USLE). Yhtälössä maalta vesistöihin päätyvän hajakuormituksen (ml. suoravalumiin) valumariski (P) määritetään 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 kohdealueen valuma-alueita ominaisuuksiltaan eniten muistuttavilla alueilla empiirisesti määritettyjä, valmiita kertoimia (Sivertun 2003). Riskialttiit alueet on merkitty karttaan keltaisella. Alueet, joita ei arvioida maatalouden valumariskialueiksi on merkitty vihreällä. Kymmenen metrin korkeusmallia käyttämällä määritettyjen valuma-alueiden rajat on merkitty sinisellä. Tulkinnaissa on tärkeää ottaa huomioon, että maa- ja metsätaloudelle ei metsätalouden osalta ole määritetty luotettavia ominaiskuormituskertoimia. Käytännössä metsätalousalueet eivät viitteellisiin ominaiskuormituskertoimiin perustuvassa analyysissä voi määrittäytyä riskialueiksi. **Huom: valuma-alueiden ominaisuuksia (K, S, W ja U) ja valumariskiä (P) ei oteta huomioon vedenlaadun indikaattorimuuttujien oletustason eikä vedenlaadun poikkeamien (ks. kuvat 6-23) määrittämisessä. Siinä vedenlaadun taustavaihtelua selittävinä muuttujina käytetään yksinomaan vesiympäristön ja sääolosuhteiden fysikaalista vaihtelua kuvaavia suureita.**

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

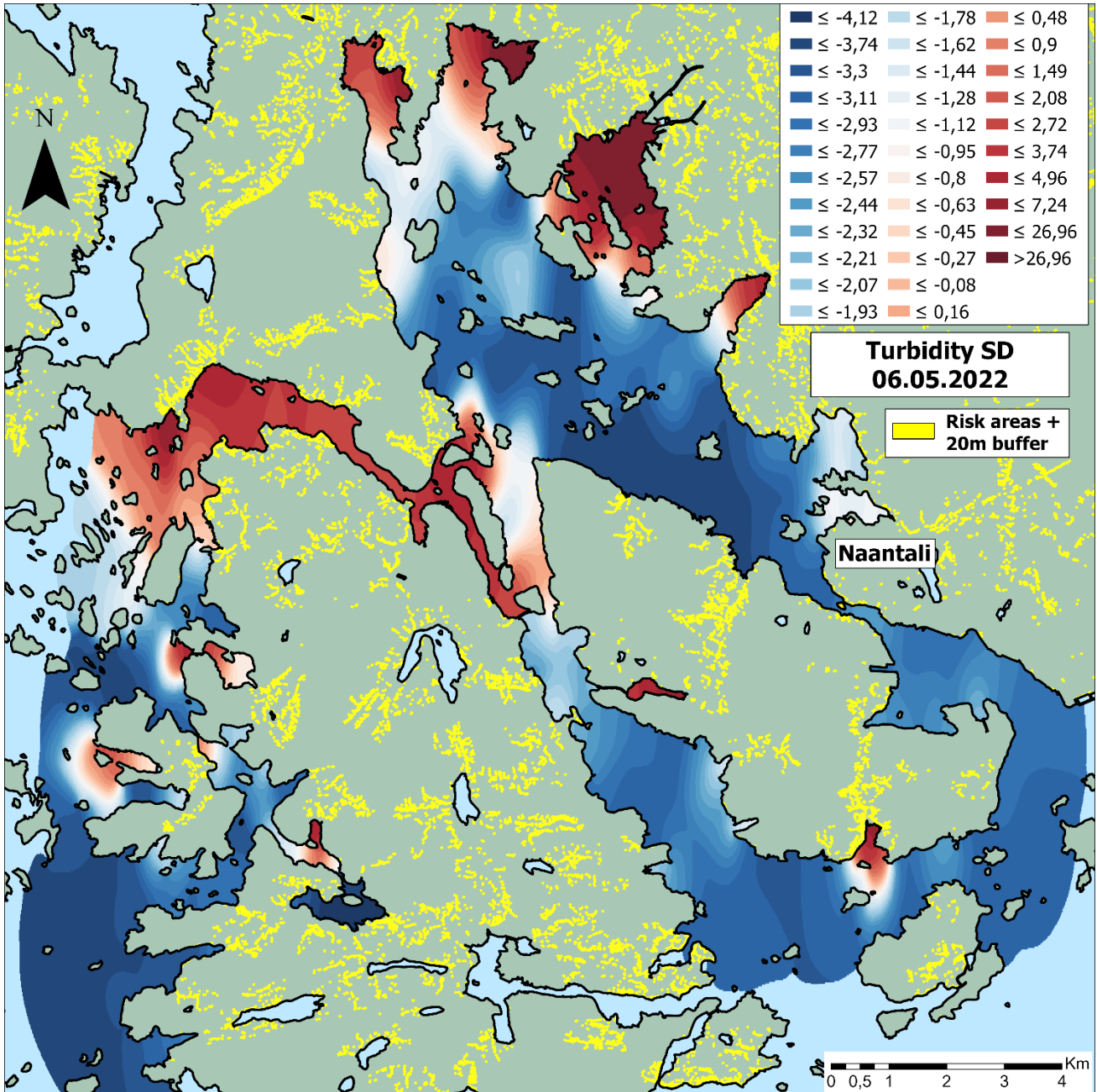
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 6. Oletettu sameustaso (FNU) Naantalin ja Maskun rannikkovesissä keväällä 2022. Oletustason mallinnuksessa on otettu huomioon veden suolapitoisuus ja lämpötila, ilmanpaine, vuodenaika ja mittausvuosi. Malliarvio perustuu yhteensä 600 000 Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-2022 tehtyyn mittaushavaintoon näistä selittävästä muuttujista sekä veden sameudesta (vastemuuttuja). Mallin avulla voidaan selittää 56 % sameuden vaihtelusta koko aineistossa.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

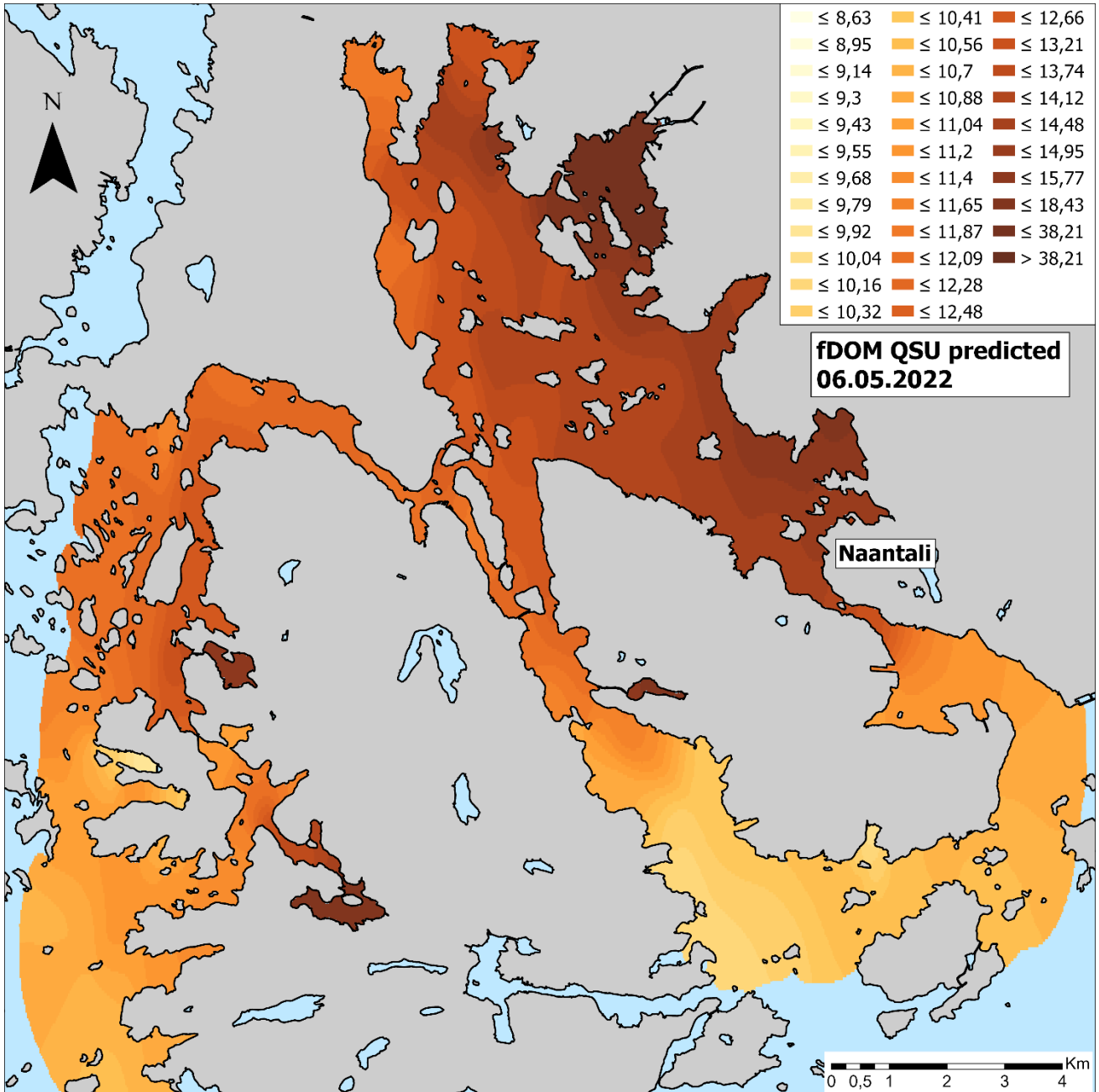
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 7. Poikkeama (SD) mitatun ja oletetun sameustason välillä Naantalin ja Maskun rannikkovesissä keväällä 2022. CR-NM-hankeessa tuotettu, sameustason poikkeamia koskeva aineisto on jaettu tasaluokkiin kolmen prosenttipisteen välein. Valkoinen väri edustaa hankeessa kerätyn aineiston 50. prosenttipistettä eli mediaania. Tästä tummansinistä kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta negatiiviseen suuntaan hankealueen mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun sameustason vähenemistä). Vastaavasti tummanpunaista kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta positiiviseen suuntaan aluekohtaisesta mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun sameustason kasvua). Luokkien rajoja ilmentävät lukuarvot ovat suhteessa koko 600 000 poikkeama-arvosta koostuvaan tausta-aineistoon, jonka aritmeettinen keskiarvo on likipitään 0. Negatiiviset arvot kuvaavat siis oletustasoonsa nähden keskimääräistä alhaisempaa ja positiiviset arvot keskimääräistä korkeampaa sameustasoa, kun vertailukohtana ovat kaikki Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-22 tehdyt taustahavainnot.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

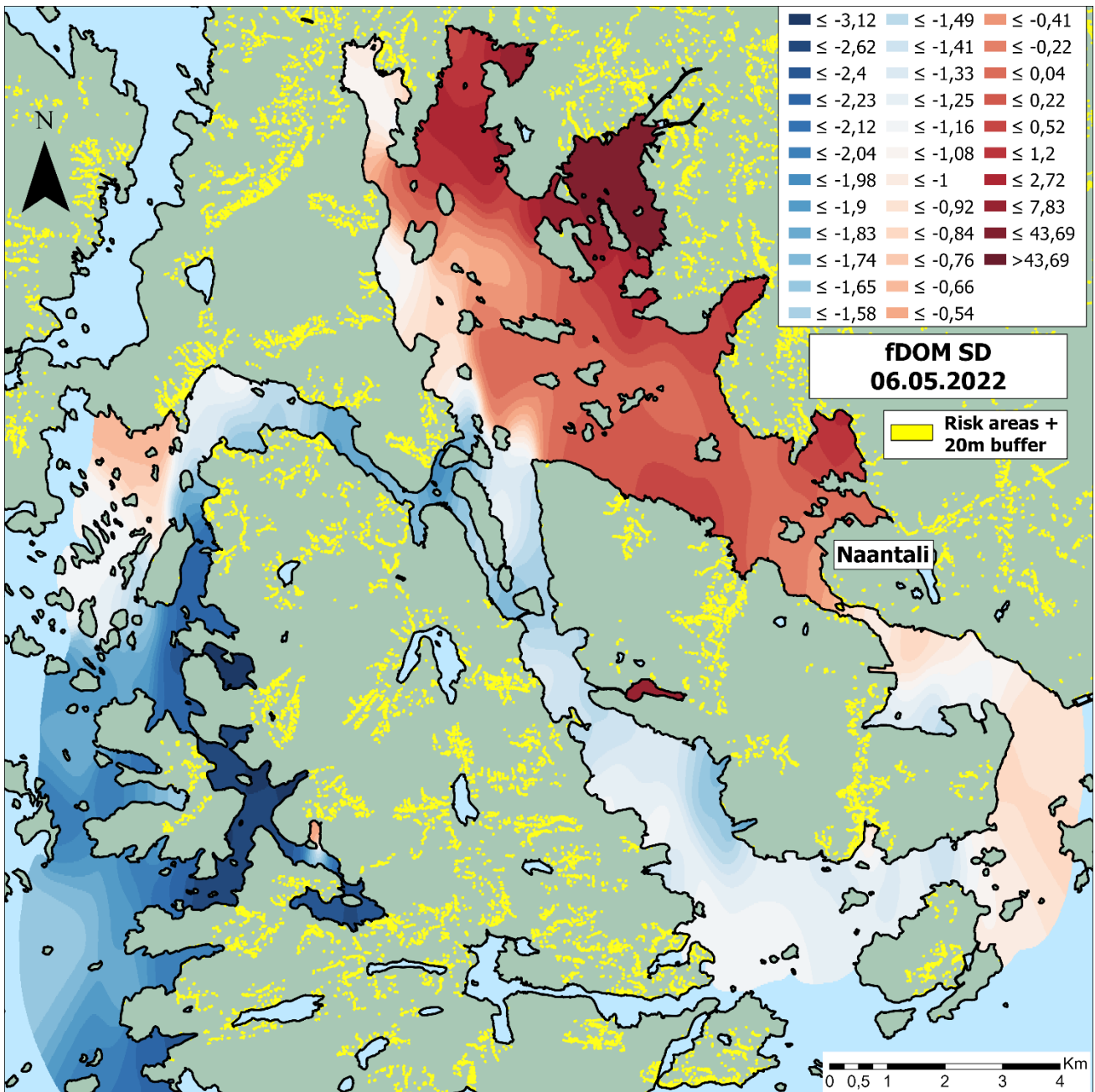
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 8. Oletettu liukoisen, eloperäisen aineksen pitoisuus (QSU) Naantalin ja Maskun rannikkovesissä keväällä 2022. Oletustason mallinnuksessa on otettu huomioon veden suolapitoisuus ja lämpötila, vuodenaika sekä mittausvuosi. Malliarvio perustuu yhteensä 600 000 Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-2022 tehtyyn mittaushavaintoon näistä selittävästä muuttujista sekä liukoisen, eloperäisen aineksen pitoisuudesta (vastemuuttuja). Mallin avulla voidaan selittää 93 % liukoisen, eloperäisen aineksen pitoisuuden vaihtelusta koko aineistossa.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

