

Kasviplanktonin a-klorofylli



Meren tilan indikaattori Yhteyshenkilöt: Vivi Fleming-Lehtinen (SYKE), Mika Raateoja (SYKE), Hermann Kaartokallio (SYKE) (avomeri), Pirkko Kauppila (rannikkovedet) (SYKE)

Tiivistelmä

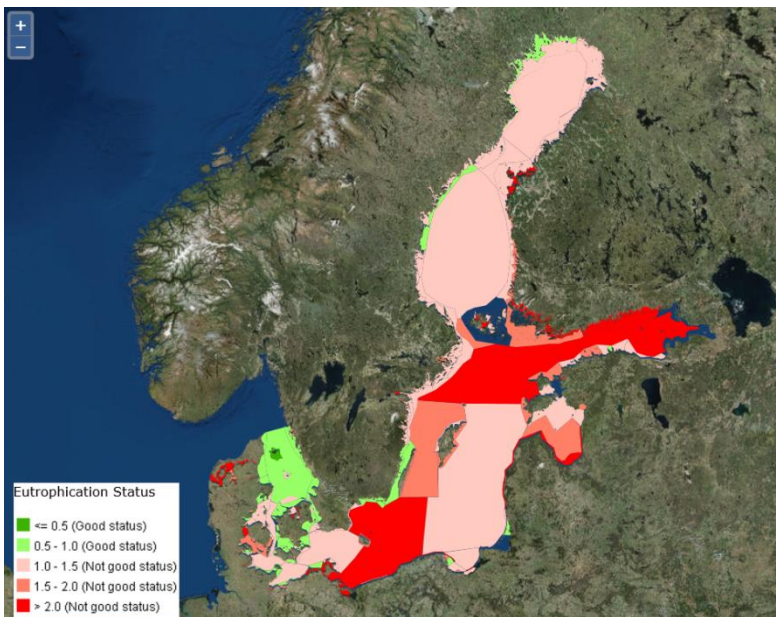
Kasviplanktonin a-klorofylliä eli lehtivihreää käytetään yhtenä kasviplanktonbiomassan määrän mittarina. Sen avulla arvioidaan rannikko- ja merialueiden yleistä rehevyyttä. Se sisältyy vesipuitedirektiivin rehevyyttä kuvaaviin kasviplanktonmuuttujiin ja meristrategiadirektiivin kuvaajan 5 (rehevöityminen) kasviplanktonindikaattoreihin. Kasviplanktonin a-klorofyllituloksia käytetään sekä vesipuitedirektiivin että meristrategiadirektiivin mukaisissa tila-arvioissa. Indikaattorista lasketaan 5 kesäkuukauden keskiarvot (touko-syyskuu) sekä vesipuitedirektiivin mukaista rannikkovesien ekologista luokitusta että meristrategiadirektiivin mukaisissa ympäristön tila-arvioita varten. Meristrategiadirektiivin toimeenpano kattaa koko Suomen merialueet, joiden tila-arviot EU- komissiolle raportointia varten tehdään HELCOM yhteistyönä. Avomeriympäristön tilaa koskevat arviot toteutetaan käyttämällä HELCOM HEAT(3) -arviointityökalua (HELCOM 2014, <http://helcom.fi/baltic-sea-trends/eutrophication/latest-status>).

Indikaattorin ajallisia muutoksia esitetään aikasarjoina, joita varten yksittäisistä tuloksista voidaan laskea tarpeen mukaan myös kesä- ja kevätkauden vuosikeskiarvoja.

Indikaattorin tulokset

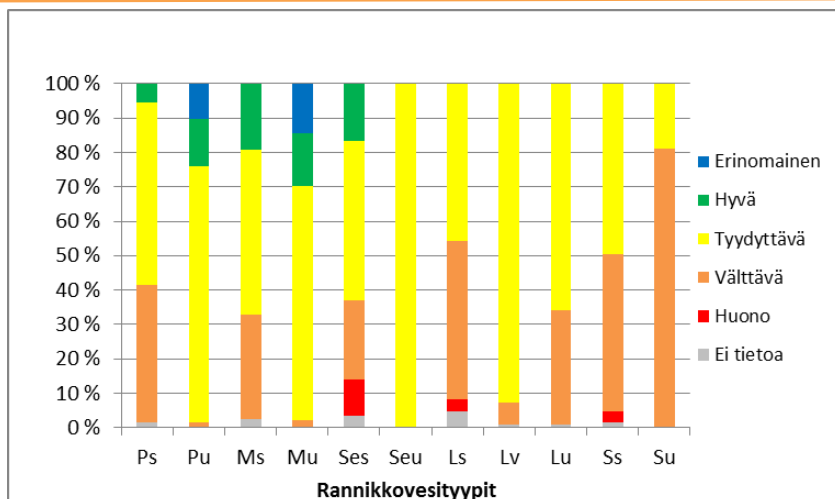
Kasviplanktonin klorofylli ylittää tavoitearvot kaikilla Suomen merialueilla ja osoittaa siten rehevöitynyttä meriympäristöä. Perämerellä pitoisuudet ovat kuitenkin lähellä tavoitearvoa. Tulokset ovat viiden vuoden keskiarvoja vuosilta 2011–2015 (Kuva 1). Vuosien välinen vaihtelu on kuitenkin suurta ja yksittäisinä vuosina tavoitearvot voivat alittua.

