

Fosforin, typen ja silikaatin pitoisuudet



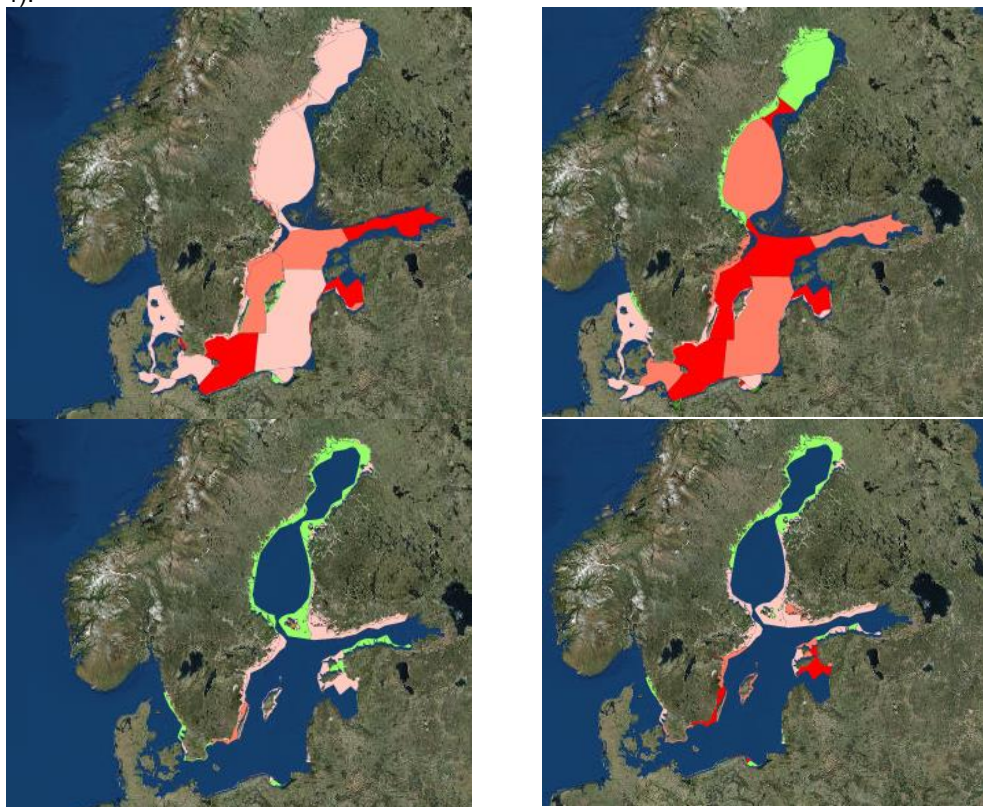
Meren tilan indikaattori Yhteyshenkilöt: Vivi Fleming-Lehtinen (SYKE), Mika Raateoja (SYKE) ja Hermanni Kaartokallio (SYKE) (avomeri), Pirkko Kauppila (SYKE) (rannikkovedet)

Tiivistelmä

Fosforin ja typen pitoisuuksia käytetään yleisesti veden rehevyyden mittarina. Kesän kokonaistyyppi ja -fosfori sisältyvät vesipuitedirektiivin ekologista luokitusta tukeviin muuttujiin. Kokonaisravinteet kuvaavat kesänaikaista ravinteiden määrää ml. eliöihin sitoutuneet ravinteet. Avomerialueilla talven epäorgaanisen typen ja fosforin pitoisuuksia sekä kokonaistypen ja -fosforin vuosikeskiarvoja käytetään meristrategiadirektiivin kuvaajan 5 mukaisissa meren rehevyytilan arvioinneissa. Talviaikaisten epäorgaanisten ravinteiden pitoisuudet kuvaavat seuraavana kasvukautena kasviplanktonin perustuotannon kasvuun käytettävissä olevaa ravinnemäärää. Rehevöityminen aiheuttaa ravinnetason yleistä kohoamista avomeri- ja rannikkoalueilla ja sen vaikutukset ovat kuvattavissa kumpaakin indikaattoryyppiä käyttäen. Ravinneindikaattorit on sovittu HELCOM-yhteistyönä ja indikaattorien täydet kuvaukset on saatavilla HELCOM-sivuilta: <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/indicators/>.