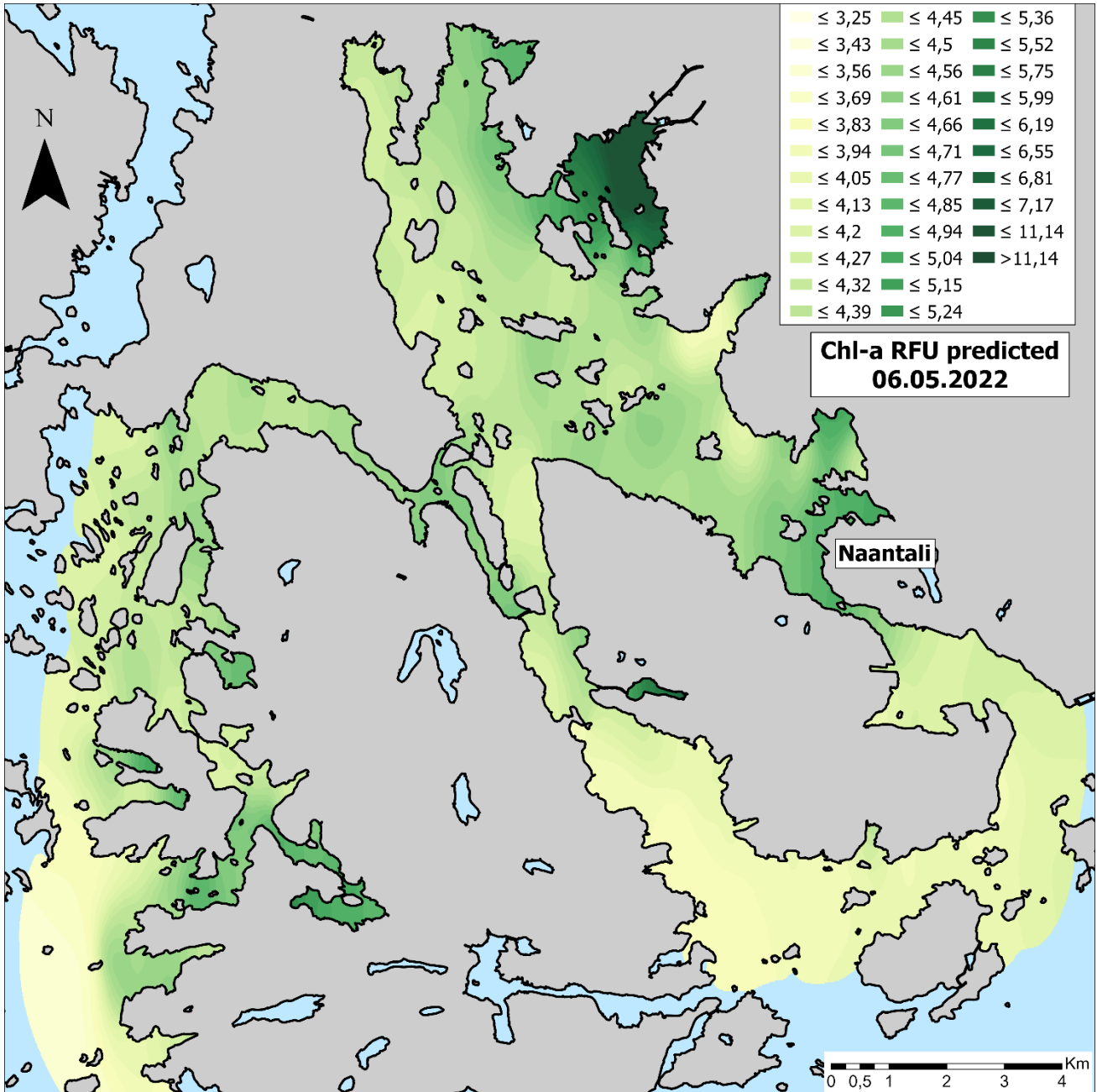
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 9. Poikkeama (SD) mitatun ja oletetun liukoisien, eloperäisen aineiden pitoisuuden välillä Naantalin ja Maskun rannikkovesissä keuhällä 2022. CR-NM-hankkeessa tuotettu, pitoisuustason poikkeamia koskeva aineisto on jaettu tasaluokkiin kolmen prosenttipisteen välein. Valkoinen väri edustaa hankkeessa kerätyn aineiston 50. prosenttipistettä eli mediaania. Tästä tummansinistä kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta negatiiviseen suuntaan hankealueen mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun pitoisuustason vähenemistä). Vastaavasti tummanpunaista kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta positiiviseen suuntaan aluekohtaisesta mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun pitoisuustason kasvua). Luokkien rajoja ilmentävät lukuarvot ovat suhteessa koko 600 000 poikkeama-arvosta koostuvaan tausta-aineistoon, jonka aritmeettinen keskiarvo on likipitään 0. Negatiiviset arvot kuvaavat siis oletustasoonsa nähden keskimääräistä alhaisempaa ja positiiviset arvot keskimääräistä korkeampaa pitoisuustasoa, kun vertailukohtana ovat kaikki Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-22 tehdyt taustahavainnot.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

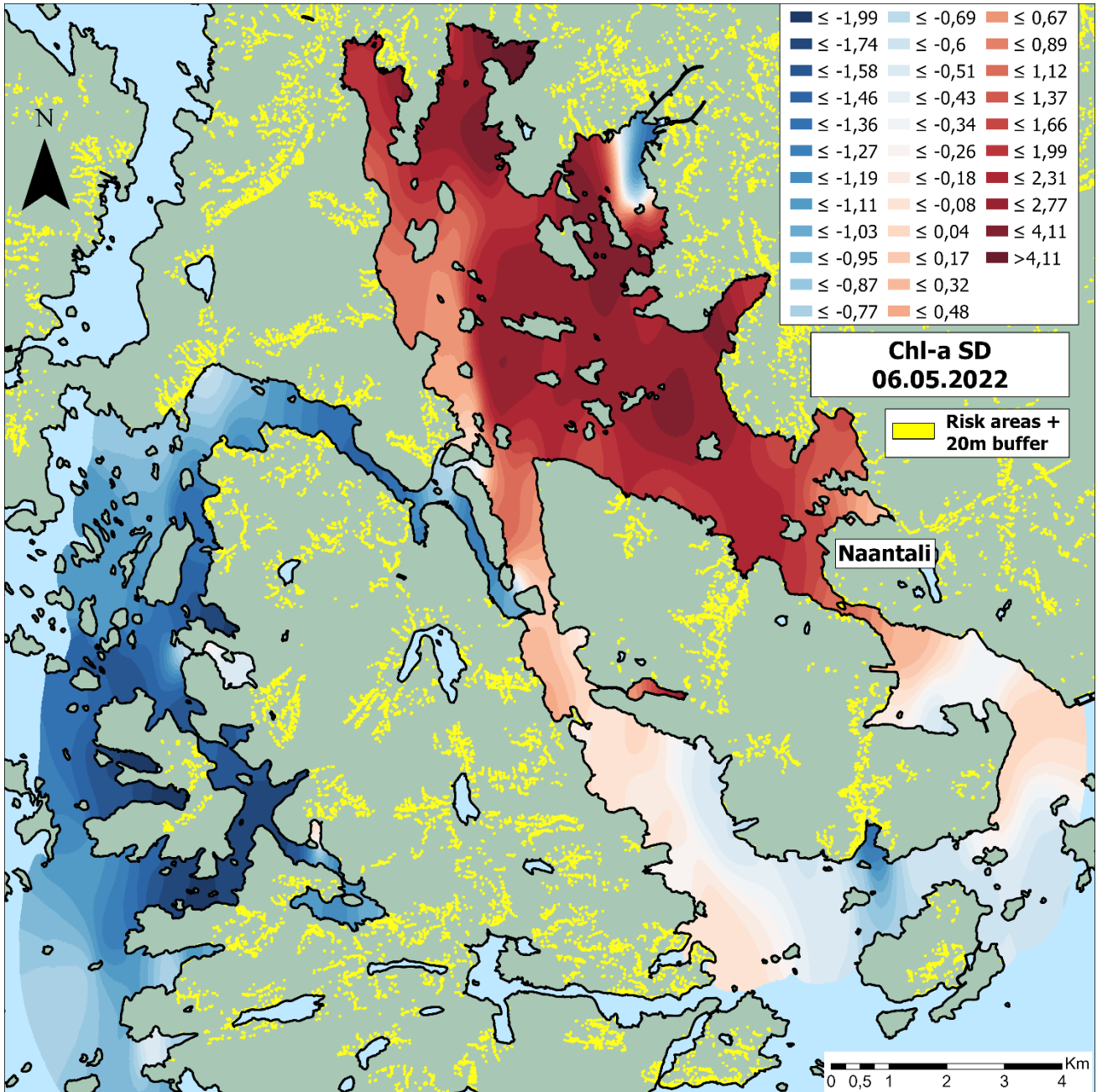
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 10. Oletettu a-klorofyllipitoisuus (RFU) Naantalin ja Maskun rannikkovesissä keväällä 2022. Mallinnetut arvot on ilmoitettu suhteellisina fluoresenssiyksiköinä (RFU) eikä mikrogrammoina litraa kohti ($\mu\text{g/l}$), koska mallintaminen perustuu ensin mainittuihin yksiköihin. Todelliset a-klorofyllin mittausravot esitetään kuitenkin liitteessä 1 mikrogrammoina litraa kohti. Oletustason mallinnuksessa on otettu huomioon veden suolapitoisuus ja lämpötila, ilmanpaine, yhteyttämiseen aallonpituudeltaan soveltuvan valon määrä (fotonikertymä) veden pinnalla, vuodenaika ja mittausvuosi. Malliarvio perustuu yhteensä 600 000 Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-2022 tehtyyn mittaushavaintoon näistä selittävästä muuttujista sekä a-klorofyllipitoisuudesta (vastemuuttuja). Mallin avulla voidaan selittää 59 % a-klorofyllipitoisuuden vaihtelusta koko aineistossa.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

