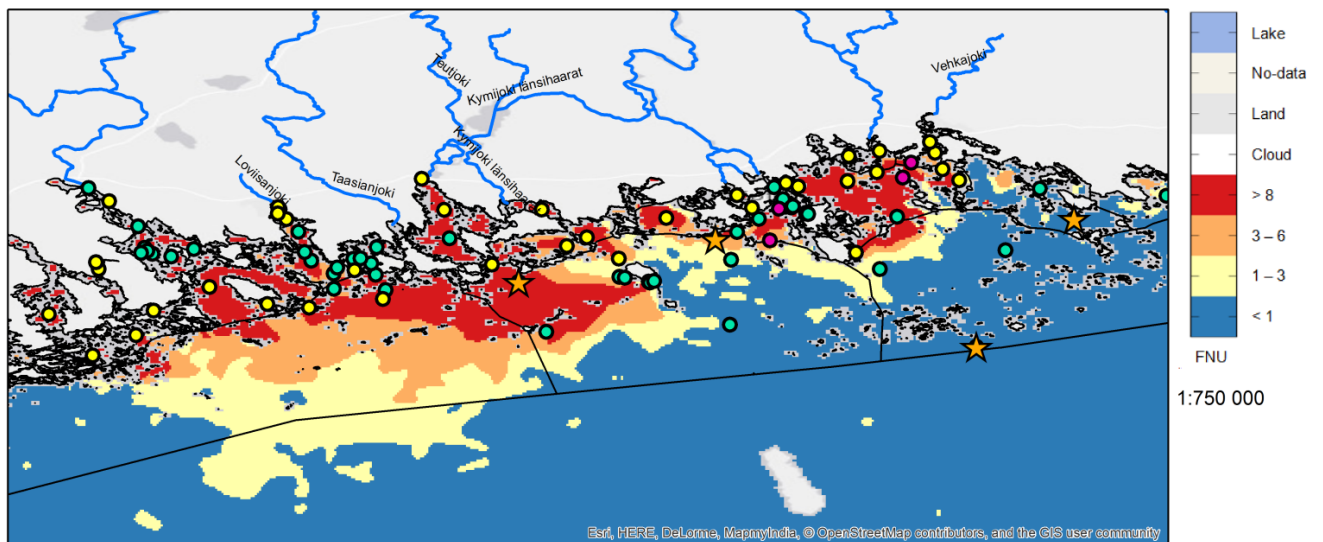


Jokivesien sameusalueet rannikolla vuosien 2003–2015 satelliittikuvista arvioituna

Jenni Attila TK/SYKE
Hanna Alasalmi TK/SYKE
Eeva Bruun TK/SYKE
Kari Kallio MK/SYKE
Antti Räike/MK/SYKE

jenni.attila@ymparisto.fi, hanna.alasalmi@ymparisto.fi



1. Johdanto

Tässä raportissa arvioidaan satelliittikuvatuotteiden avulla jokivesien vaikutusalueita Suomen rannikolla osana maa- ja metsätalousministeriön vuonna 2015 rahoittamaa MaaMet-seurantaa.

Kaukokartoitusaineistoilla voidaan tuottaa ympäristön tilaa koskevaa tietoa laajoille alueille ja jopa lähes reaaliajassa. SYKEssä tehdään kaukokartoitusta sekä perustutkimuksen (algoritmikehitys) että tiedon tuottamisen tasolla (tuotteiden jalostus ja jakelu); suurimpana etuna perinteiseen seurantaan verrattuna on tuotettujen aineistojen alueellinen ja ajallinen kattavuus. Vuonna 2015 MaaMet-seurannassa käytettyjä menetelmiä kehitettiin vuosien 2013–2014 aikana YMN rahoittamassa GEOMON-projektissa, jonka lopputulokset on raportoitu (GEOMON-loppuraportti, Metsämäki et al. (2014)). GEOMON-projektin osahankkeessa 2 kehitettiin erityisesti valuma-alueiden ja rannikon vesimuodostumien seurantaa perustuen nykyisiin GIS- ja kaukokartoitusaineistoihin ja menetelmiin. Tuloksena syntyi uudenlaisia aineistoja ja menetelmiä, joiden avulla ympäristön tilaa ja sen muutoksia voidaan arvioida ja seurata. Painopiste oli erityisesti valuma-alueen maankäytön, jokiasemilta mitattujen virtaamien sekä rannikon satelliittipohjaisten vedenlaatuhavaintojen keskinäisten riippuvuuksien määrittämisessä. Lopputuloksena syntyi myös menetelmä, jolla määritetään jokivesien vaikutusalueita rannikolla satelliittikuva-aineistolta tulkittun veden sameuden perusteella. Menetelmä kehitettiin erityisesti ENVISAT-satelliitin MERIS-instrumentin käyttöön, jolloin sitä voidaan hyödyntää myös vuoden helmikuussa onnistuneesti laukaistun ensimmäisen Sentinel-3-sarjan OLCI-instrumenteilla vuoteen 2029 saakka. Vuonna 2015 MaaMet-seurannassa hyödynnettiin näitä menetelmiä sekä MERIS-instrumentin historiallisella aikasarjalla (2003–2011) että erityisesti MODIS-instrumentin aineistolla, pääasiassa vuoden 2015 osalta. GEOMON-projektin aikana GIS- ja kaukokartoitusaineistojen yhteisvertailusta voitiin päätellä, että valuma-alueen maanpeitteen (maankäytön) ja satelliitista havaittujen rannikon sameusaineistojen välillä on selkeä riippuvuus, jonka seuraamista voidaan tehostaa hyödyntämällä satelliittiaineistoja. On tärkeää, että seurantatyössä hyödynnetään monipuolisesti myös satelliittihavaintoja sameudesta sekä GIS-aineistoista laskettuja valuma-aluekohtaisia tilastoja.

MERIS-instrumentti, sekä hiljattain laukaistu ensimmäinen OLCI-instrumentti havainnoivat päivittäin pilvettömiltä alueilta koko Itämeren aluetta 300 m maastoerotuskyvyllä, mikä on riittävä monen rannikon jokisuiston sameuspitoisuuksien määrittämiseen. Vuosien 2012–2015 osalta saatavilla olevat satelliittiaineistot ovat jokisuistojen osalta maastoerotuskyvyltään karkeampia (1km, MODIS-instrumentti), ja soveltuvat parhaiten ulompien rannikkoalueiden seurantaan. Jokivesien kevättulvan sekä rankkasateiden jälkeen tuomat sameuspiirteet erottuvat kuitenkin selkeästi myös tällä karkeammalla maastoerotuskyvyllä.