Rannikkovesialueilla a-klorofyllin yleisesti nouseva trendi ja vaihtelut olivat paljolti avomerellä havaittujen kaltaisia (Lehtinen et al. 2016, Kuva 3). Perämerellä ja Merenkurkussa keskimääräiset pitoisuudet ovat heilahdelleet hyvän tilan molemmin puolin, mutta viime vuosina ne ovat olleet jälleen kasvussa. Selkämeren ulommat rannikkovedet ja Saaristomerén ulko- ja välisaaristo olivat 1970-luvulla ja 1980-luvun alussa keskimäärin hyvässä tilassa, mutta sen jälkeen pitoisuudet ovat nousseet aina 2010-luvulle asti. Viime vuosina pitoisuudet ovat kuitenkin kääntyneet laskuun. Suomenlahden ulkosaaristossa yleinen trendi on ollut 2000-luvulla laskeva, mutta hyvää tilaa ei ole saavutettu seurantajakson aikana.

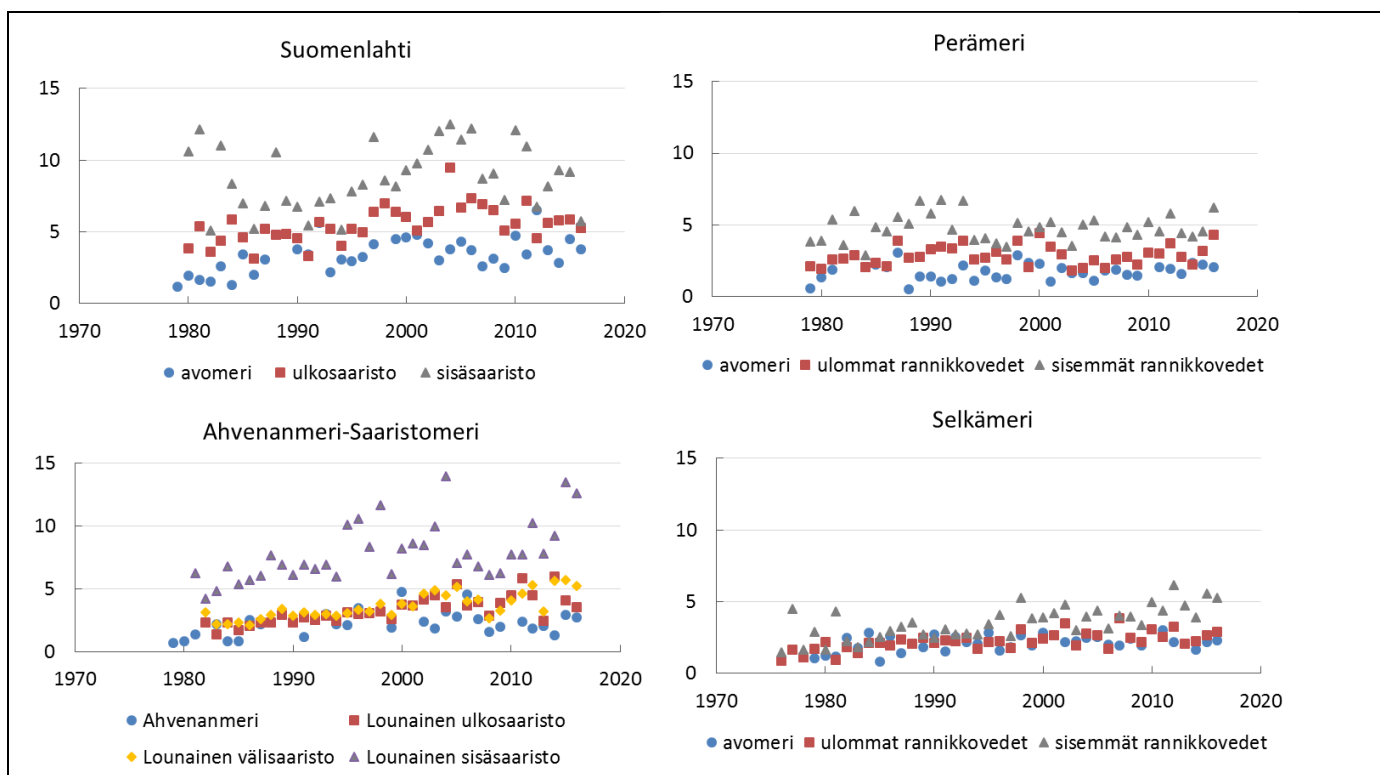


Kuva 1

Klorofylli-indikaattorin osoittama tila-arvio Itämerellä. Tila on ilmaistu suhdelukuna tavoitearvoihin nähden siten, että punaiset alueet (suhde > 1.0) osoittavat suurempaa klorofyllipitoisuutta kuin tavoitearvo ja siten huonompaa meren tilaa. Lähde: HELCOM (<http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/eutrophication/indicators/chlorophyll-a/results>).

**Kuva 2**

a-klorofyllin luokistustulosten suhteellinen jakautuminen eri rannikkovesityypeillä vesimuodostumien pinta-alalla painottaen. Luokittelu on tehty vesimuodostumatasolla. Merenhoidon mukainen hyvä tila saavutettiin, jos tyypin pinta-alasta >50 % oli hyvässä (vihreä) tai erinomaisessa (sininen) tilassa. Rannikkovesityyppien koodit: Ps = Perämeren sisemmät rannikkovedet, Pu = Perämeren ulommat rannikkovedet, Ms = Merenkurkun sisäsaaristo, Mu = Merenkurkun ulkosaaristo, Ses = Selkämeren sisemmät rannikkovedet, Seu = Selkämeren ulommat rannikkovedet, Ls = Lounainen sisäsaaristo, Lv = Lounainen välisaaristo, Lu = Lounainen ulkosaaristo, Ss = Suomenlahden sisäsaaristo, Su = Suomenlahden ulkosaaristo.