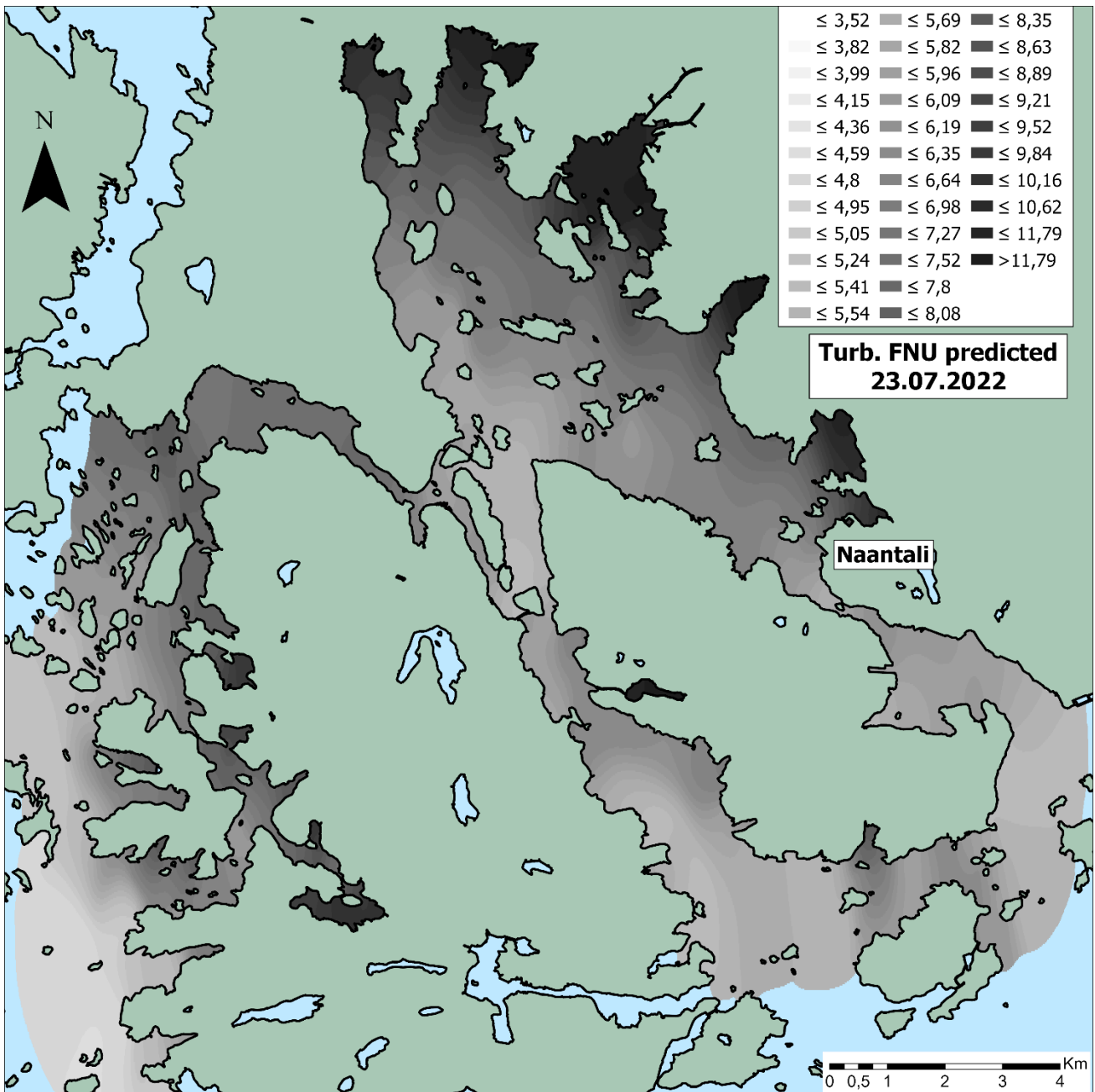
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 11. Poikkeama (SD) mitatun ja oletetun *a*-klorofyllipitoisuuden välillä Naantalin ja Maskun rannikkovesissä keväällä 2022. CR-NM-hankkeessa tuotettu, *a*-klorofyllipitoisuuden poikkeamia koskeva aineisto on jaettu tasaluokkiin kolmen prosenttipisteen välein. Valkoinen väri edustaa hankkeessa kerätyn aineiston 50. prosenttipistettä eli mediaania. Tästä tummansinistä kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta negatiiviseen suuntaan hankealueen mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun *a*-klorofyllipitoisuuden vähenemistä). Vastaavasti tummanpunaista kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta positiiviseen suuntaan aluekohtaisesta mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun *a*-klorofyllipitoisuuden kasvua). Luokkien rajoja ilmentävät lukuarvot ovat suhteessa koko 600 000 poikkeamavasta koostuvaan tausta-aineistoon, jonka aritmeettinen keskiarvo on likipitään 0. Negatiiviset arvot kuvaavat siis oletustasoonsa nähden keskimääräistä alhaisempaa ja positiiviset arvot keskimääräistä korkeampaa *a*-klorofyllipitoisuutta, kun vertailukohtana ovat kaikki Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-22 tehdyt taustahavainnot.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

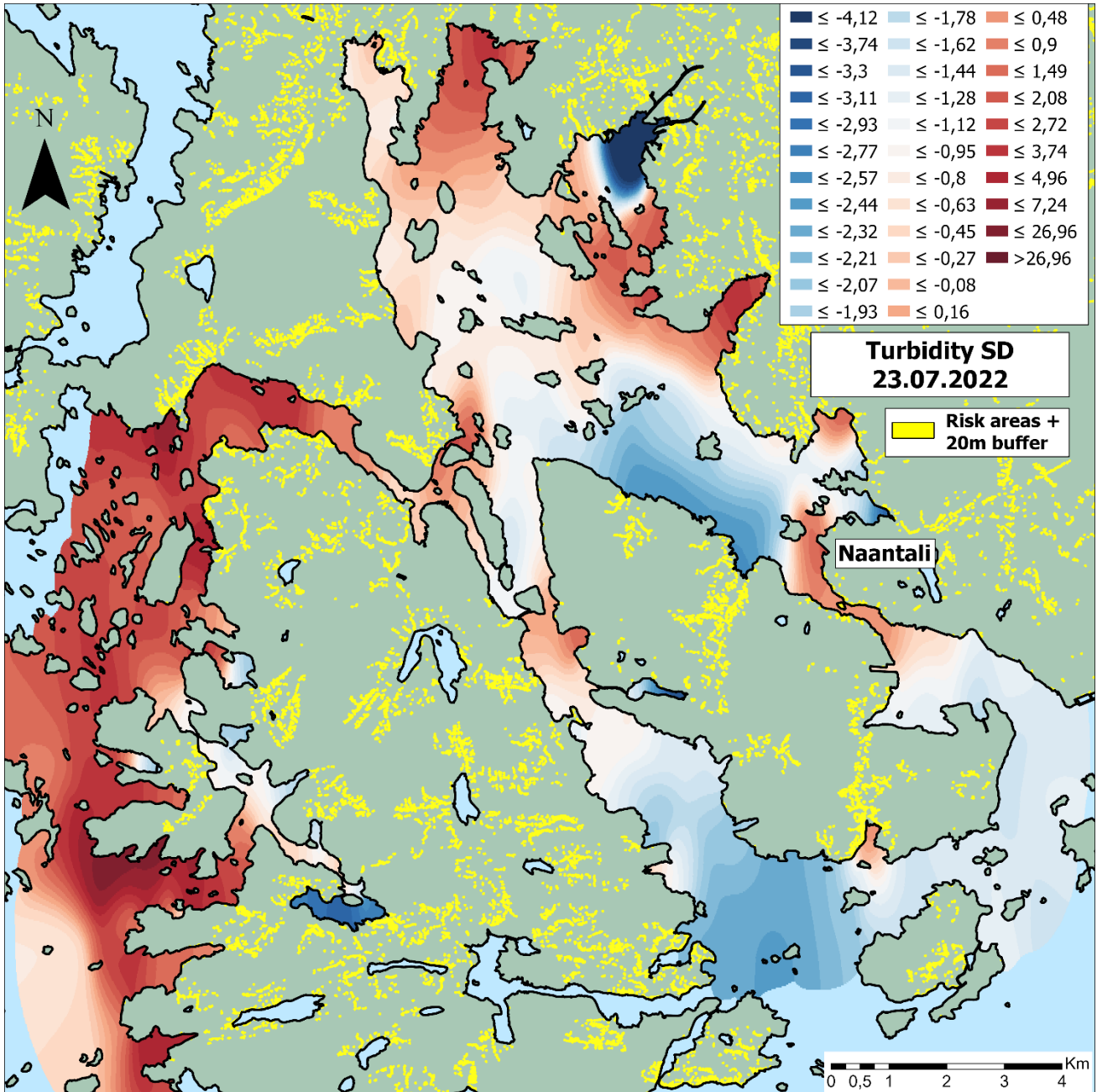
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 12. Oletettu sameustaso (FNU) Naantalin ja Maskun rannikkovesissä kesällä 2022. Oletustason mallinnuksessa on otettu huomioon veden suolapitoisuus ja lämpötila, ilmanpaine, vuodenaika ja mittausvuosi. Malliarvio perustuu yhteensä 600 000 Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-2022 tehtyyn mittaushavaintoon näistä selittävästä muuttujista sekä veden sameudesta (vastemuuttuja). Mallin avulla voidaan selittää 56 % sameuden vaihtelusta koko aineistossa.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalien ja Maskun rannikkovesissä 2022

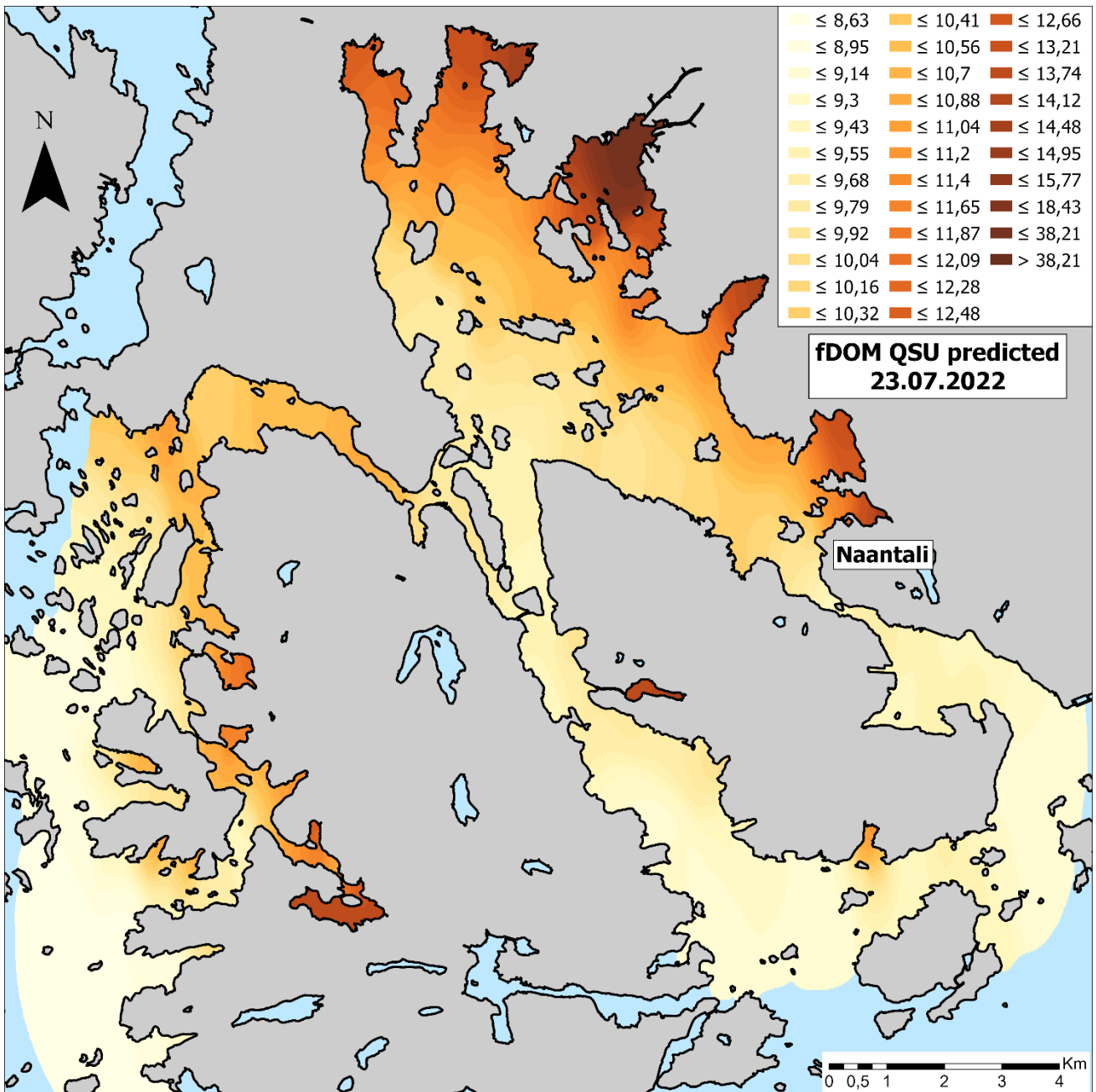
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 13. Poikkeama (SD) mitatun ja oletetun sameustason välillä Naantalien ja Maskun rannikkovesissä kesällä 2022. CR-NM-hankeessa tuotettu, sameustason poikkeamia koskeva aineisto on jaettu tasaluokkiin kolmen prosenttipisteen välein. Valkoinen väri edustaa hankeessa kerätyn aineiston 50. prosenttipistettä eli mediaania. Tästä tummansinistä kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta negatiiviseen suuntaan hankealueen mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun sameustason vähenemistä). Vastaavasti tummanpunaista kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta positiiviseen suuntaan aluekohtaisesta mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun sameustason kasvua). Luokkien rajoja ilmentävät lukuarvot ovat suhteessa koko 600 000 poikkeama-arvosta koostuvaan tausta-aineistoon, jonka aritmeettinen keskiarvo on likipitään 0. Negatiiviset arvot kuvaavat siis oletustasoonsa nähden keskimääräistä alhaisempaa ja positiiviset arvot keskimääräistä korkeampaa sameustasoa, kun vertailukohtana ovat kaikki Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-22 tehdyt taustahavainnot.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

