

Selkämerta kuormittaa myös muu Itämeri



MARIA KÄMÄRI
Suomen ympäristökeskus
E-mail: maria.kamari@ymparisto.fi

HARRI HELMINEN
Varsinais-Suomen ELY-keskus

JUHA HYVÄRINEN
Rauman kaupunki

ARTO INKALA
Ympäristövaikutusten arviointikeskus Oy

JOHANNA RINNE
Varsinais-Suomen ELY-keskus

Saaristomereltä, Suomenlahdelta, Itämeren pääaltaalta ja Perämereltä kulkeutuu rehevöittäviä ravinteita Selkämerelle, mutta kuinka paljon ja pitäisikö siitä huolestua? Selkämerelle tulevan vesimäärän ja taustakuormituksen arviointi auttaa suhteuttamaan paikallisten ravinnepäästöjen merkitystä ja asettamaan päästöjen vähentämiseksi tavoitteet.

Satakunnassa toimiva Sataveden Selkämeri-ryhmä on ottanut tehtäväkseen täsmentää arvioita siitä, paljonko Itämeren altaista ja erityisesti Saaristomereltä kulkeutuu ravinteita Selkämerelle. Muista Itämeren altaista Selkämerelle tuleva kuormitus on Selkämerelle tulevaa taustakuormitusta. Aiemmin on suuntaa-antavasti arvioitu, että Saaristomeren kautta Selkämerelle siirtyy taustakuormituksen vuosittain fosforia 900 tonnia ja typpeä 5200 tonnia (Helminen ja Kirkkala 2005). Fosforimäärä on huomattavan suuri, kun sitä vertaa Selkämeren ulkoiseen kuormitukseen (**Taulukko 1**).

Tässä työssä on virtausmallin ja tunnettujen kuormitusarvojen avulla tarkasteltu

Itämeren eri altailta peräisin olevien ravinteiden kulkeutumista Selkämerelle.

Selkämeren tila ja ravinnekuormitus

Selkämeri on säästynyt pahimmilta rehevöitymisen haitoilta pitkään toisin kuin Saaristomeri ja Suomenlahti. Saaristomeri ja Ahvenanmeren eteläosan kynnys estävät Itämeren pääaltaan syvänteiden ravinteikkaan, suolaisen ja vähähappisen veden pääsyn Selkämerelle. Sisäinen kuormitus ei ole sekään Selkämeren ongelma, sillä ravinteiden vapautumista aiheuttavaa pohjanläheistä happikatoa ei ole esiintynyt. Vesi ei ole sanottavasti kerrostunut suolapitoisuuden mukaan, vaan sekoittuu pinnasta pohjaan keväisin ja syksyisin.

Selkämerelle tulee vuosittain ulkoista ravinnekuormitusta moninkertainen määrä Saaristomereen verrattuna (**Taulukko 1**). Selkämeren vesitilavuus on kuitenkin lähes 30-kertainen Saaristomereen verrattuna, joten periaatteessa ravinteilla on tilaa sekoittua ja laimentua tehokkaasti. Kasvukaudella rannikon kasvillisuus pidättää osan valuma-alueelta tulevista ravinteista, jotka kuormittavat eniten ranta-alueita.

Kokemäenjoki on merkittävin yksittäinen ravinnekuormittaja. Se tuo vuositasolla keskimäärin 380 tonnia fosforia ja 9 700 tonnia typpeä jokisuistoon. Jokien kuljetaman kiintoaine- ja ravinne määrän vuosivaihtelu on suurta. Sateet ja sen myötä virtaamavaihtelut vaikuttavat voimakkaasti valuma-alueelta huuhtoutuvaan kuormitukseen. Kuormituspiikit ajoittuvatkin kevättulvien ja syysateiden yhteyteen.

Taulukko 1. Keskimääräinen typen ja fosforin ulkoinen kuormitus Itämeren altaisiin 2000–2008 (HELCOM 2011) sekä simuloinneissa käytetty typen ilmalaskeuma mereen 2008.