**Kuva 3**

Kesäkauden keskimääräiset klorofyllipitoisuudet avomeri- ja rannikkovesialueilla vuosina 1975 - 2016. Suomenlahden sisempi ja ulompi rannikkovesityyppi eivät ulotu lahden läntiseen osaan saakka, joten vastaavuus rannikon ja avomerien välillä ei ole siellä täysin yhteneväinen.

Indikaattorin yleinen kuvaus

Kasviplanktonin a-klorofyllin avulla arvioidaan rannikkovesien ekologista tilaa ja meriympäristön rehevyyttä selvittämällä sen alueellisia ja ajallisia muutoksia vesipuitteiden ja meristrategiadirektiivin toimeenpanoa varten.

Indikaattori mittaa veden tuottavan pintakerroksen a-klorofyllin pitoisuuksia, joita määritetään sekä meriveden näytteitä analysoimalla että hyödyntämällä kaukokartoitusaineiston a-klorofyllille kehitettyjä tulkintoja. Avomerialueilla käytetään yksittäisiä mittauksia 0-10 m syvyydestä ja vesinäytteen otossa ja analysoinnissa noudatetaan HELCOM COMBINE-seurantakäsikirjan ohjetta (<http://helcom.fi/action-areas/monitoring-and-assessment/manuals-and-guidelines/combine-manual>). Rannikkovesialueilla vesinäyte kootaan osanäytteistä vesikerroksesta, joka vastaa kahden näkösyvyyden paksuista vesipatsasta. Indikaattorissa voidaan hyödyntää kaukokartoitusaineistoa veden a-klorofyllipitoisuudesta joka validoidaan Alg@line-läpivirtaus fluoresenssia klorofyllinäytteistä saatujen mittausten avulla.

Kasviplanktonin *a*-klorofylli sisältyy HELCOM core indikaattoreihin (HELCOM 2013, <http://helcom.fi/helcom-at-work/projects/completed-projects/coreset>). Se kuvaa yhdessä näkösyvyyden kanssa rehevöitymisen suoria vaikutuksia.