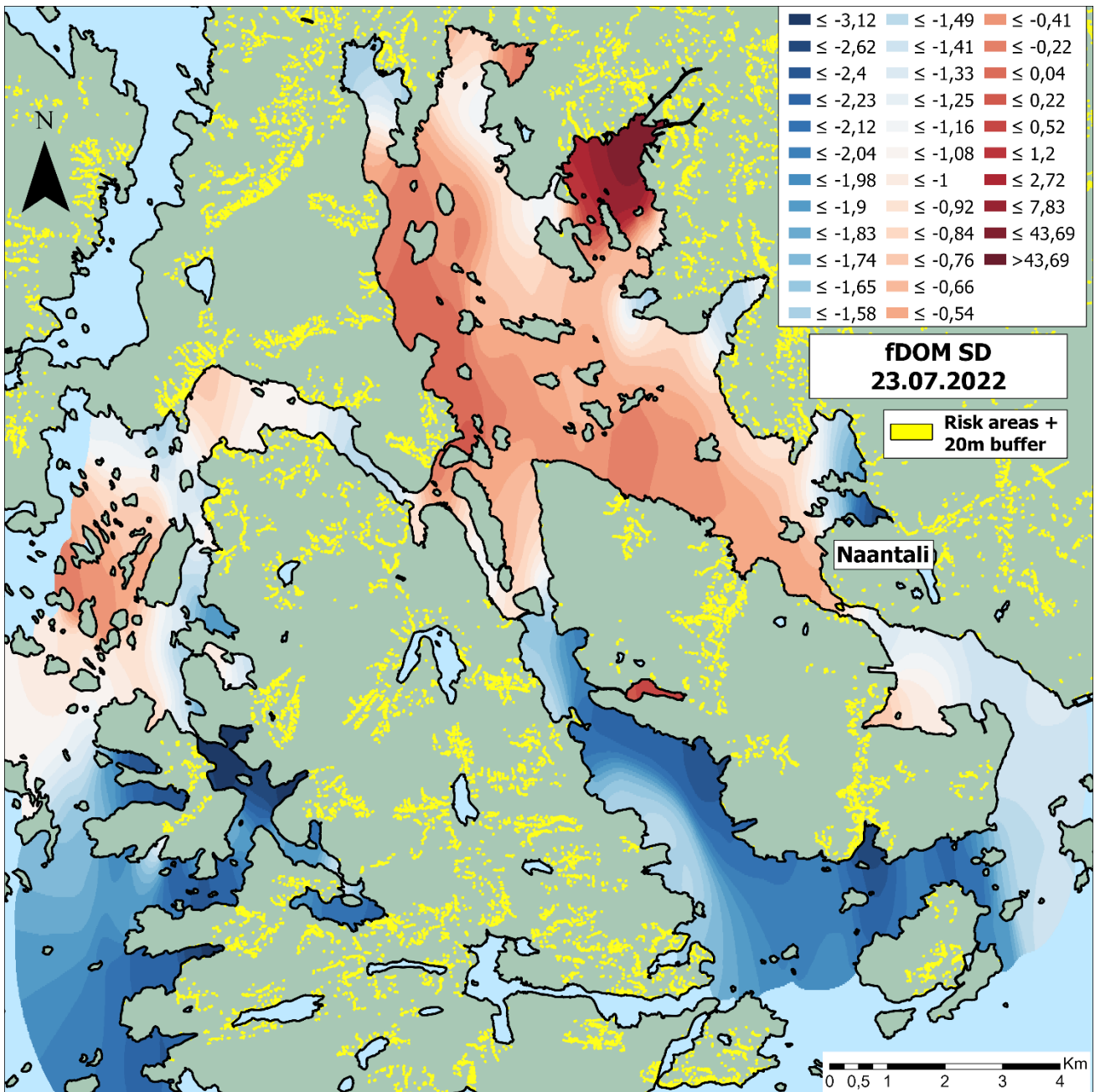
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 14. Oletettu liukoisen, eloperäisen aineksen pitoisuus (QSU) Naantalin ja Maskun rannikkovesissä kesällä 2022. Oletustason mallinnuksessa on otettu huomioon veden suolapitoisuus ja lämpötila, vuodenaika sekä mittausvuosi. Malliarvio perustuu yhteensä 600 000 Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-2022 tehtyyn mittaushavaintoon näistä selittävästä muuttujista sekä liukoisen, eloperäisen aineksen pitoisuudesta (vastemuuttuja). Mallin avulla voidaan selittää 93 % liukoisen, eloperäisen aineksen pitoisuuden vaihtelusta koko aineistossa.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

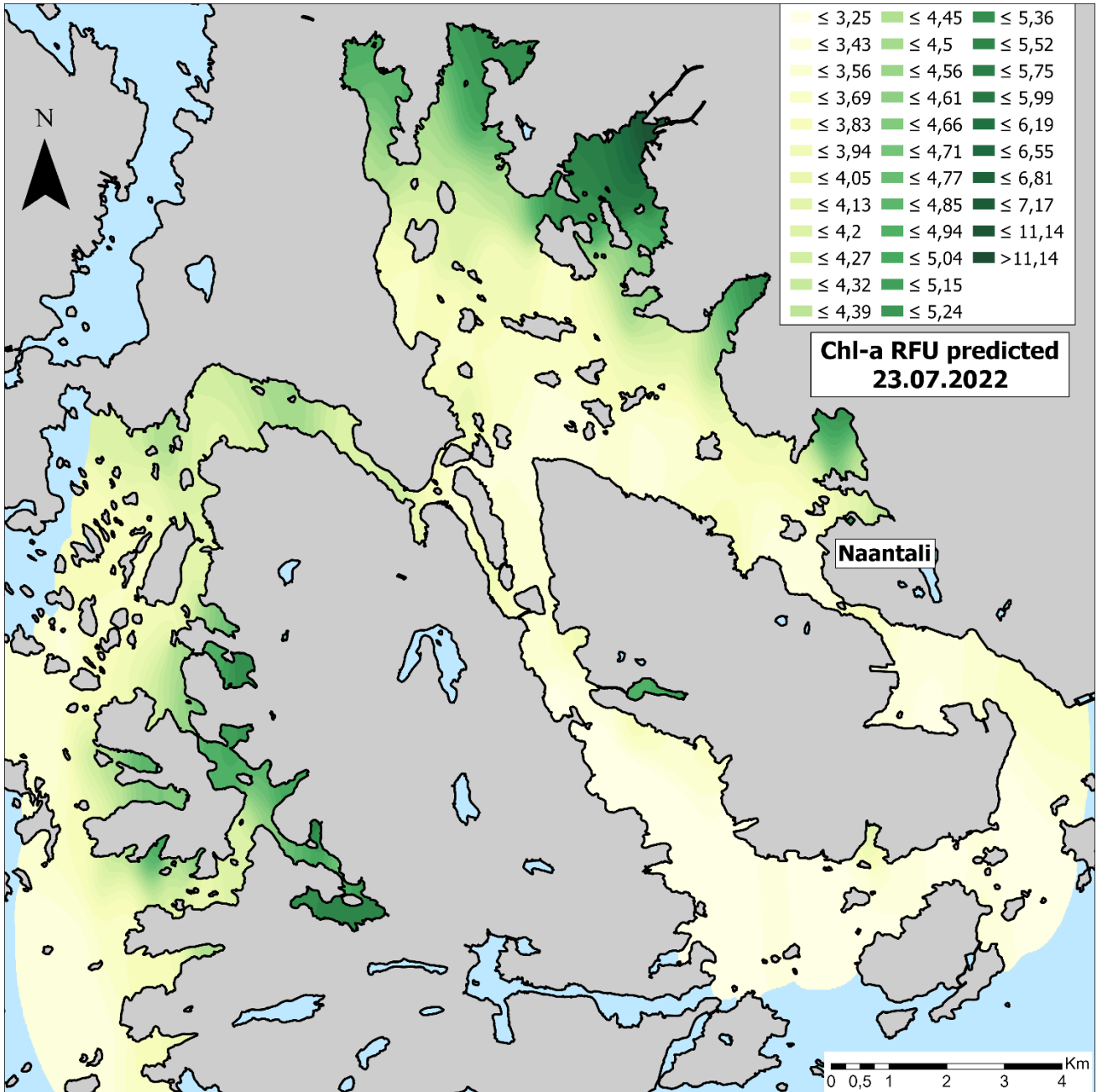
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 15. Poikkeama (SD) mitatun ja oletetun liukoisen, eloperäisen aineksen pitoisuuden välillä Naantalin ja Maskun rannikkovesissä kesällä 2022. CR-NM-hankkeessa tuotettu, pitoisuustason poikkeamia koskeva aineisto on jaettu tasaluokkiin kolmen prosenttipisteen välein. Valkoinen väri edustaa hankkeessa kerätyn aineiston 50. prosenttipistettä eli mediaania. Tästä tummansinistä kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta negatiiviseen suuntaan hankealueen mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun pitoisuustason vähenemistä). Vastaavasti tummanpunaista kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta positiiviseen suuntaan aluekohtaisesta mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun pitoisuustason kasvua). Luokkien rajoja ilmentävät lukuarvot ovat suhteessa koko 600 000 poikkeama-arvosta koostuvaan tausta-aineistoon, jonka aritmeettinen keskiarvo on likipitään 0. Negatiiviset arvot kuvaavat siis oletustasoonsa nähden keskimääräistä alhaisempaa ja positiiviset arvot keskimääräistä korkeampaa pitoisuustasoa, kun vertailukohtana ovat kaikki Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-22 tehdyt taustahavainnot.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

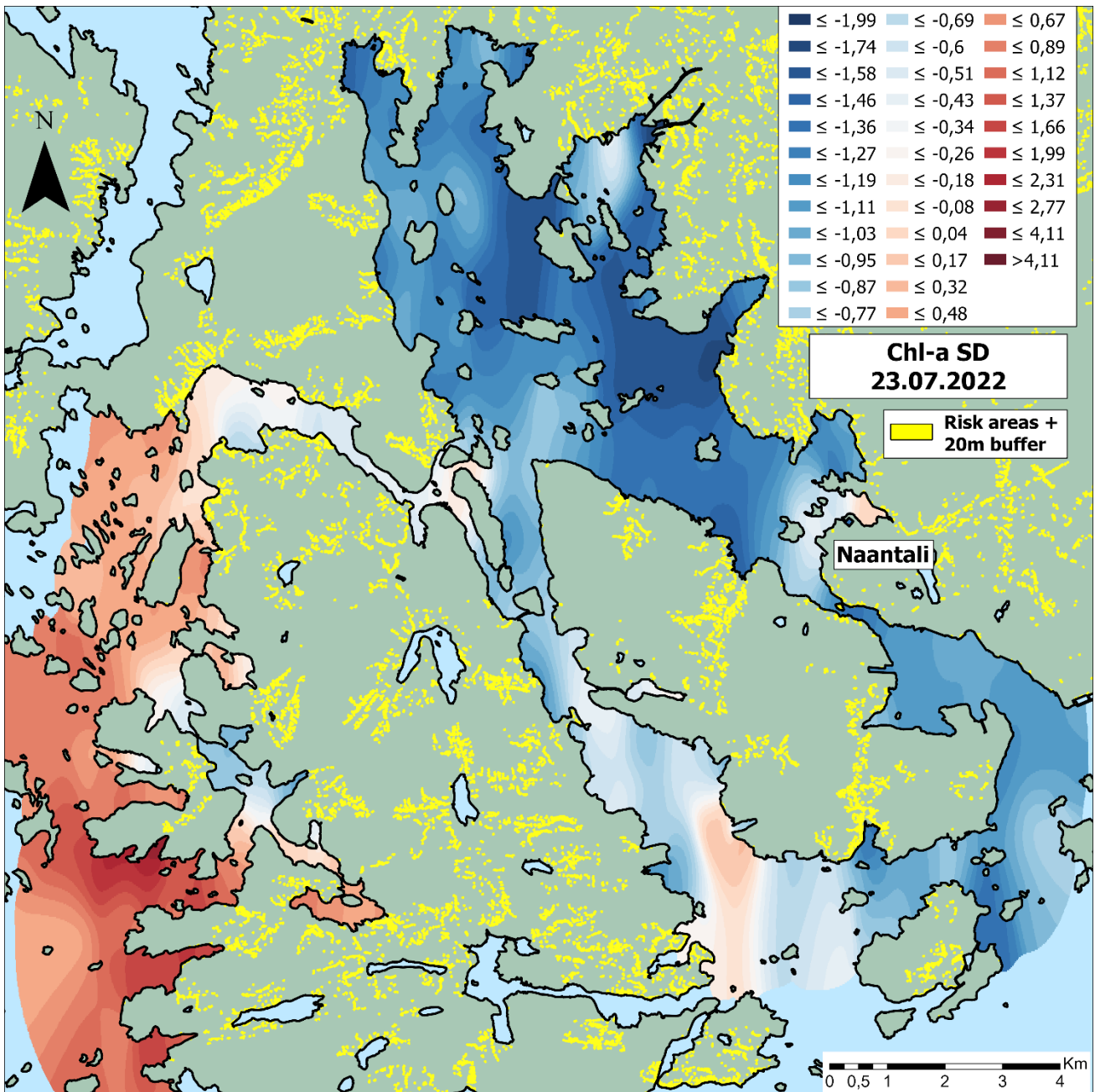
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 16. Oletettu a-klorofyllipitoisuus (RFU) Naantalin ja Maskun rannikkovesissä kesällä 2022. Mallinnetut arvot on ilmoitettu suhteellisina fluoresenssiyksiköinä (RFU) eikä mikrogrammoina litraa kohti ($\mu\text{g/l}$), koska mallintaminen perustuu ensin mainittuihin yksiköihin. Todelliset a-klorofyllin mittausravot esitetään kuitenkin liitteessä 1 mikrogrammoina litraa kohti. Oletustason mallinnuksessa on otettu huomioon veden suolapitoisuus ja lämpötila, ilmanpaine, yhteyttämiseen aallonpituudeltaan soveltuvan valon määrä (fotonikertymä) veden pinnalla, vuodenaika ja mittausvuosi. Malliarvio perustuu yhteensä 600 000 Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-2022 tehtyyn mittaushavaintoon näistä selittävästä muuttujista sekä a-klorofyllipitoisuudesta (vastemuuttuja). Mallin avulla voidaan selittää 59 % a-klorofyllipitoisuuden vaihtelusta koko aineistossa.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