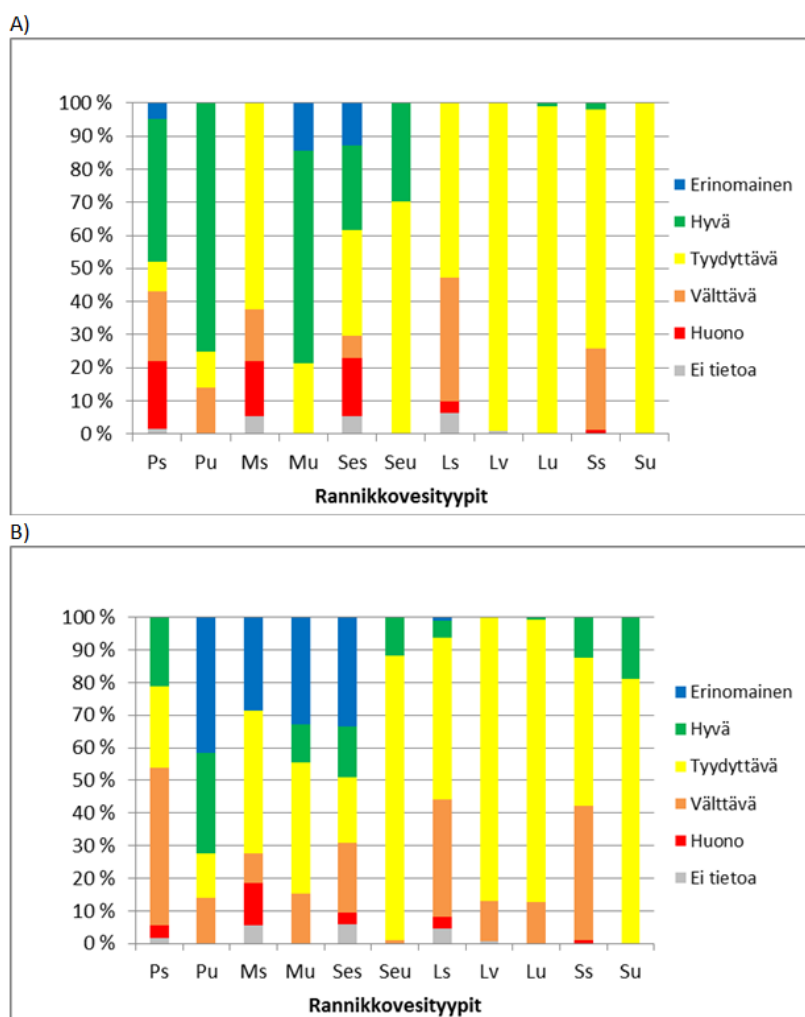
Indikaattorin tulokset

Perämeren, Merenkurkun ja Selkämeren rannikkovesityypeillä oli vesialueita vuosina 2011–2016, joissa kokonaistypen ja/tai -fosforin pitoisuudet ilmensivät hyvää tilaa (Kuva 1). Esimerkiksi Selkämeren ja Perämeren rannikkovesillä ja Merenkurkun ulkosaaristossa ravinteet ilmensivät hyvää tilaa 30–90 %:ssa tyyppien pinta-alasta (Kuva 2). Avomerellä ainoastaan Perämeren fosforipitoisuus osoitti hyvää tilaa ja muilla merialueilla sekä typpi- että fosforipitoisuudet ylittivät hyvän tilan kynnsarvot (Kuva 1).



Kuva 1

Talven liuenneen epäorgaanisen typen (vas. ylh.) ja liuenneen epäorgaanisen fosforin (oik. ylh.) sekä kesän kokonaistypen (vas. alh.) ja kokonaisfosforin (oik. alh.) tila-arviot HELCOM-indikaattorien mukaan (<http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/indicators/>).

**Kuva 2**

A) Kokonaistypen ja B) kokonaisfosforin luokitustulosten suhteellinen jakautuminen rannikkovesityypeillä vesimuodostumien pinta-alalla painottaen. Luokittelu on tehty vesimuodostumatasolla. Merenhoidon mukainen hyvä tila saavutettiin, jos tyyppin 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.