	Fosfori (t/vuosi)	Typpi (t/vuosi)	Typen ilmalaskeuma (t/vuosi)
Saaristomeri	576	7 814	3 724
Itämeren pääallas	14 055	332 735	126 100
Selkämeri	1 513	48 809	16 521
Perämeri	2 406	54 085	9 755
Suomenlahti	5 674	107 552	14 200

Esimerkiksi Kokemäenjoen syystulvissa 2011 mitattiin jopa 10 tonnin fosforikuorma vuorokaudessa, josta liunneen fosforin osuus oli 30 prosenttia. Tyypeä tulvavesi kuljetti samanaikaisesti 124 tonnia vuorokaudessa. (Oravainen 2012)

Virtaus- ja kulkeutumismalli

Veden liikkeitä Itämeren eri osien välillä arvioitiin EIA 3D-virtaus- ja kulkeutumismallilla, joka on validoitu muun muassa Suomenlahden tarkasteluissa (Koponen ym. 2006, Myrberg ym. 2010). Koko Itämeren kattavan virtausmallin 5 x 5 km resoluution horisontaalisuuntaiseen laskentahilaan tehtiin merikarttoihin perustuvia syvyystarkistuksia. Virtausnopeudet ratkaistiin vuosien 2000–2004 sää- ja olosuhdetietojen perusteella. Näin tuuli-, jääpeite-, kerrostumis- ja virtausilanteisiin sekä Itämeren eri osien vedenvaihdon laskentaan sisällytettiin vuosittaista vaihtelua. Itämeren suurimpien jokien virtaamat sekä vedenlaatumallin yhtälöistä kulkeutuminen ja kuormitus olivat laskennassa mukana. Mallilla laskettiin ravinteiden leviämistä ja sen myötä pitoisuuksien laimenemista. Muita biogeokemiallisten prosesseja ei sisällytetty simulointeihin, mikä tulee ottaa huomioon tulosten tarkastelussa.

Tarkastelussamme Itämeri jaettiin viiteen altaaseen: Perämeri (BB), Selkämeri (BS), Saaristomeri (ARC), Suomenlahti (GF) ja Itämeren pääallas ulottuen Bornholmiin asti (BAL) (Kuva 1). Veden liikkeet laskettiin vuoden pituisina jaksoina 2000–2004 sekä pidempinä jaksoina aina 40 vuoteen asti, jolloin toistettiin vuosien 2000–2004 olosuhdetietoja.

Selkämerelle tulee vettä Itämeren muista osista

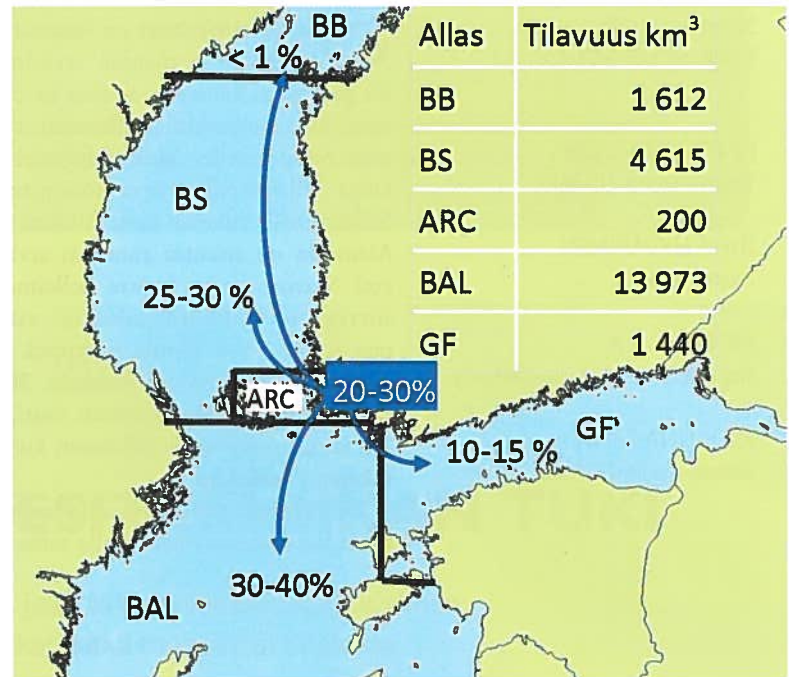
Merkittävä veden kulkureitti Itämeren pääaltaalta Selkämerelle on Ahvenanmaan ja Ruotsin välissä oleva 90 m syvä Understen-Märketin syväne, jota ennen pääaltaalta tuleva vesi ylittää Ahvenanmeren eteläosan kynnyksen. Sisäänvirtauksen Selkämerelle on havaittu taapahtuvan 30–100 metrissä (Hietala ym. 2007), ja yläpuolisissa vesikerroksissa virtaussuunta on pääasiassa Selkämereltä ulos. Pintavirtaukseen taas vaikuttavat muun muassa tuulen suunta ja vedenkorkeuden vaihtelu. Selkämeren ja Perämeren välisen vedenvaihdon pullonkaulana on Merenkurkku.