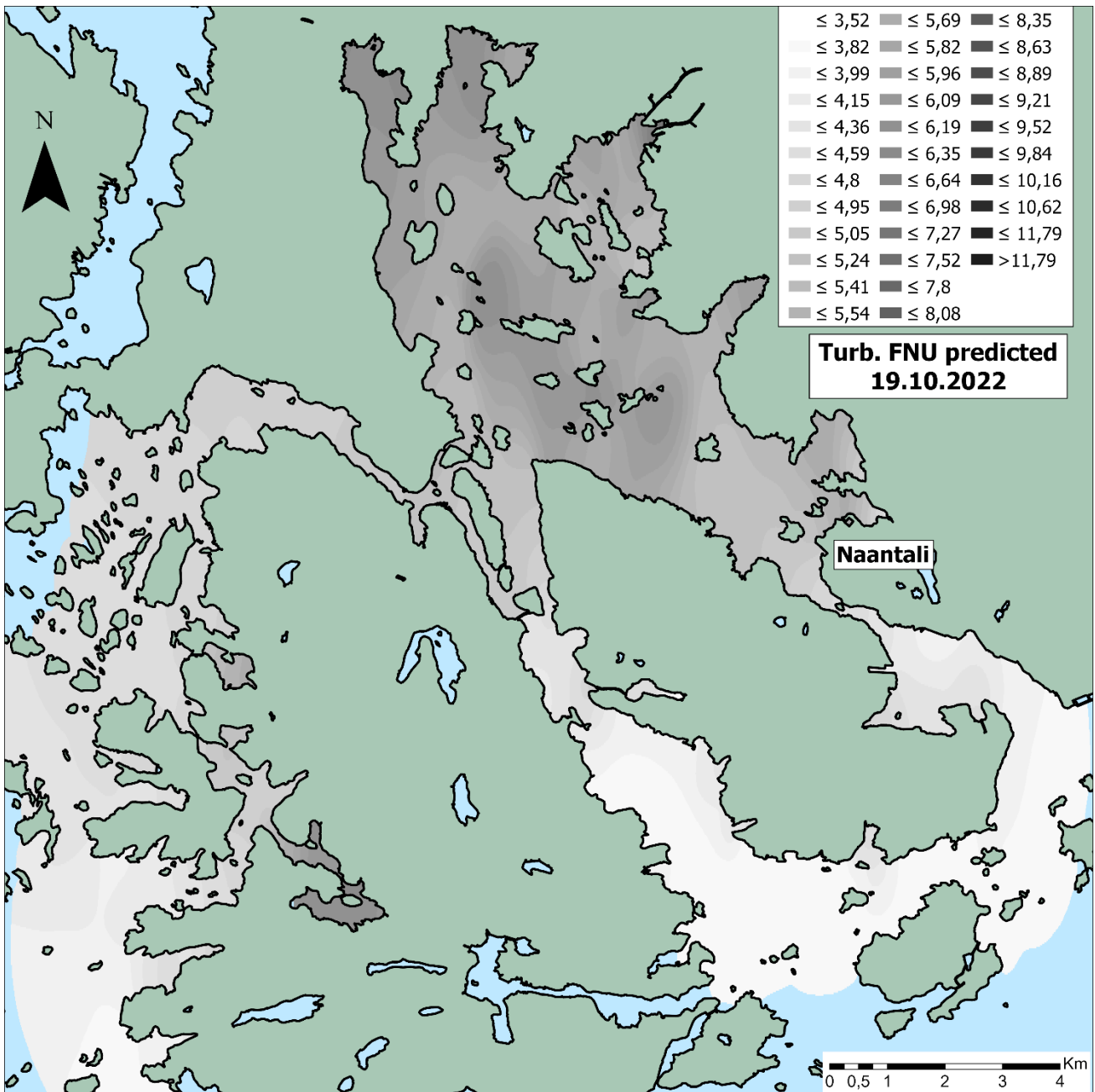
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 17. Poikkeama (SD) mitatun ja oletetun *a*-klorofyllipitoisuuden välillä Naantalin ja Maskun rannikkovesissä kesällä 2022. CR-NM-hankkeessa tuotettu, *a*-klorofyllipitoisuuden poikkeamia koskeva aineisto on jaettu tasaluokkiin kolmen prosenttipisteen välein. Valkoinen väri edustaa hankkeessa kerätyn aineiston 50. prosenttipistettä eli mediaania. Tästä tummansinistä kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta negatiiviseen suuntaan hankealueen mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun *a*-klorofyllipitoisuuden vähenemistä). Vastaavasti tummanpunaista kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta positiiviseen suuntaan aluekohtaisesta mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun *a*-klorofyllipitoisuuden kasvua). Luokkien rajoja ilmentävät lukuarvot ovat suhteessa koko 600 000 poikkeamavasta koostuvaan tausta-aineistoon, jonka aritmeettinen keskiarvo on likipitään 0. Negatiiviset arvot kuvaavat siis oletustasoonsa nähden keskimääräistä alhaisempaa ja positiiviset arvot keskimääräistä korkeampaa *a*-klorofyllipitoisuutta, kun vertailukohtana ovat kaikki Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-22 tehdyt taustahavainnot.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

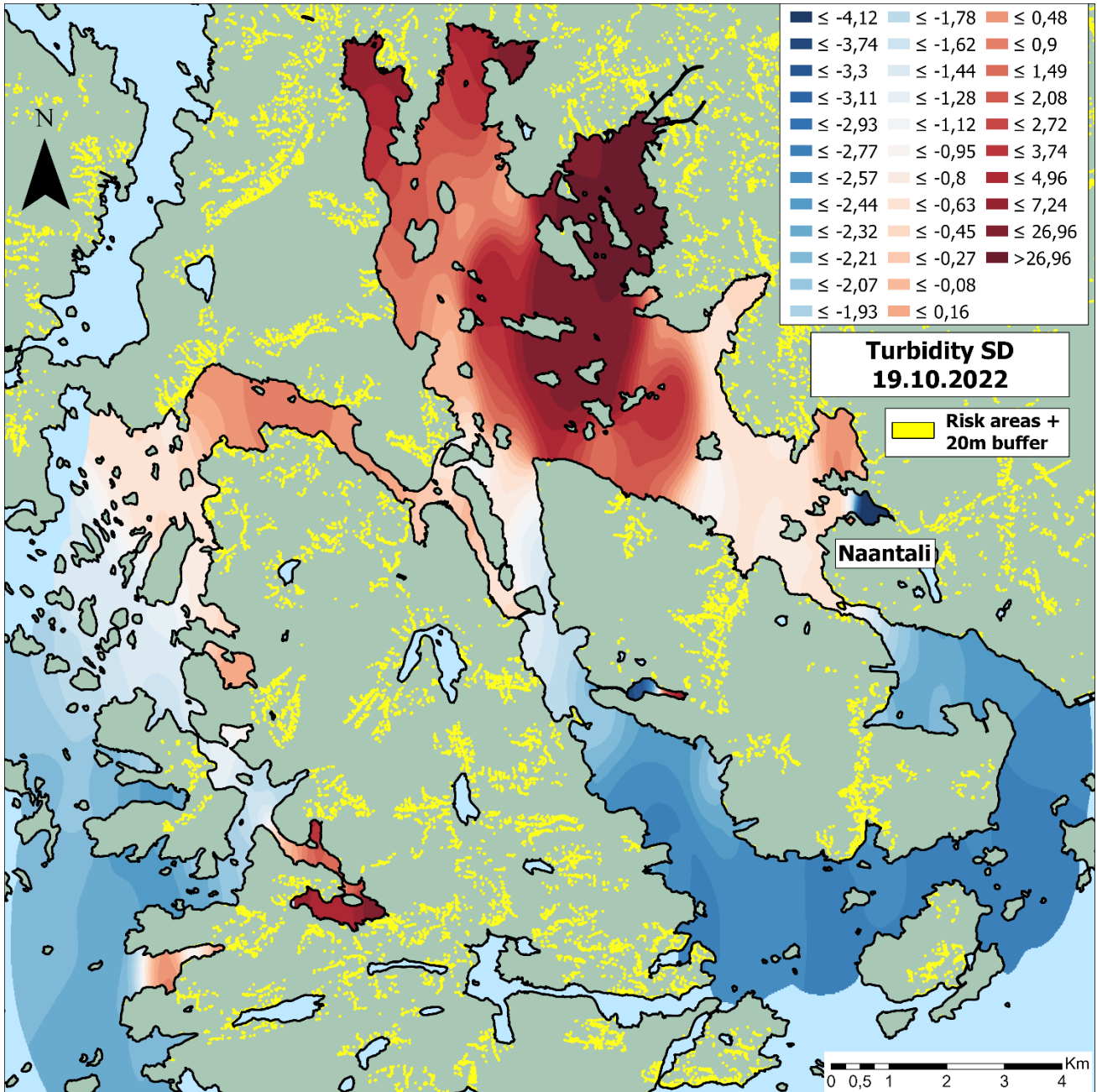
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 18. Oletettu sameustaso (FNU) Naantalin ja Maskun rannikkovesissä syksyllä 2022. Oletustason mallinnuksessa on otettu huomioon veden suolapitoisuus ja lämpötila, ilmanpaine, vuodenaika ja mittausvuosi. Malliarvio perustuu yhteensä 600 000 Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-2022 tehtyyn mittaushavaintoon näistä selittävistä muuttujista sekä veden sameudesta (vastemuuttuja). Mallin avulla voidaan selittää 56 % sameuden vaihtelusta koko aineistossa.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalien ja Maskun rannikkovesissä 2022

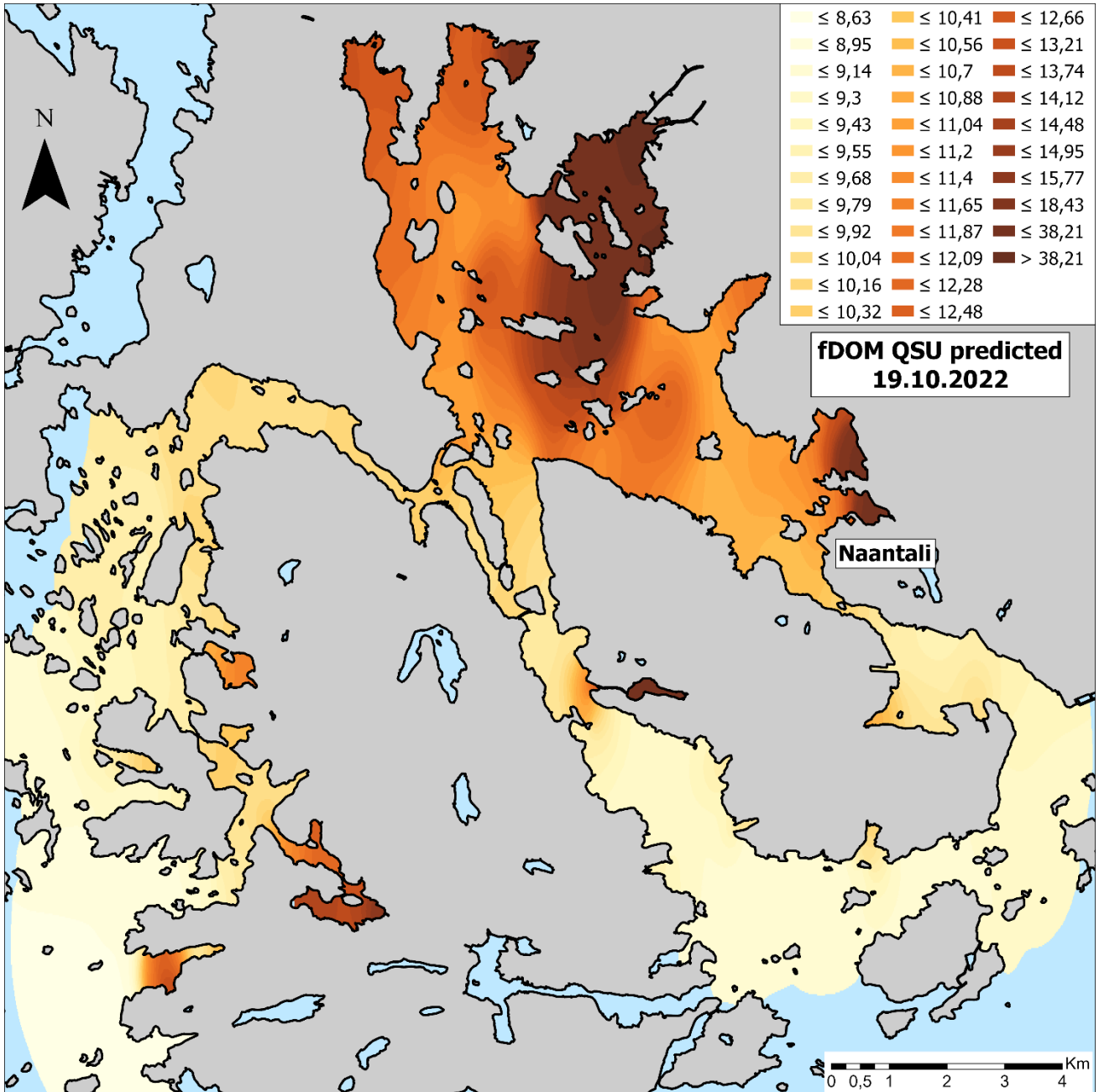
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 19. Poikkeama (SD) mitatun ja oletetun sameustason välillä Naantalien ja Maskun rannikkovesissä syksyllä 2022. CR-NM-hankeessa tuotettu, sameustason poikkeamia koskeva aineisto on jaettu tasaluokkiin kolmen prosenttipisteen välein. Valkoinen väri edustaa hankeessa kerätyn aineiston 50. prosenttipistettä eli mediaania. Tästä tummansinistä kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta negatiiviseen suuntaan hankealueen mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun sameustason vähenemistä). Vastaavasti tummanpunaista kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta positiiviseen suuntaan aluekohtaisesta mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun sameustason kasvua). Luokkien rajoja ilmentävät lukuarvot ovat suhteessa koko 600 000 poikkeama-arvosta koostuvaan tausta-aineistoon, jonka aritmeettinen keskiarvo on likipitään 0. Negatiiviset arvot kuvaavat siis oletustasoonsa nähden keskimääräistä alhaisempaa ja positiiviset arvot keskimääräistä korkeampaa sameustasoa, kun vertailukohtana ovat kaikki Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-22 tehdyt taustahavainnot.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