Koko merialueita koskevat, meristrategiadirektiivin mukaiset arviot toteutetaan HELCOM-yhteistyönä laskemalla kuuden vuoden ravinnepitoisuuksien keskiarvot. Avomerialueen indikaattoreina ovat Suomessa talven liuennon epäorgaanisen typen ja fosforin lisäksi kokonaistypen ja -fosforin vuosikeskiarvot. Rannikolla pitäydytään vesienhoidon mukaisiin kesän kokonaistyyppi- ja -fosfori-indikaattoreihin.

Silikaatti sisältyy meristrategiadirektiivin rehevyyttä (Kuvaaja 5) kuvaaviin indikaattoreihin. Se on operatiivinen ja kuuluu sekä kansalliseen että HELCOM COMBINE -seurantaan (<http://helcom.fi/action-areas/monitoring-and-assessment/manuals-and-guidelines/combine-manual>). Silikaatti ei kuitenkaan kuulu HELCOMin core-indikaattoreihin vaikka eräät HELCOMin sopijapuolista jotka ovat myös EU:n jäsenvaltioita käyttävät sitä meristrategiadirektiivin indikaattorina.

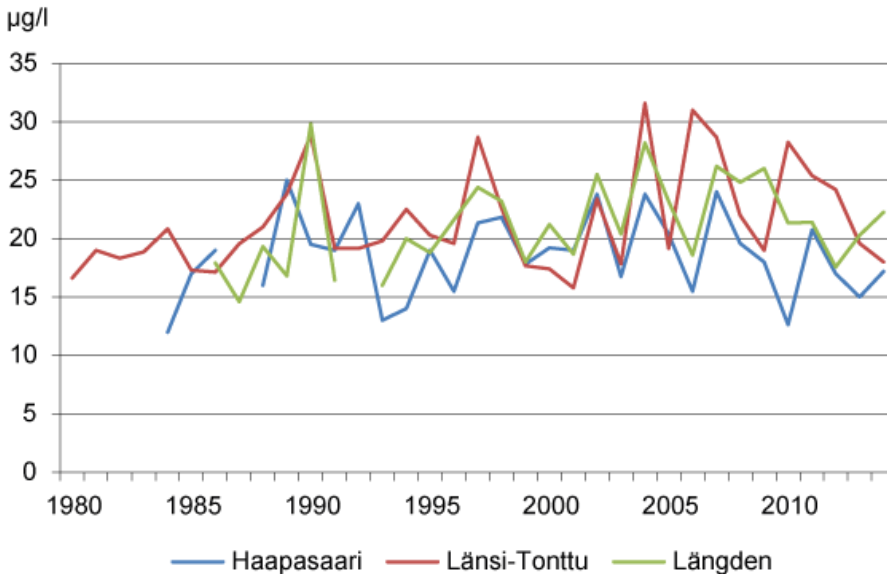
Ravinnepitoisuuksien indikaattorien tilamuutokset avomerialueilla kahden arviointijakson välillä (2007-2011 vs. 2011-2016) osoittaa, että avomerialueiden tila ei ole parantunut viime vuosina. Typen kohdalla tila on pysynyt pääasiassa muuttumattomana, mutta fosforin tila on heikentynyt monin paikoin (Taulukko 1).

Taulukko 1. Avomeren ravinneindikaattorien tila (punaisen sävyt = heikko tila ja vihreän sävyt = hyvä tila) sekä kehitys verrattuna vuosien 2007-2011 arviointikauteen. Ylöspäin osoittava nuoli kuvaa lisääntyvää rehevöitymistä. Alaspäin osoittava nuoli osoittaa parantuvaa tilaa ja vaaka nuoli osoittaa, että muutosta ei ole havaittu.