MaaMet-seurannassa keskityttiin vuoden 2015 aikana tuottamaan aiempaa aikasarjaa vastaavia aineistoja vuoden 2015 aineistoilta. Lopputuloksena oli koko rannikon kattava jokivesien vaikutusaluekartta vuoden 2015 osalta. Lisäksi tarkasteltiin MERIS-instrumentin aineistoista tulkittua α -klorofyllin ajallista ja paikallista vaihtelua jokien edustoilla sekä verrattiin niitä samanaikaisiin sameushavaintoihin. Satelliittiaineistoilta määritettyihin sameuden leviämiskarttoihin lisättiin seuranta-asemien sijainnit sekä havaintojen lukumäärät luokiteltuina muutamaan luokkaan, jotta voitiin havainnollistaa seuranta-asemien havaintojen kattavuutta ja sijaintia jokivesien vaikutusalueisiin nähden. Jokivesien leviämistä arvioitiin sameuden avulla ja yhdistämällä jokiasemien virtaamahavaintoja jokien läheisten vesimuodostumien sameushavaintoihin.

Taulukko 1. Instrumenttien lyhenteet ja selitykset

Satelliitti	Instrumentti	Käyttöperiodi	Organisaatio
ENVISAT	MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer)	2003 – 2011 (tässä projektissa)	ESA (Euroopan avaruusjärjestö, European Space Agency)
AQUA	MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	2012 -> (tässä projektissa)	NASA (National Aeronautics and Space Administration)
Sentinel - 3a	OLCI (Ocean and Land Colour Instrument)	2016 ->	ESA
Sentinel - 2a	MSI (MultiSpectral Instrument)	2015 ->	ESA

2. Materiaali ja menetelmät

Sameuden ja α -klorofyllin tulkinta satelliittikuvilta

Sameus sekä α -klorofylli-tulkinnat tehtiin satelliittikuvilta muiden projektien puitteissa, osana SYKEN operatiivista kaukokartoitustoimintaa. MaaMet-seuranta hyödynsi niiden pohjalta tehtyjä räätälöidympiä tuotteita. Hyödynnettävät aineistot olivat:

- Kaukokartoitusaineistot huhti-syyskuulta vuosilta 2003–2011 (MERIS) ja 2015 (MODIS). Näitä kuvilta tulkittiin sameus [FNU] ja α -klorofyllipitoisuus [$\mu\text{g/l}$].
- Rannikon havaintoasemien ja automaattisten jokiasemien mittaustulokset ja asemien sijaintitiedot.

MERIS-instrumentin havainnot muunnettiin sameus- ja α -klorofyllipitoisuuksiksi käyttämällä inversioalgoritmeja, jotka on aiemmissa vertailuissa todettu Suomen rannikon osalta optimaalisiksi. Sameus tulkittiin C2R – prosessorilla (Doerffer, R., & Schiller, H. (2007, 2008), Suomen rannikon vertailu: Attila et al. 2013) ja α -klorofyllipitoisuus FUB-prosessorilla (Scroeder et al. 2007a, 2007b, Attila et al. 2016). Molemmat prosessorit ovat saatavilla avoimen lähdekoodin BEAM-ohjelmiston plug-in–prosessoreina (<http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/>), joiden käyttö on SYKEssä pitkälti automatisoitu. NASAn MODIS-instrumentin kuvat prosessoitiin SeaDAS-ohjelmistolla (seadas.gsfc.nasa.gov/) käyttäen bio-optisen mallin tulkitsemää α -klorofyllin osalta pigmentin absorptiota sekä paikallisesti muunnettuja kertoimia. Sameuden osalta muunnos tehtiin bio-optisen mallin tulkitseman takaisinsirontakertoimen avulla sovitettuna Itämeren optisten ominaisuuksien mukaan.





Sameusmaksimien laskenta

Kaukokartoitussameusaineistoista laskettiin vuosittaiset maksimihavainnot, jotka työstettiin luokitelluiksi kartoiksi koko rannikon osalta vuosilta 2003–2011. Kartat ovat havainnollisia, kun halutaan arvioida jokivesien vaikutusalueita rannikkovesissä. Menetelmä kehitettiin GEOMON-projektin aikana vuosina 2013–2014. Sinä aikana todettiin, että menetelmäkehitystä on syytä jatkaa siten, että huomioidaan erityisesti jokivesissä havaittujen suurten virtaamien jälkeiset ajankohdat sekä rajataan kesän sinileväaika pois. Suurin osa maksimisameuksista havaitaan kevätaikaan. Tämä toteutettiin MaaMet-hankkeen aikana, hyvin tuloksin. Lisäksi MaaMet-hankkeen aikana keskityttiin poistamaan resuspensiotilanteiden vaikutus lopputuloksista. Erityisesti syksyisin ajoittain ilmenevät voimakkaat resuspensiot länsirannikolla hankaloittivat jokivesien vaikutusalueiden määrittämistä länsirannikon pohjoisosissa.

Sameuskuvilta laskettiin maksimihavainnot kunkin pikselin osalta, ns. maksimikuvat. Nämä maksimikuvat suodatettiin mediaanisuodatuksella ja lopuksi jaettiin erillisiin luokkiin sameuspitoisuuden maksimin perusteella. Luokituksessa käytettiin raja-arvoja, jotka on esitetty taulukossa 2.

α -klorofyllille laskettiin vuosittaiset maksimikuvat. α -klorofylliaineistoissa jätettiin huomioimatta rannikolta alueet, joiden syvyys on alle 5m.

Taulukko 2. Luokkarajat, satelliitin havaitsema vuosittainen maksimisameus [FNU].

Luokka	Luokkarajat, satelliitin havaitsema maksimisameus [FNU]	Värit kartalla
1	< 1	
2	1-3	
3	3-6	
4	8	