Indikaattori osana lainsäädäntöä

Indikaattorin avulla toteutetaan Suomen vesienhoidon ja merenhoidon lakia vesipuitedirektiivin (VPD, 2000/60/EEC) ja meristrategiadirektiivin (MSD, 2008/56/EC) toimeenpanoa varten. Kasviplanktonin *a*-klorofyllitulokset sisältyvät myös nitraattidirektiivin (ND, 91/676/EEC) ohjeistukseen koskien sisempiä rannikkovesialueita ja jokien vaihtumisvyöhykkeitä. Komission Päätöksen (2010/477/EC) mukaan meriveden rehevöitymisestä raportoitaessa rannikkovesien ja jokien vaihtumisvyöhykkeiden rehevyydestä tulee ottaa huomioon vesipuitedirektiivin ja siihen liittyvien ohjeistusten mukaisesti tavalla joka mahdollistaa vertailukelpoisuuden.

HELCOM -suosituksissa ja ekologisissa tavoitteissa *a*-klorofylli on liitetty Itämeren tilaa kuvaaviin core indikaattoreihin.

Miten ihmispaineet vaikuttavat indikaattoriin?

Ihmisperäisistä lähteistä peräisin olevat kasviraavinteet (typpi ja fosfori) lisäävät veden rehevyyttä, mikä ilmenee mm. kasviplanktonin kohonneena tuotantona ja biomassan määränä. Toisaalta ihmisen toimenpiteet maa-alueilla aiheuttavat myös veden tummumista tai samentumista, minkä seurauksena kasviplanktonin määrä voi vähentyä valon vähäisyyden rajoittaessa kasviplanktonin tuotantoa.

Tekninen kuvaus

1. Lähdemateriaali / aineisto

Avomerialueilla aineisto on peräisin Arandan seurantamatkoilta sekä Alg@line seurannasta. Rannikkovesialueilla kasviplanktonin *a*-klorofylliaineisto perustuu ELYjen toteuttamaan kansalliseen vedenlaadun seurantaan ja Muikku-aluksen tutkimusmatkojen tuloksiin. Kaukokartoituksen *a*-klorofyllin päiväkohtaisia tulkintoja ja koosteita on saatavilla Suomea ympäröiviltä merialueilta.

2. Indikaattorin edustavuus eri merialueilla

Aineisto kattaa kaikki Suomen merialueet. Avomerellä kasviplanktonin *a*-klorofylliä seurataan tutkimusalue Arandan seurantamatkoilla noin 30 - 40 havaintoasemalla vuosittain. Avomerellä *a*-klorofyllipitoisuuden muutoksia seurataan 24 HELCOM COMBINE –avomerialueella.

Alg@linen automaattimittaukset kattavat Alg@line -seurannassa mukana olevien kauppalaivojen reitit avomerellä. Alg@line -reitit 24 seurantapisteellä linjalla Helsinki - Travemünde ja 11 seurantapisteellä linjalla Helsinki - Tukholma. Operatiivisessa kauppalaivoilta tehtävässä seurannassa *a*-klorofyllipitoisuus mitataan pintavedestä kymmenillä havaintopaikoilla reitin varrella.

Vesienhoitoalueilla rannikkovesien vuosittaisia *a*-klorofyllituloksia on saatavilla lähes kaikista vesimuodostumista. Yhteensä rannikkoasemia on yli 140.

Kaukokartoituksen alueellinen kattavuus riippuu käytetyn satelliitti-instrumentin ja myös seuranta-alueen ominaisuuksista. Yleistäen voidaan sanoa että tulkinta onnistuu yhtenäisiltä avomeri- ja rannikkoalueilta, joilta etäisyys lähimmästä ranta-alueesta on noin kaksinkertainen suhteessa käytetyn instrumentin maastoerotuskykyyn nähden. Yleensä pystytään verrattain helposti määrittämään ne seuranta-alueet, joille kaukokartoituksella voidaan ylipäätään tuottaa tietoa. Avomerialueilta kaikki alueet voidaan kattaa ja rannikkovesissä 67 % voidaan kattaa MERIS-tyyppisellä 300m maastoerotuskyvyn instrumentilla. Sekä Rajavartioston ilmahavainnot että kansalaishavainnot on mahdollista saada kaikilta Suomen merialueilta. Nämä vapaaehtoisuuteen perustuvat seurantamenetelmät ovat kuitenkin vahvasti opportunistisia, ja niitä voidaan käyttää vain muun seurannan tukena.