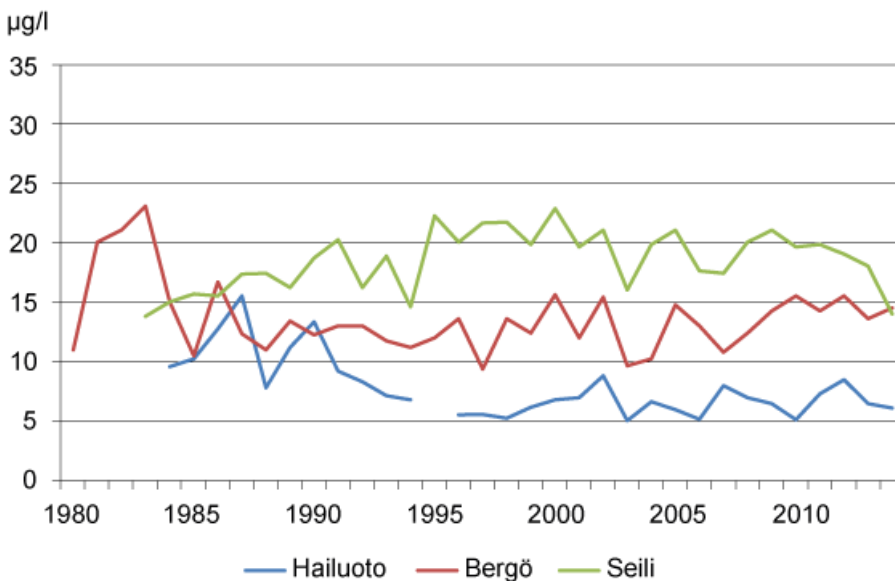
	Indikaattoritulokset			
	Ravinnetasot			
	DIN	TN	DIP	TP
Avoin Suomenlahti	↔	↔	↔	↕
Pohjois-Itämeri	↑	↔	↑	↓
Avoin Ahvenanmeri	↔	↔	↑	↔
Avoin Selkämeri	↔	↔	↑	↔
Avoin Merenkurkku	↔	↔	↑	↔
Avoin Perämeri	↔	↔	↔	↔

Kesän kokonaisravinnepitoisuudet veden pintakerroksissa

Kesän fosforipitoisuudet ovat korkeimmat Helsingin edustalla ja matalimmat Perämerellä. Pitkällä aikavälillä kesäkauden fosforipitoisuudet vaihtelevat suuresti Suomenlahdella, mutta lievä nouseva suuntaus on havaittavissa etenkin Helsingin edustalla ja läntisellä Suomenlahdella. Fosforin pitoisuudet ovat kääntyneet laskuun Perämerellä 1990-luvun alussa ja Saaristomerellä 1990-luvun puolivälissä. Merenkurkussa pitoisuudet ovat pysyneet samalla tasolla 1980-luvun huipun jälkeen.



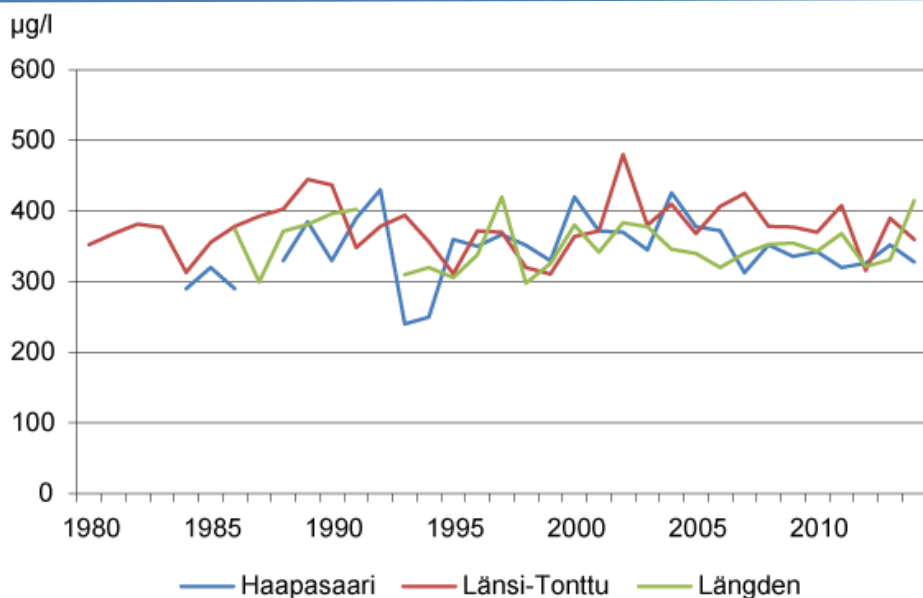
Kuva 3
Kokonaisfosforin pitoisuudet Suomenlahden havaintoasemilla keski- ja loppukesällä.