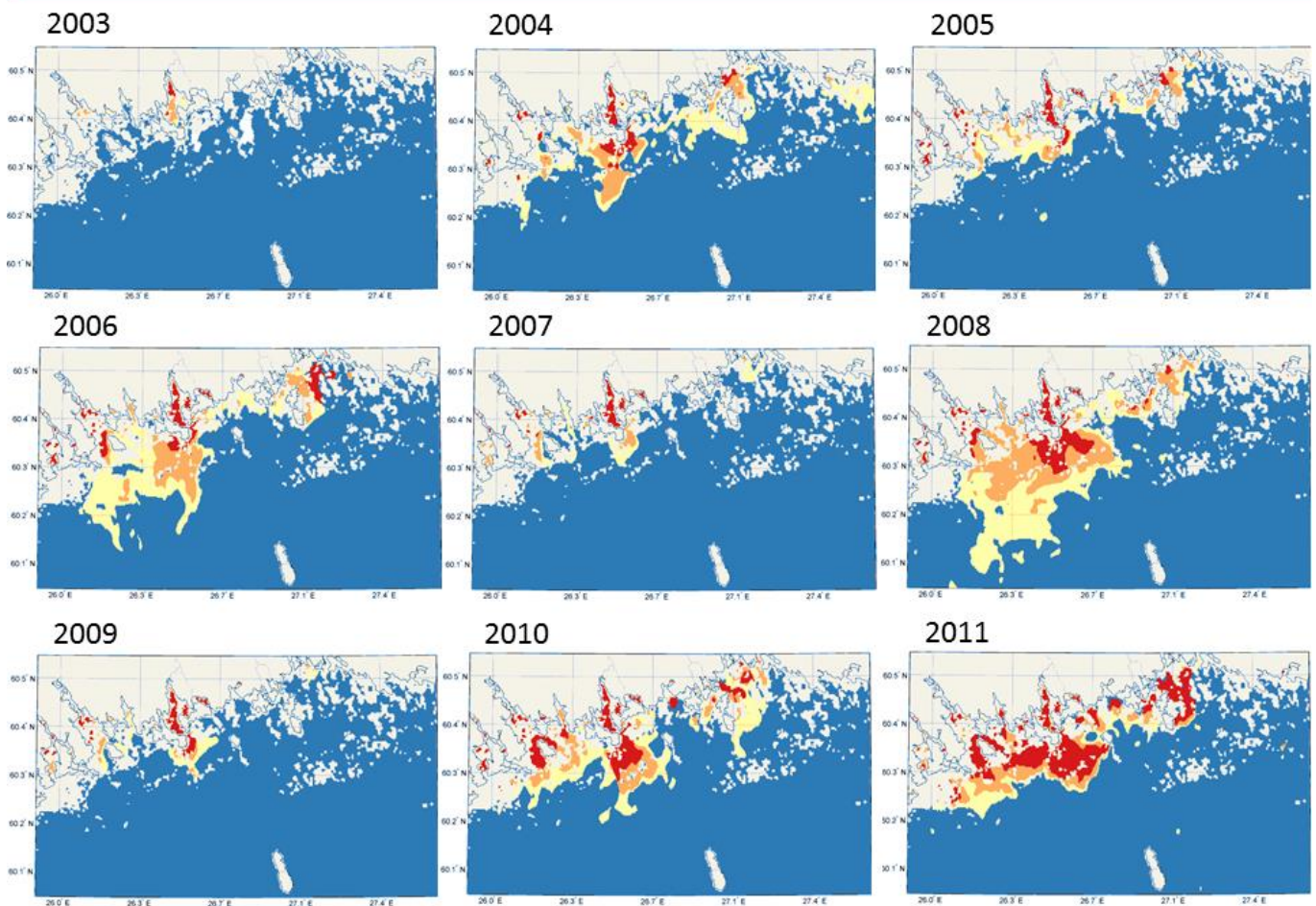
3. Tuotteet

MaaMet-saerantaa varten työstettiin satelliitti-instrumentin havaintojen tulkinnoista räätälöityjä jatko tuotteita, jotka keskittyivät erityisesti rannikon jokisuistojen tapahtumien seuraamiseen, sekä havaintoasemien sijainnin soveltuvuuteen jokisuiston sameusilmiöiden seuranta varten. Oheisten esimerkkien lisäksi koko laskettu aineisto on saatavilla ympäristöhallinnon käyttöön hakemistosta: M:\gEO\MaaMet (ELYt: \\kk20\ryhma\gEO\MaaMet\). Aineisto voidaan pyynnöstä toimittaa myös koko laajuudessaan alueellisille ELY-keskuksille.

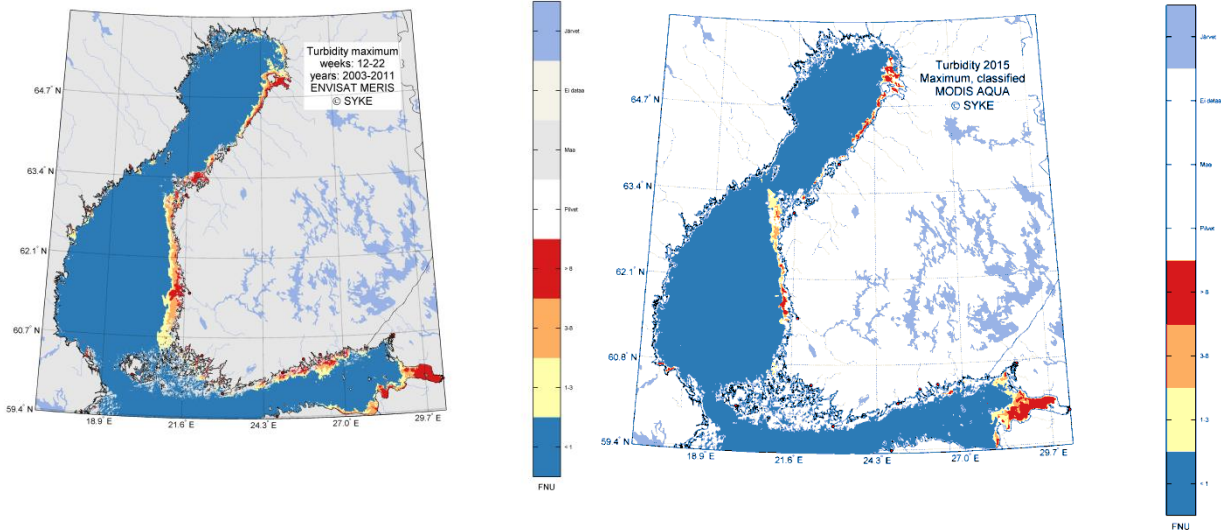
3.1. Jokisuistokuvat

- Sisältävät vuosittaiset havaitut suurimmat sameusarvot jokisuistoista, mukaan lukien kevään sulamisajan sekä myös rankkasateiden jälkeiset alkukesän ja syksyn havainnot. Sinileväajan havaintoja ei hyödynnetty.
- Kevään sulamisajan kuvat ovat myös koostettu powerpoint-esitykseen, jossa on jokainen jokisuisto omalla sivullaan (esimerkki kuvassa 1 Koskenkylänjoen osalta).
- Vuosilta 2003–2011 koostettiin koko ajanjakson maksimivaikutusalueutta kuvaava luokituskartta rannikon osalta (kuva 2a). Tästä koko ajanjakson koosteesta piirrettiin myös jokisuistoille oma ko. ajanjakson vaikutusalueutta kuvaavat kuvat.