3. Ajallinen edustavuus

Avomerellä *a*-klorofyllipitoisuuden muutoksia seurataan 24 HELCOM COMBINE -avomerialueella kerran vuodessa elokuussa ja Alg@line-reitin 24 seurantapisteellä 18 kertaa vuodessa maalimarraskuussa linjalla Helsinki-Travemünde, 11 seurantapisteellä 12 kertaa vuodessa linjalla Helsinki-Tukholma.

Vesienhoitoalueilla vuosittaisia ja vuodenaikaisia *a*-klorofyllipitoisuuden muutoksia seurataan intensiivisesti 19 rannikon havaintoasemalla. Näytteitä otetaan yleensä 10 - 18 kertaa vuodessa, mutta ns. puoli-intensiiviasemilta näytteitä otetaan kuusi kertaa vuodessa. Alueellisia muutoksia seurataan 124 kartoitusluonteisilla asemilla 2-4 kertaa heinäkuun ja syyskuun ensimmäisen viikon välisenä aikana.

Satelliittihavainnoista *a*-klorofylliä mitataan huhti- lokakuussa päivittäin pilvettömiltä alueilta koko Itämeren alueelta.

4. Aineiston keruun ja analyysin menetelmät

Avomeren *a*-klorofylli määritetään suodatuksen ja etanoliuuton avulla vesinäytteestä fluorometrisesti HELCOM Combine-menetelmäohjeen mukaisesti (<http://www.helcom.fi/action-areas/monitoring-and-assessment/manuals-and-guidelines/combine-manual>). Alg@line-reittien *a*-klorofylli määritetään laivoille asennetuilla automaattilaitteistoilla.

Rannikkovesissä *a*-klorofylli kootaan Ruttner -noutimella otetuista näytteistä veden pintakerroksesta, joka on kaksi kertaa näkösyvyyden arvon suuruinen. Klorofyllinäytteet uutetaan etanolilla ja analysoidaan Lorenzenin (1967) mukaan.

Satelliittihavainto *a*-klorofyllistä tehdään bio-optisen mallin avulla, joka määrittää pintakerroksen *a*-klorofyllipitoisuuden (näkösyvyyteen asti) esim Attila ym, (2013). Havainnon tarkkuus riippuu saatavilla olevan satelliitti-instrumentin maastoerotuskyvystä sekä aallonpituudesta, mutta havainnot vastaavat hyvin havaintoasemahavaintoja sekä Alg@line-reittien *a*-klorofyllimittauksia.

5. Hyvän tilan raja-arvon määrittäminen

Vesipuidedirektiivin toteuttaminen edellyttää vertailuolojen määrittämistä, mikä mahdollistaa rehevyytilan muutosten arvioinnin tätä perustasoa vasten. Vertailuolot kuvaavat olosuhteita, jolloin ihmisperäisiä paineita ei esiintynyt tai ne olivat vähäisiä. Rannikkovesialueilla *a*-klorofyllin vertailuolosuhteet on määritetty hyödyntämällä historiallisia, 1900-luvun alun näkösyvyshavaintoja pohjoiselta Itämereltä (mm. Launiainen ym. 1989) ja mallintamalla kasviplanktonin ja näkösyvyyden suhde tilastollisesti kullekin rannikkovesityypeille erikseen nykyisten vedenlaadun seuranta-aineistojen avulla (Kauppila 2007, Aroviita ym. 2012).

Rannikkovesialueilla *a*-klorofyllin tyyppikohtaiset vertailuarvot sekä erinomaisen tilan (E/H) ja hyvän tilan (H/T) raja-arvot on interkalibroitu Ruotsin ja Viron kanssa (Komission päätös 2013, Liite II) ja harmonisoitu HELCOM yhteistyössä (HELCOM 2014). Eri rannikkovesityypeillä hyvän tilan raja-arvot poikkeavat noin 50 % tyyppikohtaisista vertailuarvoistaan.

Avomerialueilla tila-arvioiden metodiikka meristrategiadirektiivin toteuttamiseksi on kehitetty HELCOM -yhteistyössä (HELCOM 2014). Vaikka meristrategiadirektiivin toimeenpanossa tilan arviointimenetelmä ei perustu vertailuolosuhteisiin, *a*-klorofyllille on kehitetty HELCOM:n projekteissa vertailuolosuhteet, joita hyödynnetään hyvää ympäristön tilaa kuvastavaa GES -raja-arvoa määritettäessä (HELCOM 2013). Nykyiset GES-rajat perustuvat HELCOM TARGREV projektin tuloksiin, jotka on saatu hyödyntämällä hydrografisia seuranta-aineistoja ja dynaamista mallinnusta Itämeren pääaltaiden olosuhteisiin sovellettuna (HELCOM 2013). Kasviplanktonin *a*-klorofyllin merialuekohtaisten GES -rajojen on sovittu poikkeavan 50 % vertailuarvoistaan.