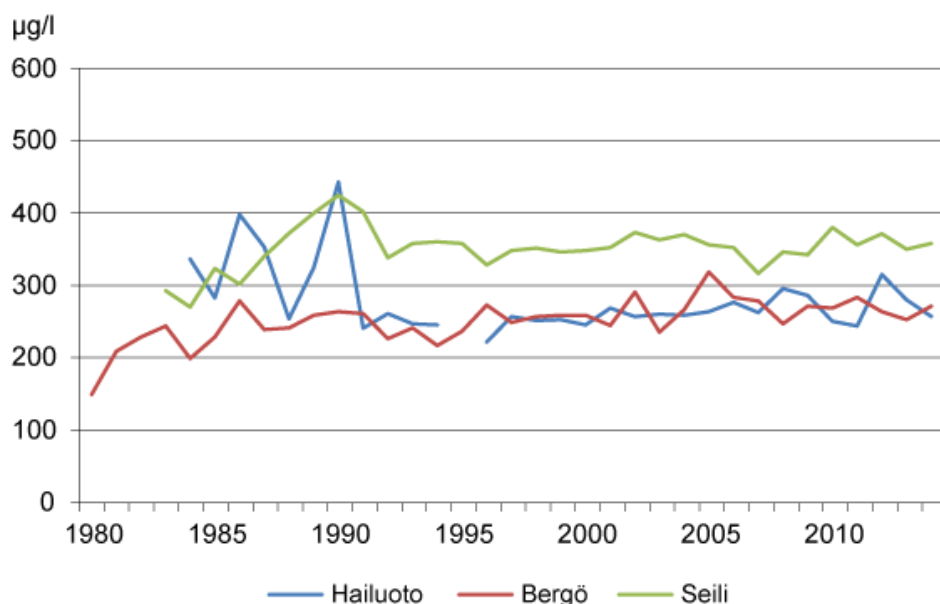
Kuva 4
Kokonaisfosforin pitoisuudet Pohjanlahden ja Saaristomerén havaintoasemilla keski- ja loppukesällä.

Kesän typpipitoisuudet ovat korkeimmat Suomenlahdella ja Saaristomerellä ja matalimmat Pohjanlahdella. Kun tarkastellaan typpipitoisuuksien pitkän aikavälin kehitystä, ainoastaan Merenkurkussa typpipitoisuudet ovat tasaisesti nousseet 1980-luvulta lähtien. Sen sijaan Suomenlahdella kokonaistypen pitoisuuksissa ei voida havaita selvää trendiä. Myöskään Perämerellä ja Saaristomerellä pitoisuustasossa ei ole tapahtunut suuria muutoksia 1990-luvulta lähtien.

Perämerellä typpi- ja fosforipitoisuuksien laskua selittää jätevesien puhdistustekniikan parantuminen ja 1990-luvun pienemmät jokivirtaamat 1980-lukuun verrattuna. Suomenlahdella fosforipitoisuuksien nousu 1990-luvulla johtuu ns. sisäisestä kuormituksesta, kun pohjaan vajonnut orgaaninen aine hajoaa ja kuluttaa happea, jolloin sedimentistä vapautuu fosforia takaisin veteen.



Kuva 5
Kokonaistypen pitoisuudet Suomenlahden havaintoasemilla keski- ja loppukesällä.



Kuva 6
Kokonaistypen pitoisuudet Pohjanlahden ja Saaristomeren havaintoasemilla keski- ja loppukesällä.

Indikaattorin yleinen kuvaus

Vesipuitedirektiivin toimeenpanossa kesäkauden kokonaistypen ja fosforin avulla on tarkoitus arvioida rannikkovesien ekologista tilaa ja sen muutoksia. Ekologisessa luokituksessa lasketaan kuuden kesäkauden kokonaistypen ja -fosforin keskimääräiset arvot, joita käytetään ekologista tilaa tukevin muuttujina. Arviot lasketaan käyttämällä HERTTA -rekisterin VEMU -käyttöliittymää (Aroviita ym. 2012).