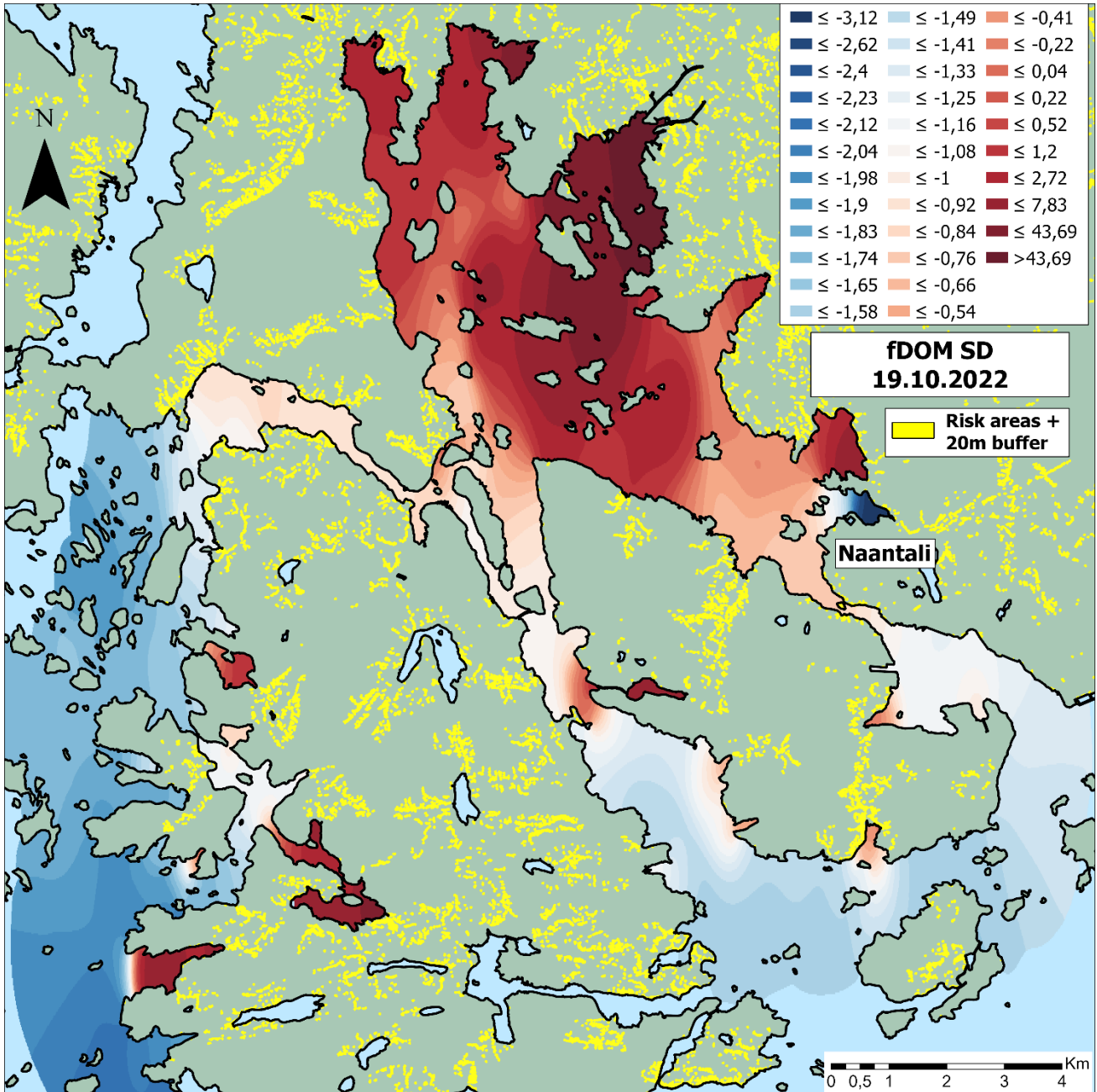
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 20. Oletettu liukoisen, eloperäisen aineksen pitoisuus (QSU) Naantalin ja Maskun rannikkovesissä syksyllä 2022. Oletustason mallinnuksessa on otettu huomioon veden suolapitoisuus ja lämpötila, vuodenaika sekä mittausvuosi. Malliarvio perustuu yhteensä 600 000 Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-2022 tehtyyn mittaushavaintoon näistä selittävästä muuttujista sekä liukoisen, eloperäisen aineksen pitoisuudesta (vastemuuttuja). Mallin avulla voidaan selittää 93 % liukoisen, eloperäisen aineksen pitoisuuden vaihtelusta koko aineistossa.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

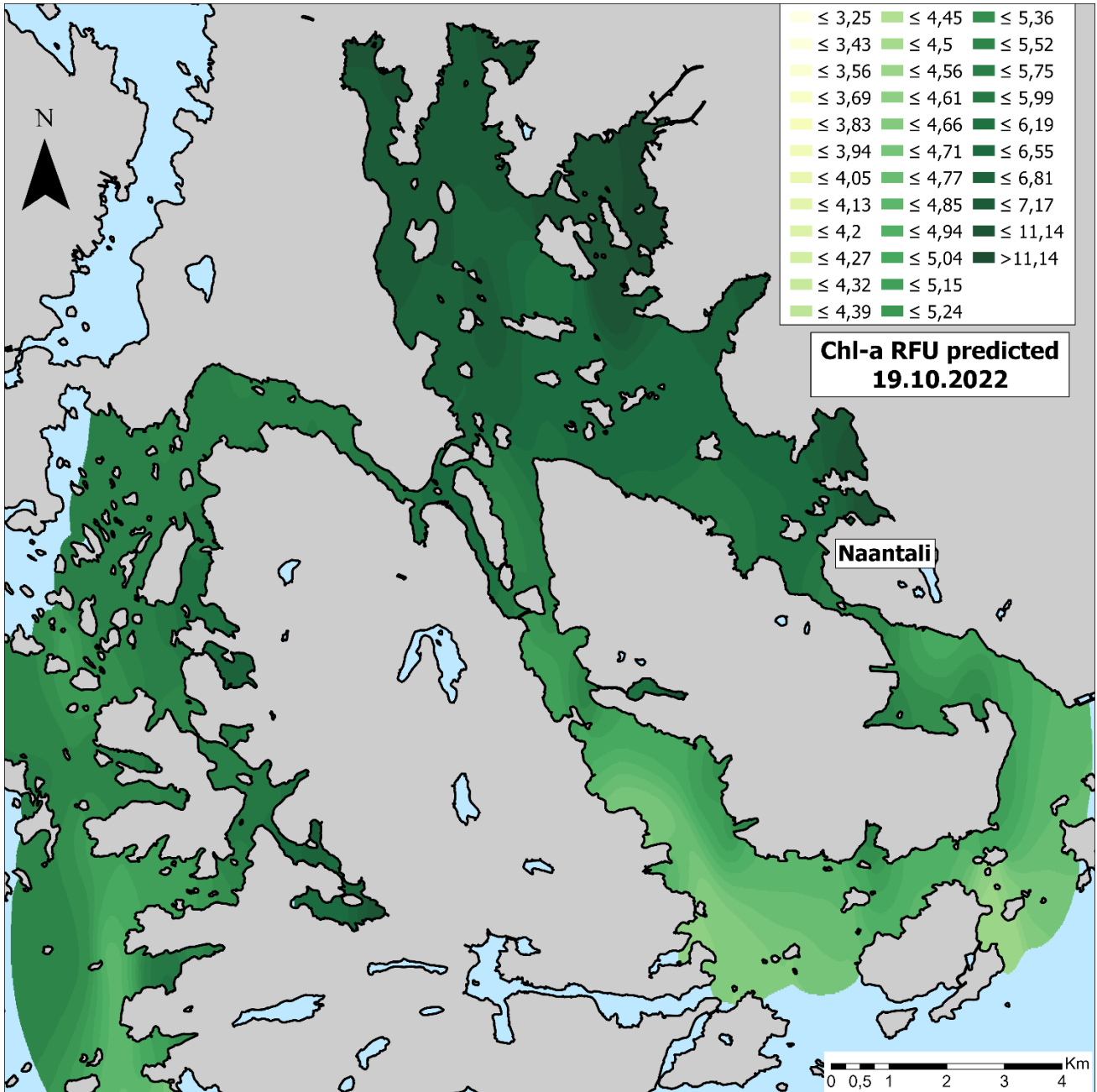
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 21. Poikkeama (SD) mitatun ja oletetun liukoisien, eloperäisen aineksen pitoisuuden välillä Naantalin ja Maskun rannikkovesissä syksyllä 2022. CR-NM-hankkeessa tuotettu, pitoisuustason poikkeamia koskeva aineisto on jaettu tasaluokkiin kolmen prosenttipisteen välein. Valkoinen väri edustaa hankkeessa kerätyn aineiston 50. prosenttipistettä eli mediaania. Tästä tummansinistä kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta negatiiviseen suuntaan hankealueen mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun pitoisuustason vähenemistä). Vastaavasti tummanpunaista kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta positiiviseen suuntaan aluekohtaisesta mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun pitoisuustason kasvua). Luokkien rajoja ilmentävät lukuarvot ovat suhteessa koko 600 000 poikkeama-arvosta koostuvaan tausta-aineistoon, jonka aritmeettinen keskiarvo on likipitään 0. Negatiiviset arvot kuvaavat siis oletustasoonsa nähden keskimääräistä alhaisempaa ja positiiviset arvot keskimääräistä korkeampaa pitoisuustasoa, kun vertailukohtana ovat kaikki Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-22 tehdyt taustahavainnot.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

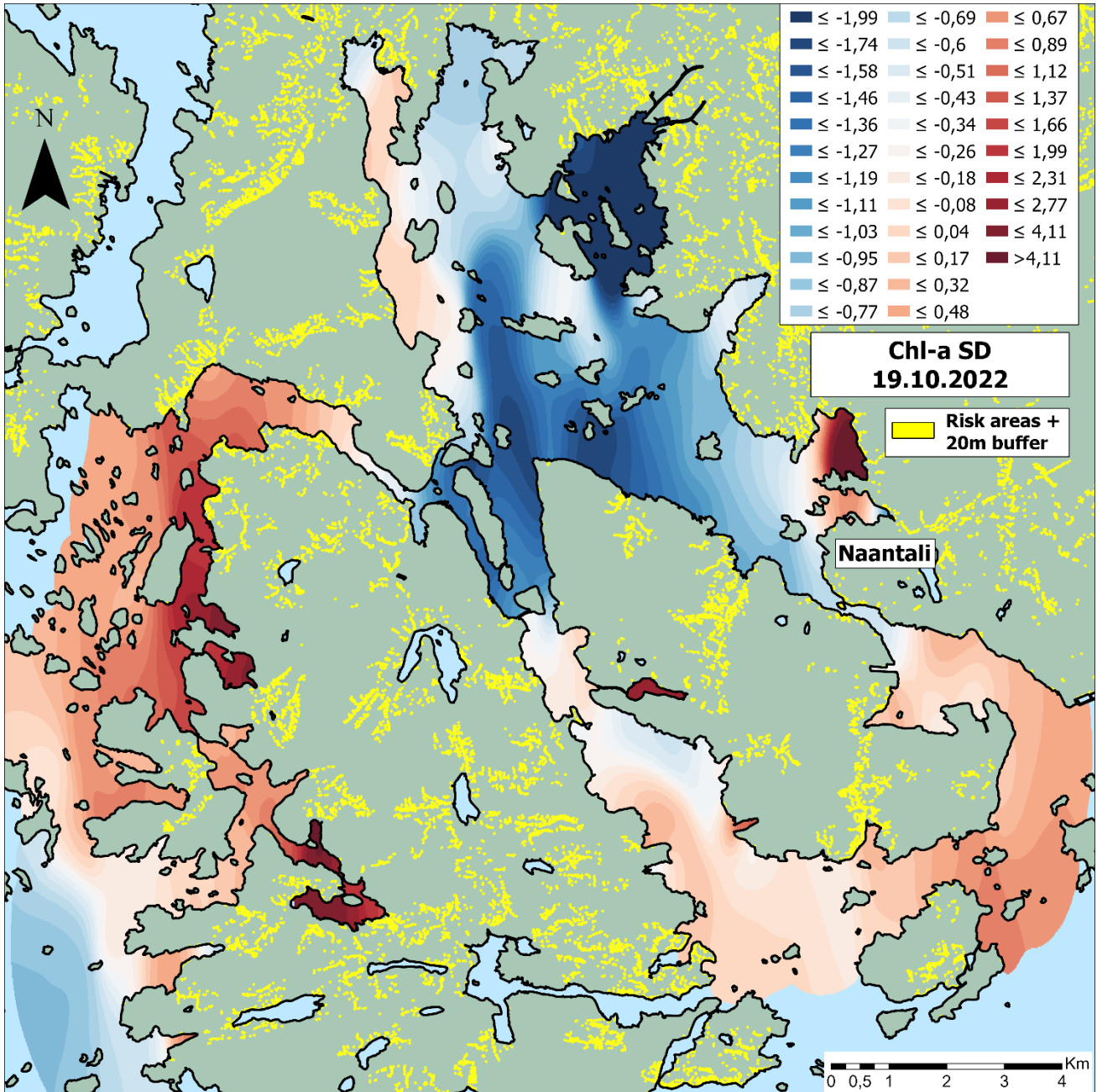
Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