Koskenkylänjoki, kevät viikot 12-22



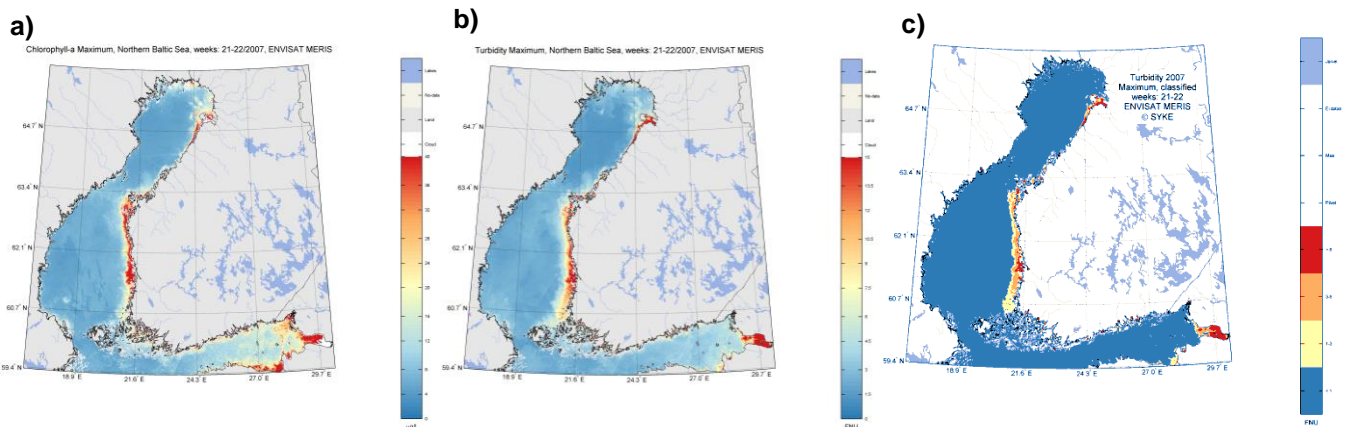
Kuva 1. Koskenkylänjoen jokisuiston keväiset (viikot 12–22) sameusalueet vuosina 2003–2011.



Kuva 2. a) MERIS-kooste rannikon jokivesien tuoman sameuden alueista vuosien 2003–2011 osalta ja b) MODIS-kooste rannikon jokivesien tuoman sameuden alueista vuoden 2015 osalta. Pietarin lähivesien sameus-alueen laajentuminen lännemmäksi vuonna 2015 johtui Bronkan sataman ruoppauksista.

3.2. Sameuden ja α -klorofyllin vuosittaiset maksimikuvat

- Maksimikuvat on laskettu kevätajalta (viikot 12–22). Myös muita periodeja kokeiltiin, mutta kevät kuvasti jokivesien vaikutusalueita parhaiten.
- Sameusmaksimi on luokiteltu neljään luokkaan taulukon 2 sameuspitoisuuksien mukaisesti.



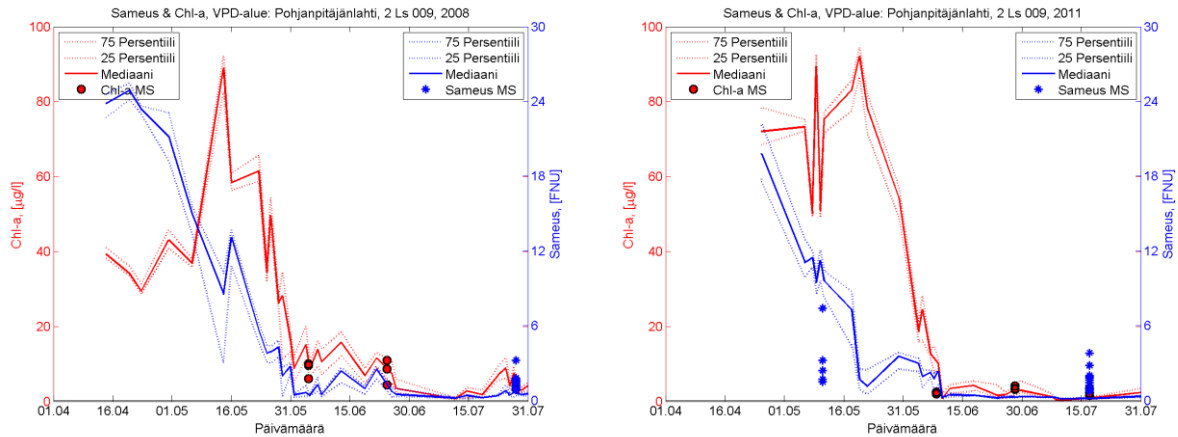
Kuva 3. Pohjoisen Itämeren maksimipitoisuuskuvat kevään osalta (viikot 12–22) vuonna 2007: a) α -klorofylli, b) sameus c) luokiteltu sameus. MERIS-instrumentti.

3.3. Aikasarjakuvat

Eri jokisuistojen edustalta koostettiin vesimuodostumittain aikasarjoja:

- Satelliittikuvasta havaitun sameuden ja jokiasemilta mitatun virtaaman yhdistäviä aikasarjoja laskettiin vuosilta 2003–2011 yli 60:ltä rannikon vesimuodostumalta (esimerkki kuvassa 5a). Samaa menetelmää käytettiin myös vuoden 2015 aineistoon, mutta vastaavanlaiseen vertailuun kyseisenä vuonna käytettävissä oleva 1 km maastoerotuskyvyyn MODIS-aineisto ei ollut riittävä.

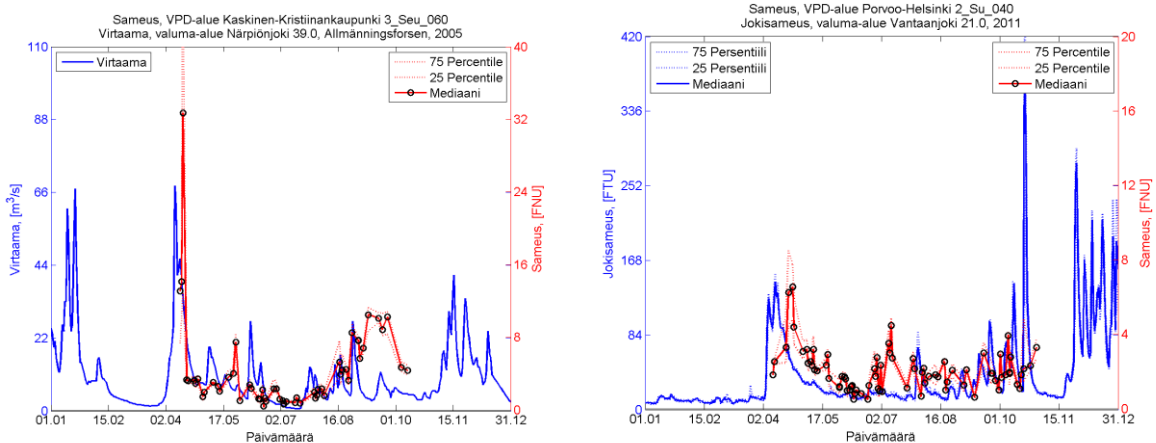
- Satelliittikuvalta havaitun sameuden ja jokien automaattiasemilta mitatun sameuden yhdistäviä aikasarjoja laskettiin neljältä eri vuodelta ja seitsemältä eri vesimuodostumalta jokisuiston edustalta (kuva 5b).
- Satelliittikuvalta havaitun sameuden- ja α -klorofyllin sekä mittaustuloksia yhdistäviä aikasarjoja koostettiin vuosilta 2003–2011 seitsemältä eri vesimuodostumalta jokisuiston edustalta. Esimerkki kuvassa 4b.
- Satelliittikuvalta havaitun sameuden vesimuodostumakohtaisia aikasarjoja, joissa on mukana havaintoasemilta mitattu sameus, vuosilta 2003–2011 ja 2015 (esimerkki kuvassa 6).



a)

Kuva 4. Sameuden (sininen viiva) ja α -klorofyllin (punainen viiva) yhdistetyt aikasarjat Pohjanpitäjänlahden VPD-alueelta vuosina 2008 ja 2011. Kuvissa on esitetty myös sameuden (siniset ympyrät) ja α -klorofyllin (punaiset ympyrät) mittaustulokset. Sameushavainnoissa on kyseessä havainnot eri syvyyksiltä (Esimerkiksi 11.5.2011 syvyydet ovat 1, 5, 10, 20, 30, 40m).