Meristrategiadirektiivin toimeenpanossa käytetään HELCOMissa sovitteja ravinneindikaattoreita: talven epäorgaanisia ravinteita (DIN ja DIP) sekä kokonaisravinteita (TN ja TP) meriympäristön tilan ja sen muutosten arviointiin. Meristrategiadirektiivi kattaa sekä rannikko- että avomerialueet.

Epäorgaanisen typen (DIN) ja fosforin (DIP) sekä kokonaistypen (TN) ja -fosforin (TP) pitoisuuksia käytetään HELCOM:in tila-arvioissa, jossa ne lukeutuvat HELCOM:in core indikaattoreihin (<http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/indicators/>). Typen ja fosforin pitoisuuksia (TN, TP, DIN ja DIP) määritetään sekä veden pinnan että pohjanläheisistä kerroksista. Vertikaalisarjat otetaan valituilta havaintoasemilta.

Indikaattori osana lainsäädäntöä

Ravinneindikaattorien avulla toteutetaan Suomen vesien ja merenhoidon lakia vesipuitedirektiivin (VPD, 2000/60/EEC) ja meristrategiadirektiivin (MSPD, 2008/56/EC) toteuttamiseksi. Komission Päätöksen (2010/477/EC) mukaan meriveden rehevöitymisestä raportoitessa rannikkovesien ja jokien vaihtumisvyöhykkeiden rehevyytila tulee ottaa huomioon vesipuitedirektiivin ja siihen liittyvien ohjeistusten mukaisesti tavalla, joka mahdollistaa vertailukelpoisuuden.

Nitraattityypituloksia raportoidaan myös nitraattidirektiivin (ND, 91/676/EEC) varten rannikkovesien sisemmiltä alueilta ja jokien vaihtumisvyöhykkeiltä. Nitraattityypitulosten lisäksi nitraattidirektiivi edellyttää myös typen ja fosforin kokonaispitoisuuksien (TN, TP) sisällyttämistä raportointiin.

Yhdyskuntien jätevesidirektiivin (UWWD, 91/271/ETY) määrittelee rehevöitymisen ja edellyttää tiukempaa jätevesipuhdistusta jätevesille, jotka johdetaan rehevöityneisiin vesiin tai vesiin jotka ovat vaarassa rehevöityä lähitulevaisuudessa.

HELCOM -suosituksissa ja ekologisissa tavoitteissa epäorgaaniset typen ja fosforin ravinteet sisältyvät HELCOMin core indikaattoreihin.

Miten indikaattori kuvaa ekosysteemiä?

Typen ja fosforin pitoisuudet aiheuttavat veden rehevöitymistä ravinnekuormituksen seurauksena, mikä on seurausta sekä ihmisperäisestä kuormituksesta ja luonnonhuuhtoumasta. Ravinneindikaattorien (N ja P) ravinnevaste on parempi kuormitetuilla rannikkoalueilla kuin avomerellä. Rannalta peräisin olevien ravinteiden lisäksi veden ravinnetilaan vaikuttaa ilmaperäinen kuormitus ja pohjalta vapautuvat ravinteet (nk. sisäinen kuormitus). Rehevöityminen ilmenee monin eri tavoin, mm. runsastuneina leväkukintoina, veden samentumisena ja verkkojen limoittumisena.

Piilevät tarvitsevat silikaattia solunseinän rakennusaineeksi. Typen ja fosforin rehevöittävä vaikutus voi aiheuttaa silikaatin vähentymistä, koska silikaatti vajoaa pohjasedimenttiin suurten piileväkukintojen mukana (Officer and Ryther 1980; Conley et al. 1993). Silikaatin vähentyminen johtaa rannikon kasviplanktoniyhteisön rakenteen muutokseen, jossa siimalliset levät alkavat dominoida piilevien kustannuksella (Officer and Ryther 1980; Conley et al. 1993).

Miten ihmispaineet vaikuttavat indikaattoriin?