Viipymään perustuvia virtausmallisimulointeja on havainnollistettu yhden laskennallisen vesipisaran osalta, joka lähtee liikkeelle Suomenlahdelta ja päättyy lopulta Selkämerelle (Kuva 2). Prosenttiosuuksilla kuvataan aikaa, jonka Selkämeren vesi on aikaisemmin viettänyt Itämeren eri altaissa. Simulointituloksista voidaan päätellä, että Selkämerelle vuosittain tuleva kuormitus jää 89-prosenttisesti Selkämerelle (Taulukko 2). Lisäksi ilmenee, että Selkämeren vedenvaihto on suurempaa Itämeren pääaltaan kuin muiden altaiden kanssa.

Taulukko 2. Selkämeren veden eri altailla viettämän ajan %-osuus. Prosenttiosuus kuvaa kuinka suuren osan laskentajaksoa Selkämeren vesi on viettänyt Itämeren eri altaissa.

Laskentajakso (t)	Perämeri	Selkämeri	Saaristomeri	Suomenlahti	Itämeren pääallas
0–1 vuotta *)	4	89	<1	1	6
0–5 vuotta	7	68	<1	4	21
5–10 vuotta	8	52	<1	6	33
10–15 vuotta	9	47	<1	6	37
20–25 vuotta	9	45	<1	6	39
35–40 vuotta	10	44	<1	6	40

*) keskiarvo viidestä vuoden pituisesta simuloinnista

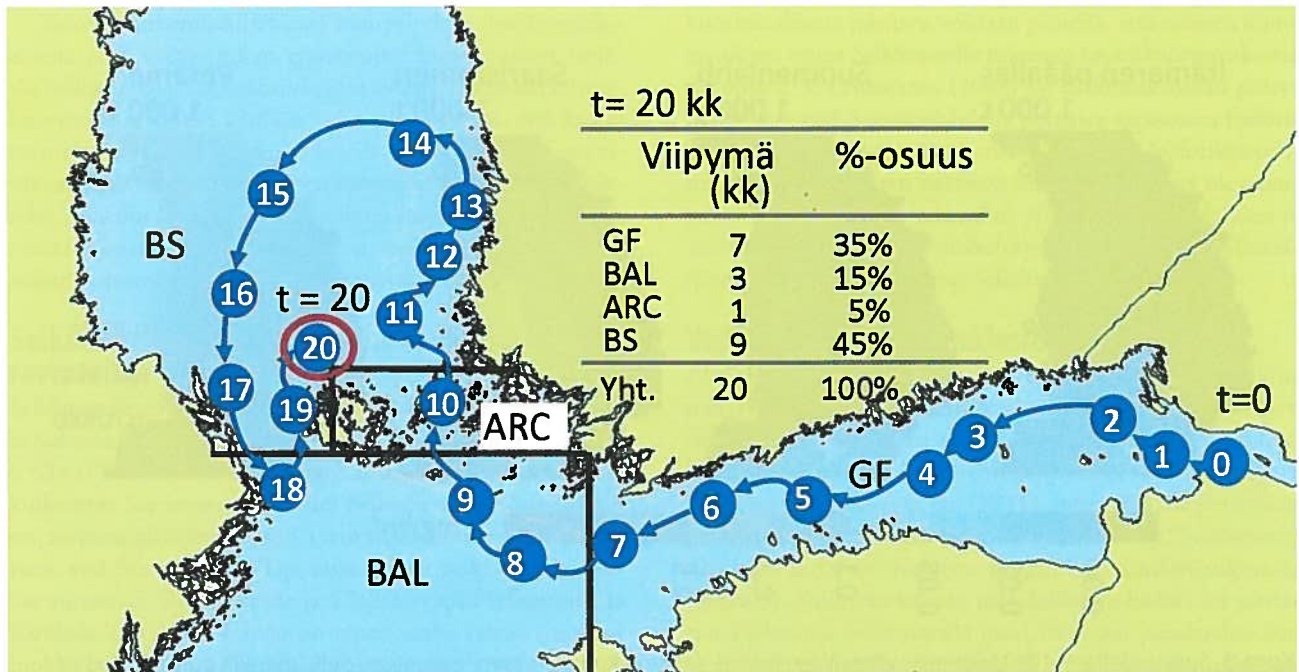


Kuva 1. Mallin allasjako ja viipymäsimulointeihin perustuva arvio Saaristomerien veden leviämisestä vuoden kuluessa.