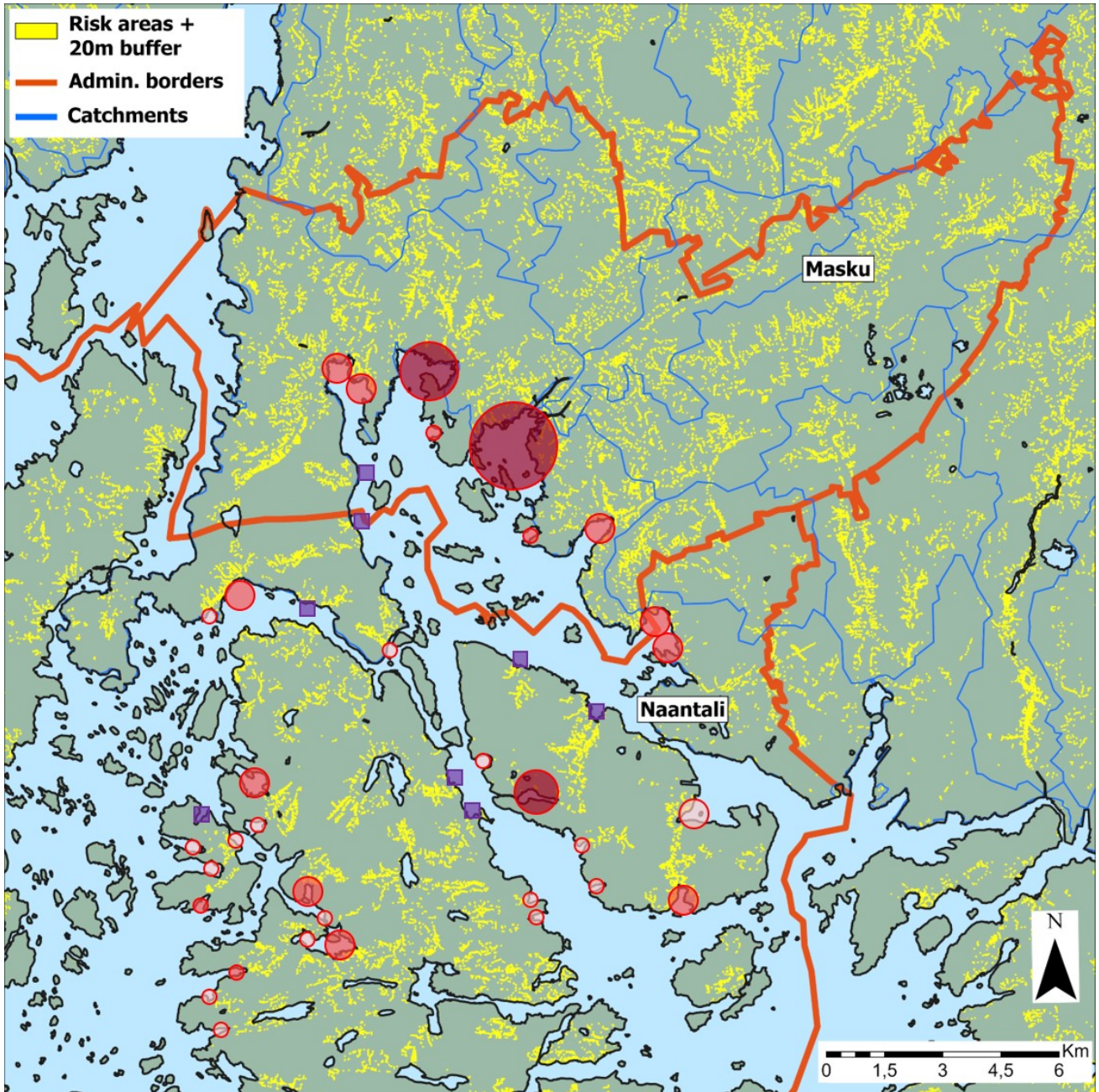
Kuva 22. Oletettu a-klorofyllipitoisuus (RFU) Naantalin ja Maskun rannikkovesissä syksyllä 2022. Mallinnetut arvot on ilmoitettu suhteellisina fluoresenssiyksiköinä (RFU) eikä mikrogrammoina litraa kohti ($\mu\text{g/l}$), koska mallintaminen perustuu ensin mainittuihin yksiköihin. Todelliset a-klorofyllin mittausravot esitetään kuitenkin liitteessä 1 mikrogrammoina litraa kohti. Oletustason mallinnuksessa on otettu huomioon veden suolapitoisuus ja lämpötila, ilmanpaine, yhteyttämiseen aallonpituudeltaan soveltuvan valon määrä (fotonikertymä) veden pinnalla, vuodenaika ja mittausvuosi. Malliarvio perustuu yhteensä 600 000 Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-2022 tehtyyn mittaushavaintoon näistä selittävästä muuttujista sekä a-klorofyllipitoisuudesta (vastemuuttuja). Mallin avulla voidaan selittää 59 % a-klorofyllipitoisuuden vaihtelusta koko aineistossa.

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalin ja Maskun rannikkovesissä 2022

Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 23. Poikkeama (SD) mitatun ja oletetun *a*-klorofyllipitoisuuden välillä Naantalin ja Maskun rannikkovesissä syksyllä 2022. CR-NM-hankeessa tuotettu, *a*-klorofyllipitoisuuden poikkeamia koskeva aineisto on jaettu tasaluokkiin kolmen prosenttipisteen välein. Valkoinen väri edustaa hankeessa kerätyn aineiston 50. prosenttipistettä eli mediaania. Tästä tummansinistä kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta negatiiviseen suuntaan hankealueen mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun *a*-klorofyllipitoisuuden vähenemistä). Vastaavasti tummanpunaista kohti vaihtuva väri kuvaa poikkeaman muutosta positiiviseen suuntaan aluekohtaisesta mediaanitasosta (eli ympäristöolosuhteisiin suhteutetun *a*-klorofyllipitoisuuden kasvua). Luokkien rajoja ilmentävät lukuarvot ovat suhteessa koko 600 000 poikkeamavasta koostuvaan tausta-aineistoon, jonka aritmeettinen keskiarvo on likipitään 0. Negatiiviset arvot kuvaavat siis oletustasoonsa nähden keskimääräistä alhaisempaa ja positiiviset arvot keskimääräistä korkeampaa *a*-klorofyllipitoisuutta, kun vertailukohtana ovat kaikki Etelä-Suomen rannikkovesissä vuosina 2018-22 tehdyt taustahavainnot.



Kuva 24. Kolmen keskeisimmän kuormitusindikaattorin arvojen poikkeamien (kuvat 6-23) perusteella tutkimusalueelta tunnistettiin 33 kohdetta, joissa maalta mereen päätyy huomattavaa hiili-, ravinne- ja/tai kiintoaineskuormitusta. Kohteet on merkitty karttaan ympyröin. Ympyrän halkaisija on (ordinaaliskaalan mukaisessa) suhteessa kuormituksen vaikutusten moninaisuuteen, niiden alueelliseen laajuuteen sekä ajalliseen toistuvuuteen. Moninaisuudella tarkoitetaan poikkeamiin viittaavien indikaattoreiden määrää (0-3). Ympyrän värin tummuus on suhteessa vaikutusten intensiiteettiin eli siihen, kuinka paljon veden laatu poikkeaa oletustasostaan (SD-yksiköin). Arviossa on otettu huomioon veden laadun paikallinen taustataso eli veden laadun vaihtelu kohteita ympäröivillä vesialueilla. Paikallisen taustatason määrittäminen oli kuitenkin haasteellista merkittävimpien kuormituskohteiden (isojen ympyröiden) sisällä sekä alueilla, joissa mittausresoluutio ja/tai -frekvenssi todettiin riittämättömäksi (violetit neliöt). Maankäytöstä syntyvien fosfori- ja kiintoainesvalumien riskialueet (ks. kuva 5) on merkitty karttaan keltaisella. Alueet, joita ei arvioida valumariskialueiksi on merkitty vihreällä. Kymmenen metrin korkeusmallia käyttämällä määritettyjen valuma-alueiden rajat on merkitty sinisellä. Tulkinnassa on tärkeää ottaa huomioon, että maa- ja metsätaloudelle ei metsätalouden osalta ole määritetty luotettavia ominaiskuormituskertoimia. Käytännössä metsätalousalueet eivät viitteellisiin ominaiskuormituskertoimiin perustuvassa analyysissä voi määrittyä riskialueiksi (ks. kuva 5).

5. Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset

5.1 Ympäristötyyppi ja keskeisimpien indikaattorimuuttujien oletustasot

Tutkimusympäristö osoittautui fysikaalisilta olosuhteiltaan hyvin monimuotoiseksi. Nämä ympäristötyyppien väliset erot tulee lähtökohtaisesti ottaa huomioon aina alueen vesien tilaa selvitettäessä. Esimerkiksi vesinäytteitä otettaessa on keskeisen tärkeää tietää, minkälaista ympäristöä näyte edustaa. Sekä ympäristötyyppiä että ympäristön oletettua tilaa tarkasteltaessa kävi ilmi, että aluetta hallitsee kaksi osin ulkoista ja lähes pohjois-etelä-suuntaista ympäristöjatkumoa: Mynälahdelta etelään ja Askaistenlahdelta etelään ulottuvat pääjatkumot. Vastaavasti sisäisistä jatkumoista merkittävimpiä olivat Hirvijoelta lounaaseen aina Luonnonmaan pohjoiskärkeen ulottuva vyöhyke sekä ja Rymättylän länsiosien itä-länsi-suuntainen sisä-ulkosaaristojatkumo. Tutkimusalueen rannikkovesien tilaa tarkasteltaessa on myös hyvä panna merkille, että erityisesti Askaistenlahden itäosat ja Rymättylän länsipuolen sisälahdet ovat luonnostaankin varsin reheviä. Vesien tila oli kuitenkin monin paikoin näillä alueilla verrattain huono tätäkin taustaa vastaan.

5.2 Indikaattorimuuttujien poikkeamat oletustasostaan

CR-NM-hankkeen havaintoaineistossa sameustason poikkeaman mediaani (-1,17 SD) oli huomattavasti alhaisempi kuin vertailuaineistossa (2,00 SD). Vesi oli siis fysikaalisten ympäristöolosuhteiden perusteella oletettua kirkkaampaa suuressa osassa tutkimuksen havaintopisteitä (eli suuressa osassa tutkimusalueita ja/tai suuren osan tutkimuksen kattamasta ajasta). Tästä huolimatta havaintoaineiston keskimääräinen (aritmeettinen keskiarvo) sameustason poikkeama (0,00 SD) oli sama kuin vertailuaineistossakin. Tämä kertoo erittäin suuresta vaihtelusta tutkimusalueen sisällä. Vaikka vesien ympäristöolosuhteisiin suhteutettu sameustaso olikin vertailuaineistoon nähden suurelta osin huomattavan alhainen, vedet olivat vastaavasti oletettua merkittävästi sameampia niissä kohteissa, joihin kuormitusta kohdistui.

Hankkeen havaintoaineistossa fluoresoivan, liukoisen eloperäisen aineksen pitoisuuden poikkeaman mediaani (-1,19 SD) oli jonkin verran alhaisempi kuin vertailuaineistossa (-0,81 SD). Ero selittyy parhaiten sillä, että pitoisuudet vähenevät Etelä-Suomen rannikolla länttä ja pohjoista kohti. Aritmeettiselta keskiarvoltaan pitoisuudet olivat kuitenkin tutkimusaineistossa (0,36 SD) korkeampia kuin vertailuaineistossa (0,00 SD). Tämäkin viittaa huomattavaan vedenlaadun vaihteluun tutkimusalueen sisällä. Vaikka liukoisen eloperäisen aineksen pitoisuuden taustataso onkin hankkeen havaintoaineistojen perusteella verrattain alhainen, kuormitus on paikallisesti merkittävästi oletettua korkeampaa. Näin oli erityisesti Hirvijoen vaikutusalueella.