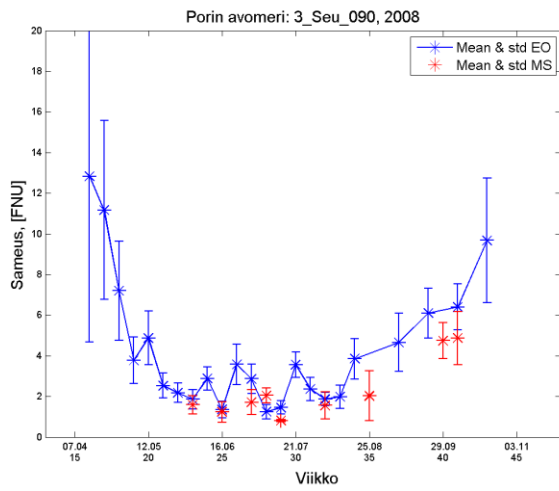
b)



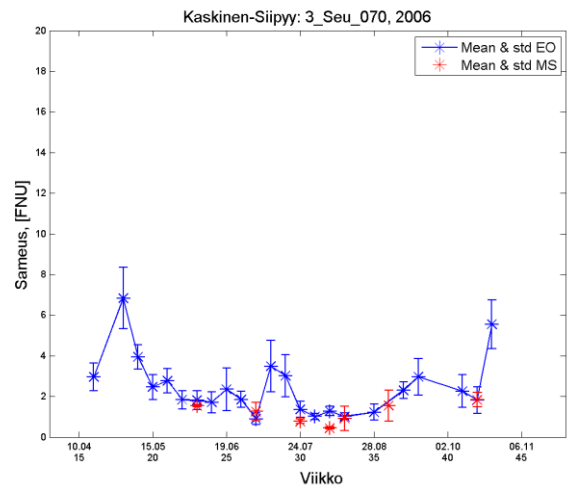
a)

Kuva 5. Närpiönjoen jokiasemalta mitatun automaattisen virtaaman (sininen viiva) ja satelliitin havaitseman sameuden (punainen viiva) yhdistetty aikasarja VPD-alueelle Kaskinen-Kristiinankaupunki vuonna 2005. b) Vantaanjoen automaattisten jokisameushavaintojen (sininen viiva) ja läheisen VPD-alueen (Porvoo-Helsinki) sameuden (punainen viiva) yhdistetty aikasarja vuonna 2011.

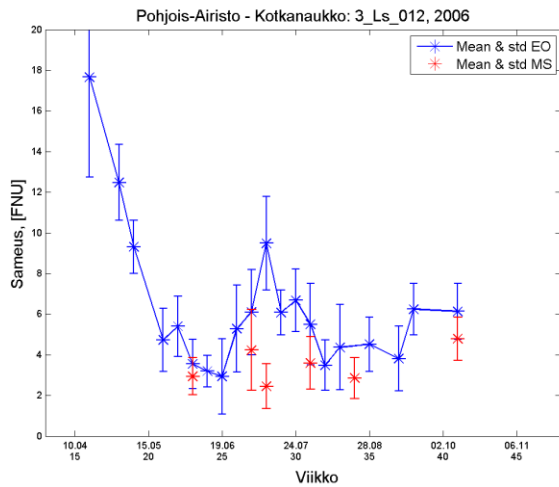
b)



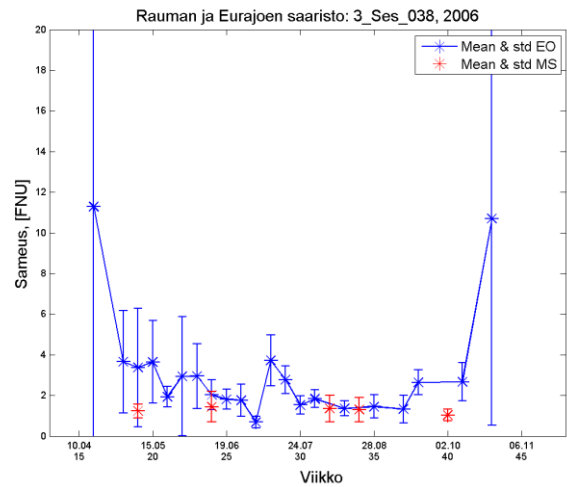
a)



b)



c)



d)

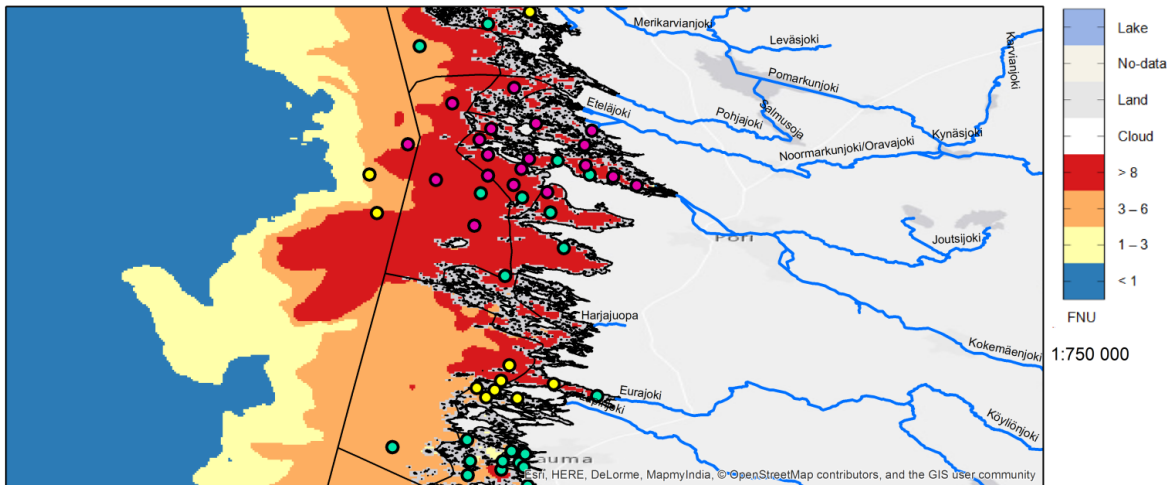
Kuva 6. Rannikovesien havaintoasemien mitattu pitoisuus (punainen tähti) ja satelliitista havaittu (sininen tähti) sameuksien vesimuodostumakohtainen aikasarja vuonna 2006. VPD-alue: a) Porin avomeri (3_Seu_090), 2008, b) Kaskinen-Sipyy (3_Seu_070), 2006, c) Pohjois-Airisto (3_Ls_012), 2006 sekä d) Rauman ja Eurajoen saaristo (3_Ses_038),