Kuvassa 1 esitetään viipymäsimulointeihin perustuva arvio, miten Saaristomerien vesi leviää ajan myötä Selkämereen ja muille altaalle. Näin ollen osa vedessä olevista ravinteista siirtyy Saaristomereltä Selkämerelle ja osa Itämeren muihin osiin.

Ravinnekuormitustarkastelut

Virtausmallisimuloinneissa lisättiin kuhunkin altaaseen vuorotellen 1 000 tonnin suuruinen kuormitus tai kuhunkin altaaseen vuoden aikana tuleva ulkoinen fosforitai typpikuormitus, ja laskettiin kuinka suuren pitoisuuslisän kuormitus aiheuttaa Selkämerellä vuoden pituisessa



Kuva 2. Esimerkki Nevajoen suistosta liikkeelle lähteneen ja Selkämerelle päätyneen vesitipan viipymästä ja lasketusta prosenttiosuudesta, jonka se on ollut Itämeren eri altaissa 20 kuukauden kuluessa.

simuloinnissa. **Kuvissa 3 ja 4** on esitetty pitoisuuslisäykset Selkämerellä 1 000 t kuormituksen ja fosforikuormituksen vaikutuksesta. Lisäksi Selkämerelle kulkeutuvan fosforin ja typen vuotuiset taustakuormitusarvot laskettiin kertomalla keskimääräiset pitoisuuslisäykset Selkämeren tilavuudella (**Taulukko 3**).

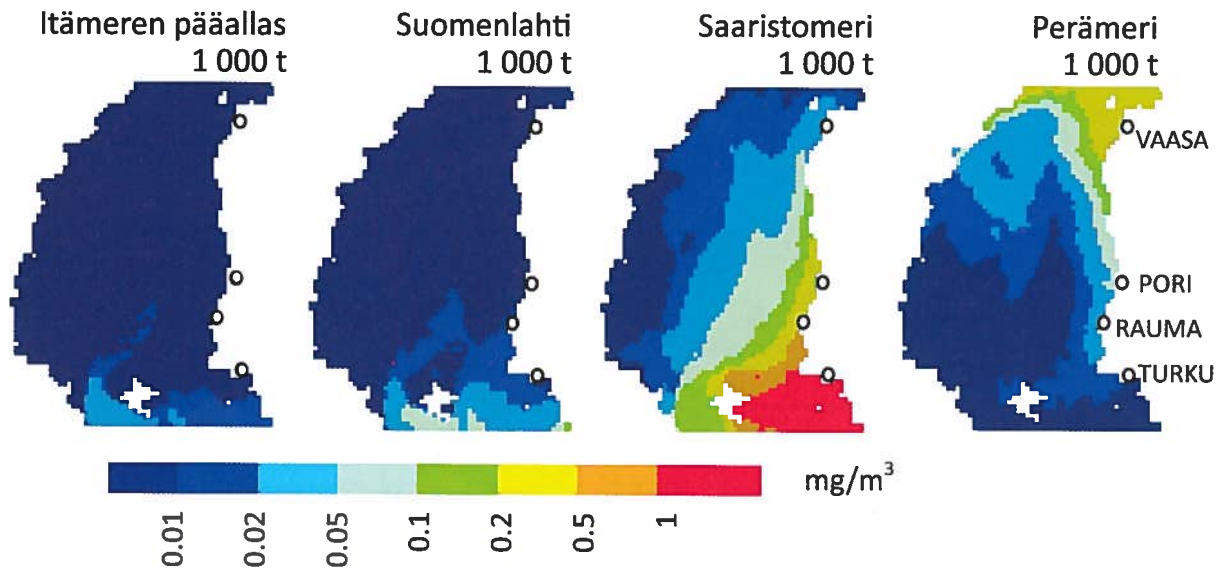
Selkämeren taustakuormituksen vähentämiseen tähtäävät toimet ovat tehokkaimpia, kun ne toteutetaan Saaristomerellä tai Perämerellä (**Kuva 3**). Itämeren pääaltaalla tai Suomenlahdella tehtävällä 1 000 tonnin fosforitai typpikuormitusvähennyksellä ei olisi näkyvää vaikutusta Selkämeren tilaan. Mallissa kaikki orgaaninen ja epäorgaaninen aines kulkeutuu samalla tavalla ja Saaristomereltä tai Perämereltä tulevan kokonaisfosforipitoisuuden leviäminen erottuu rannikollamme selvästi (**Kuva 4**) Pohdittaessa Perämeren vaikutusta Selkämeren ravintetasoihin tulee ot-