CR-NM-hankkeen havaintoaineistossa α -klorofyllipitoisuuden poikkeaman mediaani (-0,37 SD) oli hieman korkeampi kuin vertailuaineistossa (-0,48 SD). Ero olisi oletettavasti vielä suurempi, mikäli veden sameus ja humuspitoisuus (vrt. liukoisen, eloperäisen aineksen pitoisuus) otettaisiin α -klorofyllipitoisuuden oletustason arvioinnissa huomioon. Tutkimusalueen huomattavimpien kuormituslähteiden vaikutuspiirissä vesi oli niin sameaa ja humuspitoista, että α -klorofyllipitoisuudet olivat valon puutteesta johtuen poikkeuksellisen matalia, vaikka veden kokonaisravinnepitoisuudet olivat olosuhteiden perusteella varmasti korkeita. Hankkeen havaintoaineistossa α -klorofyllipitoisuuden poikkeamat olivat kuitenkin aritmeettiselta keskiarvoltaan vastaavanlaisia kuin vertailuaineistossa eli likimäärin 0,00 SD. Käytännössä tutkimusalueen α -klorofyllipitoisuudet vaihtelivat alueellisesti ja ajallisesti yhtä laukukkaaseen tapaan kuin vertailuaineistossakin (Scheinin ja Asmala 2020).

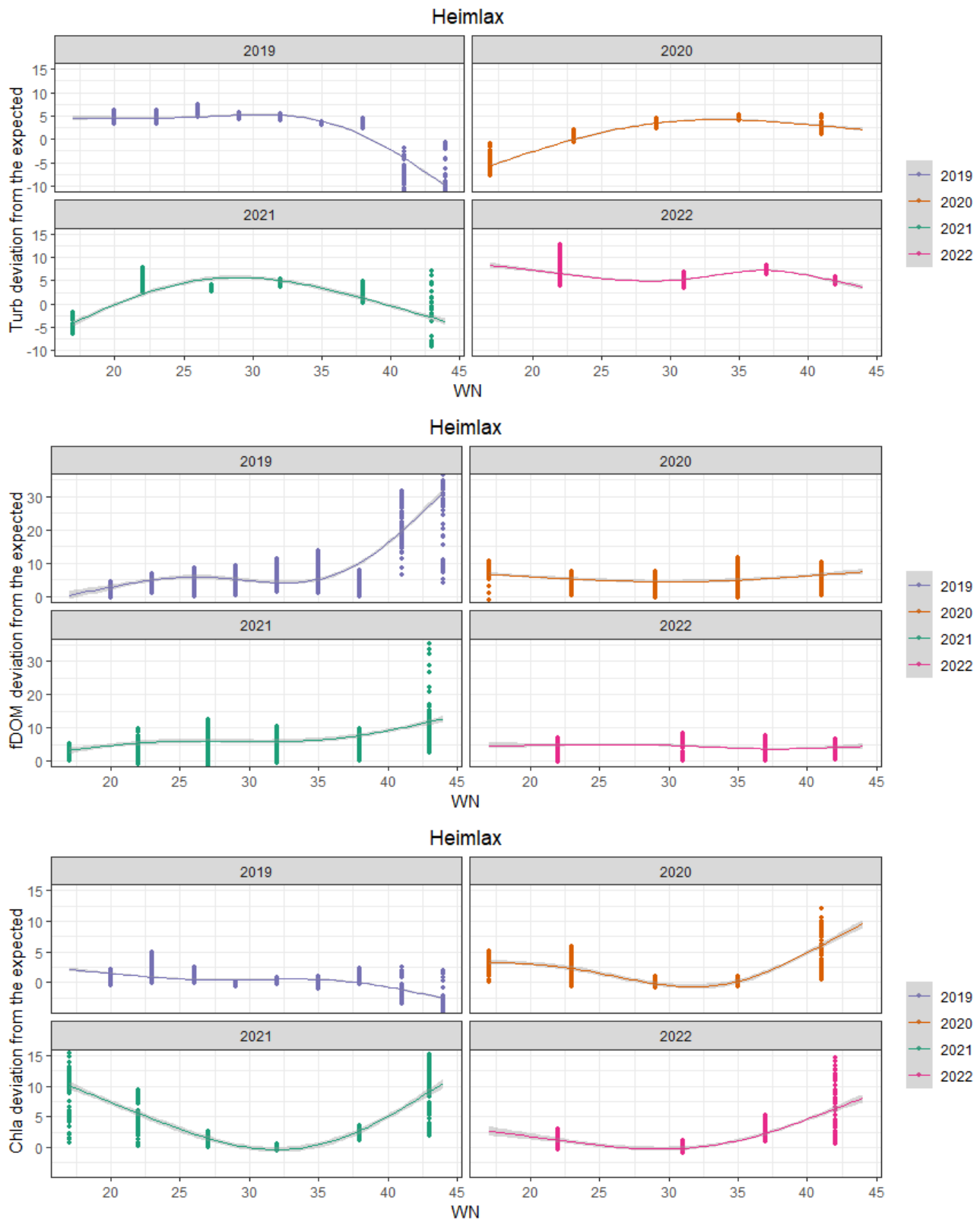
Kokonaisuutena tutkimusalueen vedenlaatu on fysikaaliseen ympäristöönsä nähden varsin samankaltaista kuin muillakin Etelä-Suomen rannikkovesillä. Tässä suhteessa tutkimusalueen sisäiset erot ovat kuitenkin vertailutaastaansa nähden huomattavampia.

5.3 Arvio aineiston keruun ja tulkinnan onnistumisesta

Pilottitutkimuksena toteutettujen kolmen vedenlaatukartoituksen aikana tuotettu aineisto vastasi käyttötarkoitustaan. Aineiston perusteella oli mahdollista tehdä alustava arvio kohdealueen vesien tilasta ja siihen kohdistuvista, keskeisimmistä paineista. Kerätty aineisto nousee kuitenkin entistä suurempaan arvoon, mikäli kartoituksia jatketaan tulevana vuosina lisäten alueellista ja ajallista kattavuutta (kuva 25).

CR-NM – Coastrider-pilottikartoitus Naantalın ja Maskun rannikkovesissä 2022

Raportti hankkeen taustasta, menetelmistä ja tuloksista 20.12.2022



Kuva 25. Coastrider-vedenlaatukartoituksia on muulla tehty säännöllisesti eri vuodenaikoina jo yli neljän vuoden ajan. Jatkuvan seurannan tuloksia havainnollistetaan mm. aikasarjoin, joissa ajallisia muutoksia (x-akselin viikkonumerot) ympäristön tilassa kuvataan esim. indikaattoriarvojen poikkeamin (y-akselin $SD \pm CI$) oletustasostaan (0). Esimerkkikuvaajat havainnollistavat tätä sameuden (ylh.) sekä liukoisen eloperäisen aineksen ja (kesk.) ja a-klorofyllin pitoisuuksien (alh.) osalta Raaseporin Heimlaxvikenissä 2019-22 aikana. Alaltaan ($< 1 \text{ km}^2$) pienen lahden noin 150 havaintopisteen (pisteet) sisäinen vaihtelu on huomattavan suurta.

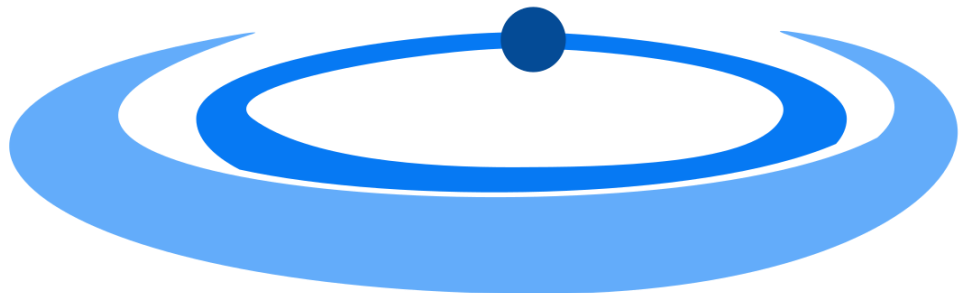
Tämän lisäksi mittauslinjaan on syytä tehdä maltillisia muutoksia. Muutamilla, pienehköillä alueilla (ks. kuva 24) vallitsevat ympäristöjatkumot hankaloittivat tulosten tulkintaa siinä määrin, ettei mittausten perusteella ollut mahdollista esittää edes valistunutta arvausta vedenlaadun poikkeamien alkuperästä. Vastaavan ongelman välttämiseksi mahdollisissa jatkoseurannoissa, mittausten resoluutiota ja kattavuutta näillä alueilla tulee lisätä nykyisestä.

6. Vaikutukset ja hyödynsaajat sekä jatkokehitystarpeet

Rannikkovesiin päätyvän ulkoisen hajakuormituksen aiheuttamia seurauksia pidetään tällä hetkellä merkittävimpänä Itämeren ekologisen tilan kohenemistä ehkäisevänä ongelmana. CR-NM-hankkeessa tuotettu tieto mahdollistaa kuormituslähteiden aiempaa yksityiskohtaisemman paikantamisen, niiden kuormitustason alustavan kvantifioinnin sekä kuormitusta ehkäisevien toimenpiteiden entistä tehokkaamman kohdentamisen. Pidemmällä aikavälillä hankkeessa käytetty toimintamalli mahdollistaisi myös alueella toteutettavien vesienhoito- ja hallintatoimenpiteiden (esim. kosteikot) sekä muiden ympäristömuutosten (esim. ruoppaukset) välittömän vaikuttavuusseurannan. Coastrider-toimintamallin perimmäisenä pyrkimyksenä on luoda edellytykset rannikkovesien vesienhallintatoimenpiteisiin käytössä olevien rajallisten taloudellisten resurssien optimaaliselle käytölle siten, että niistä on mahdollisimman suuria synergiahyötyjä myös maa- ja metsätalouden tuotantoedellytyksille ja ilmastolle. Mikäli Coastrider-toimintamallia voidaan soveltaa alueella jatkossakin, myös toimintamallin (ja CR-NM-pilottihankkeen) vaikuttavuudesta saadaan tarkempi käsitys. Arvioimalla alueellisia ja ajallisia muutoksia rannikkoekosysteemin tilassa, toiminnassa ja palveluissa, vesiympäristön tilassa tapahtuvien muutosten kautta voidaan arvioida myös pilottihankkeen vaikuttavuutta.

CR-NM-hankkeen ja laajemmin Coastrider-toimintamallin hyödynsaajiin voidaan laskea mm. hankealueen rannikoiden asukkaat, rannikkoympäristöjen ekosysteemipalveluiden kautta suoraan tai välillisesti elantonsa saavat toimijat sekä viime kädessä kaikki valtakunnan veronmaksajat. Koska hankealueen rannikkovesien tila vaikuttaa koko Saaristomeren tilaan, edellä mainitut vaikutukset ovat teoriassa havaittavissa myös muissa Saaristomeren kunnissa. 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 alueen ympäristöviranomaiset.

pro litore



7. Raportissa käytetyt kirjallisuusviitteet

1. Anon. 2022. Fondriest Environmental Learning Center. <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/>. 18.12.2022.
2. 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.
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. *Limnology and Oceanography*. 67, 1-12.
4. 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.
5. Canning AR, Fietzek P, Rehder G, Körtzinger A. 2021. Technical note: Seamless gas measurements across the land–ocean aquatic continuum – corrections and evaluation of sensor data for CO₂, CH₄ and O₂ from field deployments in contrasting environments. *Biogeosciences*. 18, 1351–1373. <https://doi.org/10.5194/bg-18-1351-2021>.
6. Fiedler B, Fietzek P, Vieira N, Silva P, Bittig HC, Körtzinger A. 2013 In situ CO₂ and O₂ measurements on a profiling float. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 30, 112–126. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-12-00043.1>.
7. Fietzek P, Fiedler B, Steinhoff T, Körtzinger A. 2014. In situ quality assessment of a novel underwater pCO₂ sensor based on membrane equilibration and NDIR spectrometry. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 31, 181–196. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-13-00083.1>.
8. Gülzow W, Rehder G, Schneider B, Deimling JS v, Sadkowiak B. 2011. A new method for continuous measurement of methane and carbon dioxide in surface waters using off-axis integrated cavity output spectroscopy (ICOS): An example from the Baltic Sea. *Limnology and Oceanography Methods*. 9, 176–184. <https://doi.org/10.4319/lom.2011.9.176>.
9. 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>
10. Linders, J, Willstrand Wranne A, Perivoliotis L, Gorrige P. 2017. Best practices for quality control of sensor based biochemical data. Version 1.3. [Deliverable 5.11].
11. 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.
12. Miloshevich LM, Paukkunen A, Vömel H, Oltmans SJ. 2004. Development and validation of a time-lag correction for Vaisala radiosonde humidity measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 21, 1305–1327. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2004\)021<1305:DAVOAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2004)021<1305:DAVOAT>2.0.CO;2).
13. 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>
14. Sivertun Å. 2003. Non-point source critical area analysis in the Gisselö watershed using GIS. *Environmental Modelling and Software*. 18: 887-898.
15. 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.
16. Takahashi T, Olafsson J, Goddard JG, Chipman DW, Sutherland S. 1993. Seasonal variation of CO₂ and nutrients in the high-latitude surface oceans: A comparative study. *Global Biogeochemical Cycles*. 7, 843–878.
17. Weiss, R. F. 1974. Carbon dioxide in water and seawater: the solubility of a nonideal gas. *Marine Chemistry*. 2:203-215. 10.1016/0304-4203(74)90015-2.
18. Wiesenburg, D.A. and Guinasso, N.L. 1979. Equilibrium solubilities of methane, carbon monoxide, and hydrogen in water and sea water. *Journal of Chemical and Engineering Data*, Vol. 24(4), 1979.