6. Tila-arvion maantieteellinen yksikkö

Vesipuidedirektiivin mukaan rannikkovesien ekologisen luokittelun tulokset raportoidaan vesimuodostumakohtaisesti käyttämällä eri rannikkovesityypeille asetettuja vertailuarvoja ja luokkarajoja (Aroviita ym. 2012).

Meristrategiadirektiivi kattaa sekä rannikko- että avomerialueet. Suomen koko merialueiden rehevyytila arvioidaan merialuekohtaisesti käyttämällä rannikkovesivyöhykkeellä vesipuidedirektiivin mukaisia hyvän tilan raja-arvoja (Aroviita ym. 2012) ja avomerialueilla avomerelle luotuja hyvän tilan raja-arvoja (HELCOM 2014). Koko Itämeren koskevat tulokset raportoidaan EU:lle HELCOM -yhteistyönä. Näissä arvioissa Itämeren allas muodostaa kokonaisuudessaan maantieteellisen arviointiyksikön.

7. Indikaattorin luotettavuus

Rannikkovesien *a*-klorofylliaineistot ovat alueellisesti ja ajallisesti suhteellisen kattavia, sillä näytteitä otetaan yleensä vuosittain ja lähes kaikilta vesimuodostumilta. Tietoa aineiston jakautumisesta eri vuosien välillä on saatavilla vedenlaaturekisterin VEMU2 -käyttöliittymästä, jossa luokitteluaineiston edustettavuutta on arvioitu tilastollisesti Kolmogorovin-Smirnovin testin avulla. Keski- ja loppukesän luokittelujaksolla klorofyllinäytteiden frekvenssi vaihtelee yleensä yhden ja neljän välillä.

Avomerialueilla tila-arvioiden tekemistä varten on kehitetty HELCOM HEAT (3) -työkalu, joka mahdollistaa luotettavuuden arvioinnin erikseen tavoitearvolle ja indikaattorin tila-arvolle (HELCOM 2014).

Kaukokartoitusaineistojen klorofyllitulkinnot parantavat ajallista ja alueellista kattavuutta etenkin ulommilla rannikkovesimuodostumilla, jossa tulkinnat ovat sisempiä vesimuodostumia tarkempia.

8. Kehittämistarpeet

Rannikon läheisillä vesimuodostumilla on tarve parantaa satelliittitulkintoja ottamalla käyttöön erotuskyvyltään parempia instrumentteja.

Kaukokartoitusaineistotuotteiden linkittäminen tulee osaksi Vedenlaaturekisteriin VEMU-järjestelmää.

LÄHDELUETTELO

Aroviita, J., Hellsten, S., Jyväsjärvi, J., Järvenpää, L., Järvinen, M., Karjalainen, S.M., Kauppila, P., Keto, A., Kuoppala, M., Manni, K., Mannio, J., Mitikka, S., Olin, M., Pilke, A., Rask, M., Riihimäki, J., Sutela, T., Vehanen, T., Vuori, K.-M. 2012. Ohje pintavesien ekologisen tilan luokitteluun vuosille 2012-2013 – Päivitetyt arviointiperusteet ja niiden soveltaminen. Suomen ympäristökeskus ja riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.

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.

HELCOM 2013. HELCOM core indicators: Final report of the HELCOM CORESET project. *Balt. Sea Environ. Proc. No. 136*.

HELCOM 2014. Eutrophication status of the Baltic Sea 2007-2011. A concise thematic assessment. *Balt. Sea Environ. Proc. No. 143*. 40 pp.

Lehtinen, S., Hällfors, H., Kauppila, P., Anttila, S., Kremp, A., Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., Kankaanpää, H., Junttila, S., Attila, J., Knuuttila, S. & Kaitala, S. 2015. Kasviplanktonin määrä kertoo rehevöitymisen asteesta. Raportissa: E. Rantajärvi & L. Karjala (toim.). *Meren pärskäys 2015. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 21/2015*. Suomen ympäristökeskus.

Lorenzen, C.J. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12: 343-356.