taa huomioon, että Perämeri on fosforirajoitteinen ja todellisuudessa sieltä ei juurikaan kulkeudu epäorgaanista fosforia. Perämeren havaitut fosforipitoisuudet ovat Selkämerta pienempiä, joten sieltä kulkeutuva vesi laimentaa jo nyt Selkämeren fosforipitoisuutta. Rehevöittävää tyyppä sen sijaan Perämereltä saattaa kulkeutua Selkämerelle.

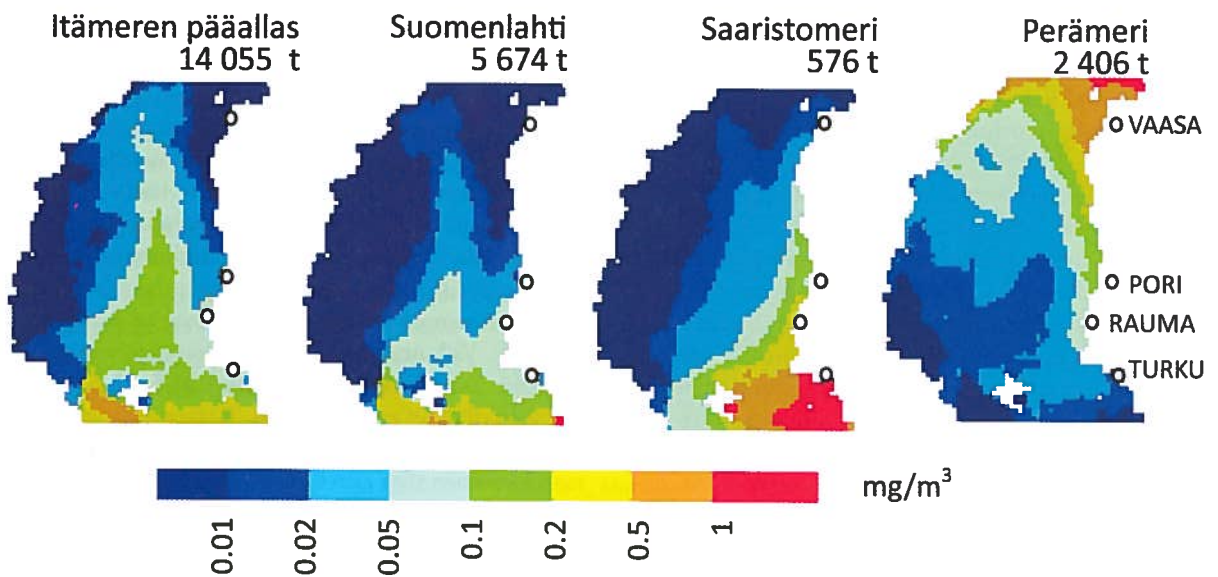
Saaristomereltä lähtevä kuormitus leviää Selkämerelle siten, että pitoisuudet ovat suurimmat Suomen rannikon tuntumassa. Saaristomerien taustakuormituksen vaikutus ravintepitoisuuksiin Vakka-Suomen ja Satakunnan rannikoilla on selvästi suurempi kuin Itämeren pääaltaan tai Suomenlahden (**Kuva 4**). Vaikutus laimenee asteittain pohjoisemmaksi siirtyessä. Esimerkiksi Porin korkeudella Saaristomereltä tuleva fosforilisa on enää vähäinen. Satakunnan rannikolla jokivedet, erityisesti Kokemäenjoesta, ovat merkittävin tekijä rannikkovesien tilaa ajatellen.

Taulukko 3. Simuloitu taustakuormitus Perämereltä, Saaristomereltä, Suomenlahdelta ja Itämeren pääaltaalta Selkämerelle (t/v).