Typpi- ja fosforiravinteita joutuu meriveteen ihmisen toiminnan seurauksena. Ne ovat peräisin sekä pistemäisestä kuormituksesta (yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedet ja kalankasvatus) ja hajakuormituksesta (haja-asutus, maatalous, metsätalous), mutta typpi- ja fosforiravinteita joutuu veteen myös ilman kautta kaukokulkeutumalla.

Ihmispaineet eivät vaikuta silikaatin pitoisuuksiin vesissä.

Tekninen kuvaus

1. Lähdemateriaali / aineisto

Avomeri-aineisto perustuu Arandan tutkimusmatkoilta saatuihin seurantatuloksiin ja Itämeren operatiivisesta kauppalaivaseurannasta (Alg@line) koottuihin tietoihin. Rannikkovesiaineisto on peräisin ELY-keskusten vastuulla olevasta seurannasta sekä Muikku-aluksen tutkimusmatkoilta kerättyyn tietoaineistoon.

Itämeren operatiivisessa kauppalaivaseurannassa (Alg@line) kerätään tietoa useilla laivareiteillä, jotka kattavat kaikki Itämeren merialueet. Säännöllisessä reittiliikenteessä olevilta kauppalaivoilta saadaan noin 12–24 näytteenottopisteeltä tietoa pintakerroksen ravinnepitoisuuksista 1-2 kertaa kuukaudessa avovesikauden ajan.

2. Indikaattorin edustavuus eri merialueilla

Aineisto kattaa kaikki Suomen merialueet. Avomeriasemia on kaikkiaan 45 ja rannikkovesiasemia kaikkiaan noin 150.

3. Ajallinen edustavuus

Avomeriseuranta on aloitettu HELCOM COMBINE seurantana vuonna 1979. Avomerialueiden seurantamatkoja on vuodessa kaksi: tammi-helmikuussa, jolloin vesipatsaan ravinnepitoisuudet ovat korkeimmillaan, ja touko-kesäkuussa, elokuussa vesipatsaan kerrostuneisuuskaudella. Kaikilla seurantaohjelman asemilla käydään sekä talvella että kesällä niin, että kesän kaksi matkaa yhdessä kattavat kaikki asemat.

Rannikkovesien ravinnetilan seuranta on aloitettu yleensä 1979, mutta pisimmät aikasarjat yltävät 1960-luvulle asti. Rannikkoalueilla ravinnetilaa seurataan kahdesti vuodessa: keskikesällä ja talvella (helmi-maaliskuun alku). Rannikkoseurannan avulla voidaan selvittää pitkän aikavälin muutoksia ja alueellista vaihtelua. Tämän lisäksi rannikkovesien intensiiviseurannan avulla saadaan tietoa ravinnetilan vuodenaikaisista vaihteluista.

4. Aineiston keruun ja analyysin menetelmät

Avomeren vesipatsaan typen ja fosforin jakeiden pitoisuudet määritetään tutkimusalus Arandan seurantamatkojen yhteydessä. Alg@line -seurannassa veden pintakerroksesta otetut näytteet kuljetetaan maihin ja määritetään laboratorioissa.

Rannikkoalueilla vesipatsaan typen ja fosforin jakeiden pitoisuuksia mitataan tutkimusalus Muikun seurantamatkoilla ja ympäristöhallinnon rannikkoasemaverkolla siten, että näytteet analysoidaan maissa.

5. Hyvän tilan raja-arvon määrittäminen

Rannikkovesialueilla hyvän ja tyydyttävän välisen tilan raja määritetään vertailuolujen avulla vesipuidedirektiivin toimeenpanoa varten siten, että ekologisessa luokituksessa vertailuolot muodostavat perustason, johon rehevyytilan muutoksia verrataan. Suomen rannikkovesialueilla kesän kokonaistypen ja -fosforin pintakerroksen pitoisuuksia käytetään tukemaan biologisten luokittelumuuttujien antamia tila-arviota. Vertailuolot on määritetty käyttämällä vedenlaadun seuranta-aineistojen frekvenssijakaumia, aikasarjoja, ja empiiristä mallinnusta hyödyntämällä vanhoja näkösyvyysaineistoja (Kauppila 2007, Aroviita ym. 2012). Hyvää tilaa kuvaavat (hyvän ja tyydyttävän tilan välillä) tyyppikohtaiset raja-arvot arvioitiin poikkeavan enimmillään 50 % vertailuarvoistaan. Kansallisessa työssä kokonaistypen ja -fosforin vertailuarvoja ja luokkarajoja on verrattu Ruotsin rannikkovesien vastaaviin arvoihin vertailukelpoisuuden varmistamiseksi. Regressioanalyysin avulla on myös tarkistettu raja-arvojen vastaavuus biologisten muuttujan, a-klorofyllin luokkarajoihin.