Rannikon havaintoasemien sijainnin ja sameusalueiden vertailu

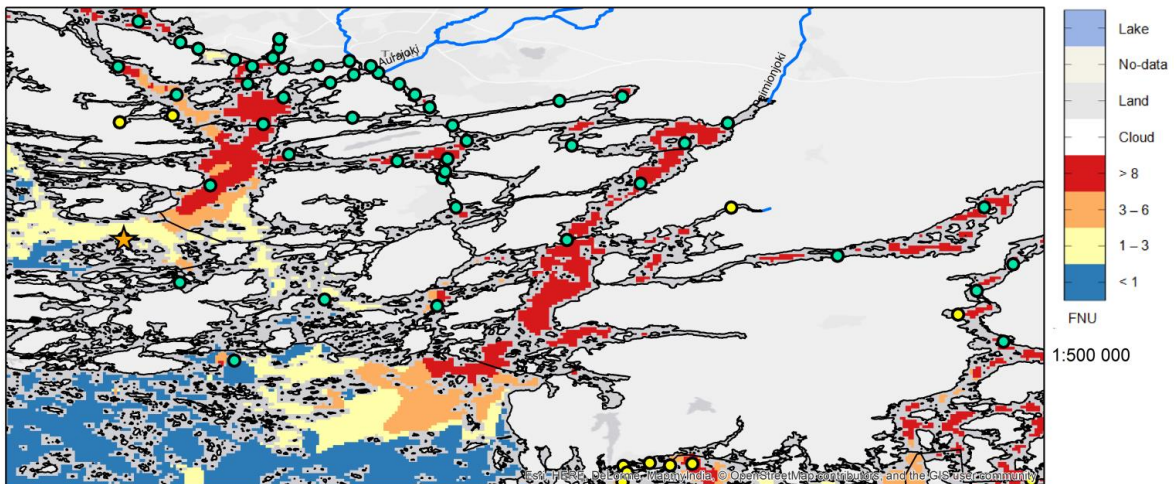
Satelliittiaineistoilta määritettyihin sameuden leviämiskarttoihin lisättiin seuranta-asemien sijainnit sekä havaintojen lukumäärät luokiteltuina muutamaan luokkaan, jotta voitiin havainnollistaa seuranta-asemien havaintojen kattavuutta ja sijaintia jokivesien vaikutusalueisiin nähden. Kuvissa 7a-d on esitetty rannikon havaintoasemien sijainti sekä havaintojen määrä verrattuna MERIS-instrumentin havainnoista koostettuun yhdeksän vuoden sameusmaksimikarttaan. MERIS-havainnot on koottu vuosilta 2003–2011, havaintoasemien sijainti ja lukumäärä on kartoitettu vuoden 2014 perusteella. Jokisuistojen välillä on eroja havaintojen määrässä, sekä sillä kuinka kattavasti havaintoja tehdään verrattuna MERIS-aineistolta määritettyyn sameusalueeseen.

Sameuden mittauspäiviä 15.4-30.9.2014, 0-1m syvyyksiltä

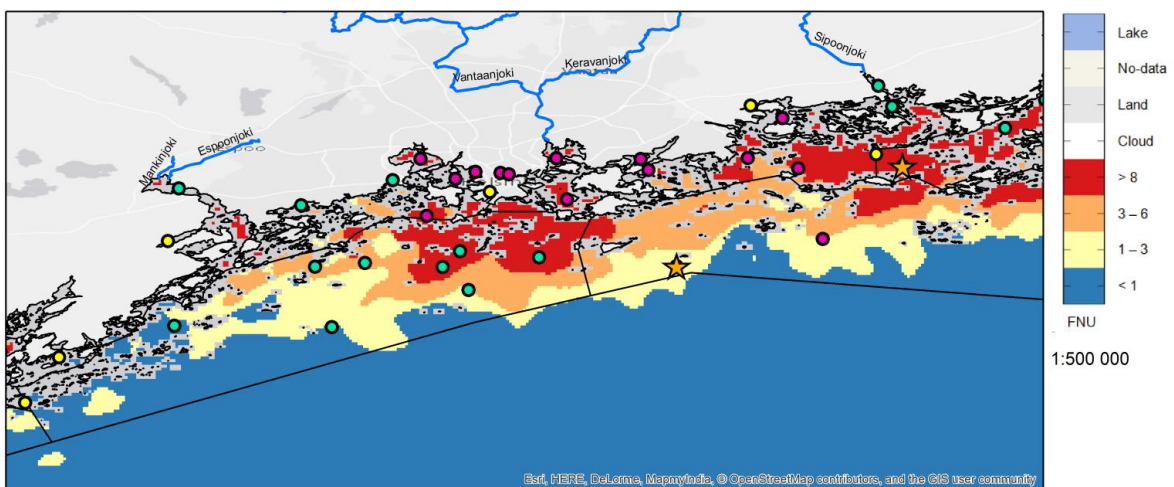
- 1
- 2 - 5
- 6 - 25
- ★ Intensiiviasema



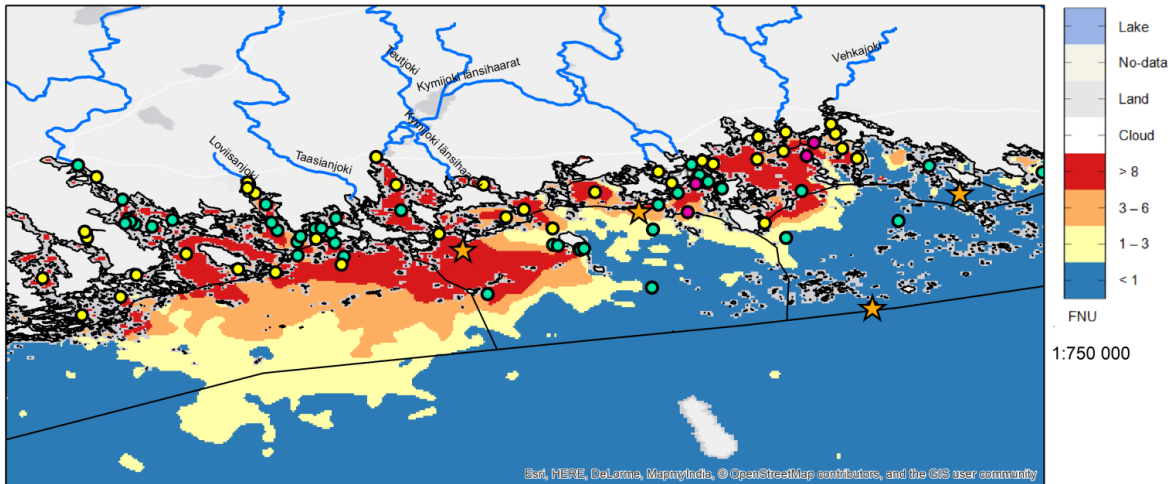
a)



b)



c)