Simulointijakso	Perämeri		Saaristomeri		Suomenlahti		Itämeren pääallas		Yht.	
	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N
2000	278	7367	163	3270	199	4270	390	12540	1030	27447
2001	271	7197	171	3434	190	4073	359	11557	992	26259
2002	278	7388	208	4175	89	1910	231	7446	807	20919
2003	294	7792	163	3275	116	2500	291	9363	865	22929
2004	295	7826	163	3266	117	2505	290	9333	865	22930
Keskiarvo	283	7514	174	3484	142	3052	312	10048	912	24097



Kuva 3. Suuruudeltaan 1000 tonnin kuvitteellisen fosfori- tai typpikuormituksen leviäminen Selkämerelle puolen vuoden kuluessa, kun kuormitus lähtee liikkeelle Itämeren pääaltaalta, Suomenlahdelta, Saaristomereltä tai Perämereltä koko vesimassaan sekoittuneena.



Kuva 4. Fosforipitoisuuden nousun (mg/m^3) syvyyskeskiarvo Selkämerellä vuoden 2000 simuloinneissa keskimäärin. HELCOMille raportoidut altaihin tulevat fosforikuormitukset on jaettu vuorotellen tasaisesti Itämeren pääaltaan, Suomenlahden, Saaristomerien tai Perämeren koko vesimassaan. Vuosikuormitus jakautuu ajallisesti tasaisesti koko vuodelle.

Itämeren pääaltaalta tuleva taustakuormitus leviää Ahvenenmeren kautta Selkämeren ulapalle toisin kuin Saaristomereltä tuleva kuormitus, joka keskittyy rannikon tuntumaan (Kuva 4). Kuvassa 3 pääaltaan vaikutus näyttää pieneltä, koska 1 000 tonnin kuormitus on sekoitettu tasaisesti pinnasta pohjaan koko pääaltaan vesimäärään, jolloin

altaalta Selkämerelle siirtyy ravinnepitoisuudeltaan laimeaa vettä. Suomenlahden vettä kulkeutuu Selkämerelle sekä pääaltaan että Saaristomerien kautta. Perämereltä lähteneen kuormituksen pitoisuudet ovat pienempiä syvällä Ruotsin rannikolla kuin Suomen puolella, sillä ne on esitetty Selkämeren syvyyskeskiarvoina (Kuvat 3 ja 4).

Tulokset ilmentävät lähinnä kuormituksen leviämiskäsitteitä ja kuvaavat miten erisuuruiset kuormitukset leviävät Selkämerelle. Laskennoissa on käytetty kokonaisravinnekuormitusta, jolloin tehdään virheellinen oletus, että kaikki ravinteet ovat käyttökelpoisia ja sedimentin ravinnetaset eivät muutu. Sedimentoitumisen huomiotta jättäminen liioittelee muualta kulkeutuvien aineiden pitoisuuksien määrää, mutta toisaalta myöskään pohjasta vapautuvia ravinteita eli sisäistä kuormitusta ei mallissa oteta huomioon.

Selkämerelle kulkeutuu tonnikaupalla ravinteita

Selkämerelle siirtyvä vuotuinen ravinnekuorma Saaristomereltä ja Suomenlahdelta yhteensä on fosforin osalta 316 t ja typen 6 535 t (Taulukko 3). Itämeren päältä kuormituksesta osa kulkeutuu Saaristomerren kautta Selkämerelle. Aikaisemmin on arvioitu altain väliin ravinnepitoisuuseroihin perustuen, että Saaristomerren läpi ravinnevuot Selkämerelle olisivat vuosittain 900 t fosforia ja 5 200 t typpeä (Helminen ja Kirkkala 2005). Uusi arvio on typen osalta samaa suuruusluokkaa ja fosforin osalta selkeästi pienempi.

Fosforin osalta laskelmien erotus selittyy pääosin sillä, että fosforin sisäistä kuormitusta ei tässä mallitarkastelussa otettu huomioon, koska sitä ei tunnettu. Aikaisemmassa pitoisuuksiin perustuvassa Selkämeren taustakuormituksen laskelmassa se oli sisäänrakennettuna mukana. Jos erotus kokonaisuudessaan on Saaristomerren ja Suomenlahden sisäisestä

kuormituksesta johtuva, voidaan päätellä, että sisäisen kuormituksen osuus Selkämerelle tulevasta taustakuormituksesta on noin 2/3. Lehtoranta (2003) on tutkimuksissaan päätyynyt siihen, että Suomenlahdella pohjasta vapautuva fosforimäärä voi selvästi ylittää vuotuisen ulkoisen fosforikuormituksen. Saaristomerren sisäisestä kuormituksesta ei ole aiempaa arviota. Sisäinen kuormitus ylläpitää Suomenlahden ja Saaristomerren rehevöitymiskehitystä tehokkaasti ja ylimääräiset ravinteet kulkeutuvat Selkämerelle asti.