Meristrategiadirektiivin toimeenpanoa varten avomerellä kehitettiin HELCOMin puitteissa tila-arviointimenetelmä perustuen talven epäorgaanisille typpi- ja fosfori ravinteille veden pintakerroksissa (HELCOM 2014). Niiden GES-rajat on määritetty hyödyntämällä historiallisia vedenlaadun aineistoja ja dynaamisia simulaatiomalleja (HELCOM 2013b, <http://helcom.fi/helcom-at-work/projects/eutro-oper/>). Merialuekohtaiset GES -rajat pohjoisen Itämeren avomeri- ja rannikkoalueilla on harmonisoitu HELCOM asiantuntijatyönä (HELCOM 2014, <http://helcom.fi/baltic-sea-trends/eutrophication/latest-status>).

Koska meristrategiadirektiivi kattaa avomeren lisäksi myös rannikkovedet, HELCOMin toteuttamia tila-arvioita varten on arvioitu myös talven epäorgaanisiin ravinteisiin perustuvat vertailuarvot ja GES -rajat ulommilla rannikkovesialueilla (HELCOM 2014). Kyseiset raja-arvot on määritetty rannikon seuranta-aineistojen frekvenssijakaumien ja aikasarjojen perusteella, koska avomerialueilla käytetyt mallit eivät sovellu ravinnerajojen määrittämiseen rannikkovesialueilla.

Silikaatille ei ole luotu GES -rajaa, koska ihmispaineet eivät vaikuta silikaatin pitoisuuksiin.

6. Tila-arvion maantieteellinen yksikkö

Rannikkovesien ekologisessa luokittelussa tila-arvion maantieteellinen yksikkö on vesimuodostuma, kun taas HELCOMin meristrategiadirektiivin mukaisessa raportoinnissa tila-arviot tehdään merialuekohtaisesti. EU:lle tulokset raportoidaan käyttäen koko Itämeren yhtenä maantieteellisenä yksikkönä.

7. Indikaattorin luotettavuus

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

Avomerellä ravinnedatan luotettavuutta arvioidaan suhteessa tavoitearvoon, datan saatavuuteen ja sen jakaumaan HELCOM HEAT(3) työkalun avulla (<http://helcom.fi/baltic-sea-trends/eutrophication/latest-status>).

Rannikkovesien osalta HELCOMin tila-arviossa talven epäorgaanisia ravinteita käytetään vain uloimmilla rannikkovesityypeillä, koska vertailuolija ei voida määrittää sisemmille rannikkovesityypeille, missä epäorgaaniset ravinnepitoisuudet vaihtelevat suuresti, koska alueet ovat sisäisesti heterogeenisiä.

Epäorgaanisten talviravinteiden (DIN ja DIP) GES-raja-arvot on harmonisoitu Suomen, Ruotsin ja Viron merialueilla merialuekohtaisesti akselilla rannikko / avomeri (HELCOM 2014).

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.

Conley, D.J., Schelske, C.L. & Stoermer, E.F. Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 101: 179-192.

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

HELCOM 2013b. Approaches and methods for eutrophication target setting in the Baltic Sea region. *Balt. Sea Environ. Proc.* No. 133, 134 pp.

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

Kauppila, P. 2007. Evaluation of phytoplankton as an indicator of eutrophication in Finnish coastal waters. Applications to the Water Framework Directive. *Monographs of the Boreal Environment Research* 31, 57 p.

Officer, C.B. & Ryther, J.H. 1980. The possible importance of silicon in marine eutrophication. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 3: 83-91.