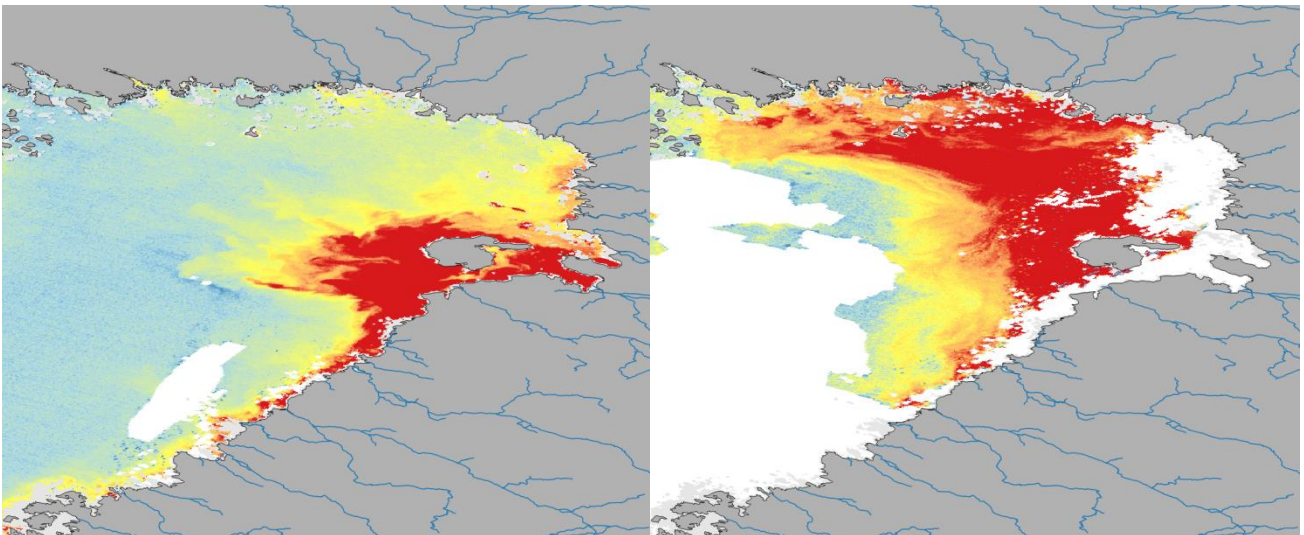


d)

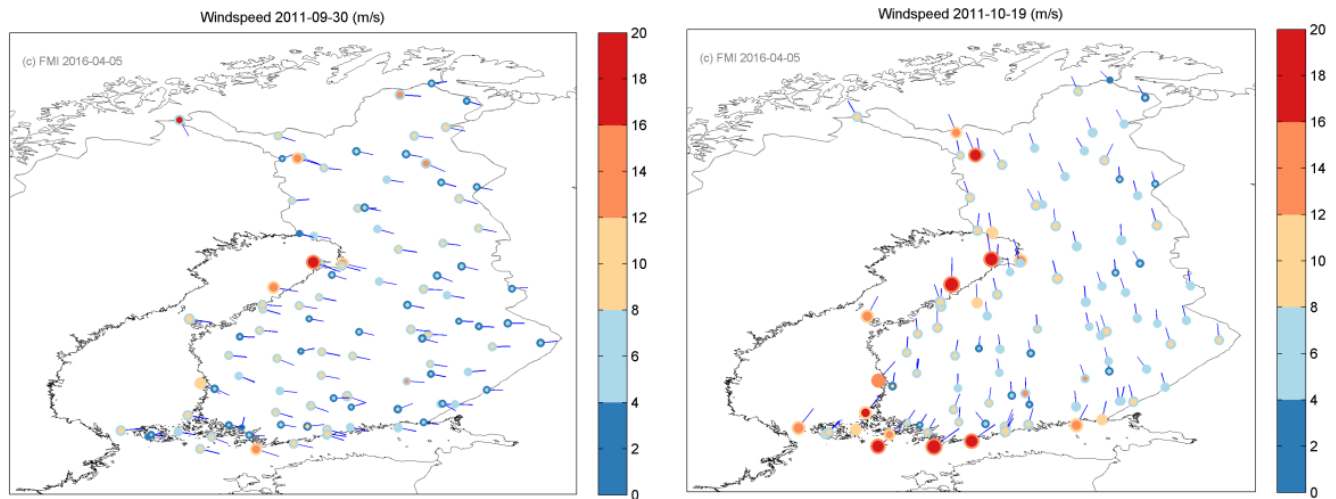
Kuva 7. Havaintoasemien sijainti ja havaintojen määrä jokisuistojen lähellä esitettynä vuosien 2003–2011 MERIS-instrumentin havaitsemien sameusmaksimikoostekarttojen kanssa a) Kokemäenjoki ja Eurajoki, b) Paimionjoki, c) Vantaanjoki ja d) Kymijoki. Havaintoasemat on merkitty karttaan eri symboleilla havaintojen määrän mukaan.

3.4. Resuspensio-alueiden huomioiminen

Vuoden 2015 aikana aiempien vuosien (2003–2011) sameusaluekoosteista poistettiin länsirannikon osalta resuspension aiheuttamien sameusilmiöiden vaikutusta, mikä paransi erityisesti länsirannikon pohjoisosien jokivesien vaikutusalueiden määrittämistä. Kuvassa 8 on esimerkkejä satelliittikuvilta havaituista Perämeren resuspensioista vuodelta 2011. Menetelmässä otettiin huomioon tuulitiedot (kuva 9), jotka luettiin Ilmatieteen laitoksen sääasematiedoista ja työstettiin päiväkohtaisiksi kartoiksi.



Kuva 8. Esimerkkejä havaituista Perämeren resuspensioalueista 1.10.2011 ja 20.10.2011.



Kuva 9. Perämeren 1.10.2011 ja 20.10.2011 resuspensioihin (kuva 8) liittyvät tuulikartat satelliittihavaintoa edeltäviltä päiviltä 30.9.2011 ja 19.10.2011 (Lähde: Ilmatieteen laitoksen avoin tuulaineisto).