Vesi kuljettaa ylijäämäfosforia kesällä

Altain välinen vedenvaihto mahdollistaa kevätkukinnan jälkeisen niin kutsutun ylijäämäfosforin siirtymisen Selkämerelle. Itämeren päältä kevätkukinnan jälkeen käyttämät jääneen liukoisen fosforin määrä on lisääntynyt 2000-luvulla (Raateoja ym. 2011), joten sillä on potentiaalia siirtyä vesimassojen mukana Selkämerelle. Selkämeren ulappa-alueella on havaittu loppukesän sinileväkukintoja (Kuva 5). Sinilevän kasvun mahdollistava fosfori on saattanut kulkeutua Selkämerelle juuri Itämeren päältä. Sen sijaan kasvukaudella rehevöittävää typpeä ei todennäköisesti juurikaan ehdi kulkeutua Selkämerelle muualta kuin fosforirajoitteiselta Perämereltä. Kasviplanktonin käytettävissä oleva liukoinen tyyppi hyödynnetään nopeasti kasvukauden aikana ja lisäksi jopa puolet tyypestä poistuu denitrifikaatiossa. Tämä pitää suuren osan Itämeren jatkuvasti typpirajoitteisena (Kuosa ym. 2006).



GRUNDFOSIN PUMPPAAMOSÄILIÖILLÄ ON CE-MERKINTÄ

be think innovate

CE

1.7.2013 on astunut voimaan EU-direktiivi, joka vaatii CE-merkintää kaikille sarjatuotantoisille ja kiinteästi asennettaville rakennusteollisuuden tuotteille.

Grundfosin pumppaamot ovat läpikäyneet standardin mukaiset testaukset puolueettoman kolmannen osapuolen toimesta. Testeissä pumppaamot ylittivät reilusti vaaditut raja-arvot. CE-merkintä on myönnetty kaikille suurille kunnallisteknisille ja teollisuuskäyttöön tarkoitetuille säiliöille ja pienimmille Polar-sarjan säiliöille sekä säiliöiden tulo- ja paineyhteille. Myös putkistomme kuuluu tyyppihyväksyntään, vaikka se ei käytännössä kuulukaan tämän standardin piiriin.

Tutustu säiliöihin ja koko laajaan tuotevalikoimaamme osoitteessa www.grundfos.fi.

GRUNDFOS

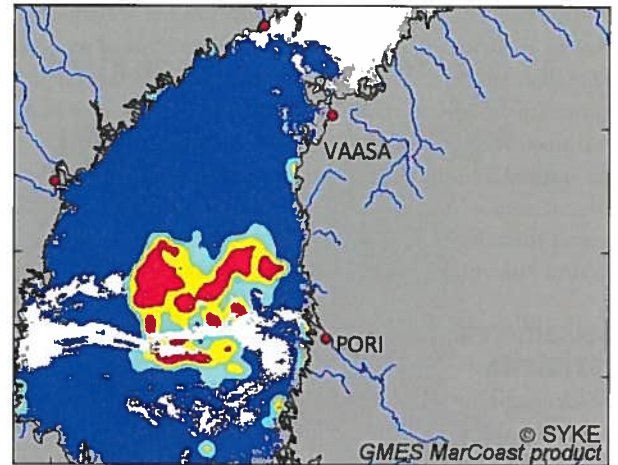
Selkämeren tulevaisuus

Saaristomereltä kulkeutuu jossain määrin fosforia Selkämerelle, mutta sen osuus paikallisiin kuormituslähteisiin verrattuna vähenee nopeasti. Vaikka ravinnemäärä on suuri esimerkiksi yksittäisiin kuormittajiin verrattuna, on Pohjois-Satakunnan jokivesien kuormittamalla rannikolla Saaristomereltä kulkeutuneen fosforin osuus jo merkityksetön.

Itämeren pääaltaalta tuleva vesimäärä ja sen myötä ravinnekuormitus osoittautuivat yleisesti ajateltua paljon suuremmiksi suhteessa Saaristomereltä tulevaan kuormitukseen. Itämereltä tulevalla kuormituksella voi nähdä yhteyden Selkämeren ravinnevarannon kasvuun, ja Selkämeren ulapan elokuiset sinilevälautat ilmentävät mitä todennäköisimmin juuri pääaltaan suunnasta tullutta ravinnekuormitusta.