4. Aineistojen saatavuus

4.1 Aineisto paikassa M:\gEO\MaaMet

Aineistoista löytyy enemmän kuvia hakemistosta:

M:\gEO\MaaMet/

* sameuden ja a-klorofyllin vuosittaiset maksimikuvat

Tarvittaessa sinne voidaan täydentää enemmän tuloksia sekä kuvat png-formaatissa.

Osa aineistoista on saatavilla myös geotiff-formaatissa, jotka voi lukea karttaohjelmiin ja käyttää yhdessä muiden kartta-aineistojen kanssa.

Hakemisto on avoin myös ELYille, osoite: \\kk20\ryhma\gEO\MaaMet\

5. Nykyisten instrumenttien mahdollisuudet havainnoida jokivesien vaikutusalueita

Vuoden 2012 kevään jälkeen laadukkaan MERIS-instrumentin aineistoa ei ole ollut enää käytössä. Vuosien 2012–2015 osalta päivittäin havaittavat satelliitti-aineistot ovat olleet jokisuistojen osalta maastoerotuskyvyltään karkeampia (1 km) elinkaarensa loppuvaiheessa olevan MODIS-instrumentin havaintoja. Niiden laatu ja tarkkuus eivät ole vastanneet MERIS-aikasarjaa. Sentinel3-sarjan yhteensä neljä peräkkäistä OLCI-instrumenttia jatkavat helmikuusta 2016 alkaen MERIS-instrumenttia vastaavien havaintojen sarjaa vuoteen 2029 saakka. Lisäksi Sentinel-2 sarjan peräkkäiset MSI-instrumentit mahdollistavat huomattavasti tarkemman jokisuistojen havainnoinnin erityisesti sameuden ja jatkossa myös näkösyvyyden osalta. Ensimmäinen MSI-instrumentti laukaistiin kesäkuussa 2015 havainnoimaan rannikoita ja maa-alueita 10–20 m:n maastoerotuskyvyllä, mikä mahdollistaa pientenkin jokisuistojen havainnoimisen noin 5 päivän välein. Vuodesta 2017 lähtien molempien instrumenttien aineistot ovat operatiivisessa käytössä SYKEssä. Lisäksi SYKE käsittelee vuodesta 2016 eteenpäin Landsat8-satelliitin (L8) OLI-instrumentin kuvia aina, kun riittävän hyvä kuva on saatavilla (noin 14 päivän välein).

Kuvassa 10 on esimerkki L8/OLI-instrumentin havaitsemista sulamisvesien aiheuttamista samenneista alueista Suomenlahden rannikolla 2.4.2016. Kuvassa näkyy erityisesti Vantaanjoen sekä Porvoon- ja Mustijoen vaikutusalue rannikkovesissä. Myös Koskenkylänjoen alueen sekä Taasianjoen sulamisvesien tuoma sameus erottuu. Itäisimmällä Suomenlahdella jokisuistot olivat vielä jään peitossa, eikä siellä samaa ilmiötä siksi pystytty havaitsemaan. OLI-instrumentin havaintoalue ei ulottunut tällä kertaa Suomenlahden läntisille alueille.



Kuva 10. Vantaanjoen, Porvoonjoen, Mustijoen ja Koskenkylänjoen vaikutusalue rannikkovesissä 2.4.2016. Alkuperäinen kuva USGS/NASA Landsat Program, prosessointi SYKE.



Kuva 11. Länsirannikon sameus- ja jäättilanne 29.3.2016 Kokkolan pohjoispuolella. Alkuperäinen kuva USGS/NASA Landsat Program, prosessointi SYKE. Kyseisen päivä osalta koko länsirannikkoa voi tarkastella sivustolta: http://www.i4.ymparisto.fi/i4/fin/rgb_kuvat/rgb_kuvat.html

6. Yhteenveto

MaaMet-projektissa hyödynnettiin satelliittidatan osalta GEOMON-projektissa (Metsämäki et al. 2015) kehitettyjä yleiskäyttöisiä menetelmiä, joiden pohjalta voidaan tehostaa rannikon seuranta yhdistämällä aineistoja monista havaintolähteistä. Sameuden seurantaloksia työstettiin erityisesti vuoden 2015 osalta ja aiempien vuosien aikasarjoja parannettiin resuspension ja sinilevien vaikutusten poistamiseksi. Lisäksi koostettiin keväisiä a-klorofyllimaksimialuekarttoja. Jokisuistoissa verrattiin myös satelliittiaineistolta tulkittua a-klorofylliä ja sameutta osalla vesimuodostumista. Vertailu tehtiin vuosien 2003–2011 aineistolla, jolta on saatavilla jokisuistojen läheltä tarkempaa aineistoa kuin vuoden 2015 osalta. Rannikon havaintoasemien sijainneista sekä tehtyjen havaintojen määrästä laadittiin teemakartta, joka yhdistettiin MERIS-instrumentin sameusmaksimikarttaan vuosilta 2003–2011. Teemakartat laadittiin Kokemäenjoen, Eurajoen, Paimionjoen, Vantaanjoen ja Kymijoen alueilta. Eri vuosien vertailuista voidaan havaita, että sameusalueiden laajuudessa on suuria vuosittaisia vaihteluita (kuva 1).

Viitteet

Attila J., Koponen S., Kallio K., Lindfors A., Kaitala, S., Ylöstalo, P. (2013). MERIS Case II water processor comparison on coastal sites of the northern Baltic Sea, *Remote Sensing of Environment*, 128, 138–149.

Doerffer, R., & Schiller, H. (2007). The MERIS Case 2 algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 28(3–4), 517–535, <http://dx.doi.org/10.1080/01431160600821127>.

Attila, J. Kauppila, P. Kallio, K., Alasalmi, H., Bruun, E., Keto, V., 2016, (manuscript). Assessment of coastal WFD water bodies using MERIS/OLCI type of instrument, in preparation for *Remote Sensing of Environment*. (lähetetään *Remote Sensing of Environment*-lehteen).

Doerffer, R., & Schiller, H. (2008). MERIS Regional Coastal and Lake Case 2 Water Project atmospheric correction ATBD (Algorithm Theoretical Basis Document). 1.0. 41 pp.

Schroeder, T., Schaale, M., Fischer, J., 2007a. Retrieval of atmospheric and oceanic properties from MERIS measurements: A new Case-2 water processor for BEAM. *International Journal of Remote Sensing*, 28.24, 5627–5632.

Schroeder, T., Behnert, I., Schaale, M., Fischer, J., Doerffer, R., 2007b. Atmospheric correction algorithm for MERIS above case-2 waters. *International Journal of Remote Sensing*, 28.7, 1469–1486.

Metsämäki S., Attila J., Moisander M., Alasalmi H., Korhonen J., Keto V., Kirjalainen S., Teiniranta R., Bruun E., Sucksdorff Y., Kettunen J. (2015). Paikkatiedon ja kaukokartoituksen hyödyntäminen ympäristön tilan seurannan kehittämisessä (osana Monitor2020-ohjelmaa). 12s.