Mikäli Selkämeri pysyy jatkossakin hyvin sekoittuneena, niin laajoja happikatotilanteita ei pääse esiintymään. Vuosina, jolloin kerrostuminen Selkämerellä on tavallista voimakkaampaa, liikahduksia rehevöitymisen suuntaan tapahtuu. Selkämeren sisäsaariston havaintoasemilla on tavattu ajoittain hapettomia pohjia. Ravinnepitoisuuksia tai veden sameutta tarkasteltaessa sisäsaariston tila on selvästi heikompi ulkosaaristoon nähden (Lundberg ym. 2009). Raateoja (2013) on arvioinut, että veden sekoittumista heikentävää suolaisuuskerrostuneisuuden muodostumista ei ole odotettavissa Selkämerellä pitkällä tähtäimellä, sillä ilmastomuutos ei tue Selkämeren suolaisuuden voimistumista. Toisaalta lisääntyvä valunta voi lisätä kerrostuneisuutta.

Rannikon rehevöittävien päästöjen vähentäminen ja valuma-alueella tehtävät vesien suojeletoimet ovat keskeisiä, jotta rannikkovesien tila ei asteittain huonone. Selkämeren rannikkoalueen kasviplanktonmäärän on arvioitu vähenevän tehokkaimmin yhtäaikaaisesti typpi- ja fosforikuormituksen vähentämisellä. (Kuosa ym. 2006)



MAATA EI MAHDOL- TODEN- VARMAA PILVIÄ
LISTA LÄÄKÄRISTÄ



Kuva 5. Sinilevän pintakukinta havaittuna Envisat MERIS-satelliittikuvasta 19.8.2011 (SYKE).

Tulokset havainnollistavat veden liikkeiden kautta Itämeren eri osa-alueiden yhteyttä ja yhteistä intressiä kuormituksen vähentämiseksi. Ilmiön tunnistaminen ei pelkästään taustoita rannikkovesien suojelua. Saariston niukkuus on Selkämerelle tunnusomaista ja avomeren vaikutus ulottuu paikoin rannikolle asti. Selkämeren ulapan tilalla on näin myös vesien virkistyskäytön kannalta suuri merkitys. Aivan rannanläheisten vesien tilan ratkaisee kuitenkin ensisijaisesti valuma-alueelta tuleva kuormitus. Siihen voidaan ratkaisevasti vaikuttaa paikallistason käytännön vesien suojeletoimilla. 💧

Kirjallisuus

- HELCOM, 2011. The Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-5) Balt. Sea Environ. Proc. No. 128.
- Helminen H., Kirkkala T. 2005. Saaristomereltä kulkuvuonot ravinteet. Teoksessa: Sarvala M., Sarvala J. (toim.) Miten voit Selkämeri? Ympäristön tila Lounais-Suomessa 4. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku. 144 s.
- Hietala R., Lundberg P., Nilsson J.A.U. 2007. A note on the deep-water inflow to the Bothnian Sea. *J. Marine Syst.* 68 (1-2), 255-264.
- Kuosa H., Arvola L., Bärnlund I., Ekholm P., Hietanen S., Kaipainen H., Lehtoranta J., Leivuori M., Lukkari K., Pittkänen H., Rask M., Talberg P., Tulonen T. 2006. Itämeren rehevöitymiseen vaikuttava maalla ja merellä. *Vesitalous* 2/2006, 20-25.
- Koponen J., Kummumäki M., Lauri H., Virtanen M., Inkala A., Sarkkula J., Suojanen I. 2006. Hydrological, Environmental and Socio-Economic Modelling Tools for the Lower Mekong Basin Impact Assessment, Technical Paper No.1 – EIA 3D Model Manual, Lower Mekong Basin modelling project (WUP-FIN), Mekong River Commission.
- Lehtoranta J. 2003. Dynamics of sediment phosphorus in the brackish Gulf of Finland. *Boreal Env. Res., Mon.* 24. 58 s.
- Lundberg C., Jakobsson B., Bonsdorff E. 2009. The spreading of eutrophication in the eastern coast of the Gulf of Bothnia, northern Baltic Sea – an analysis in time and space. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 82 (1), 152-160.
- Myrberg K., Ryabchenko V., Isaev A., Vankevich R., Andrejev O., Bendtsen J., Erichsen A., Funkqvist L., Inkala A., Neelov I., Rasmus K., Medina M. R., Raudsepp U., Passenko J., Söderkvist J., Sokolov A., Kuosa H., Anderson T., Lehman A., Skogen M. 2010. Validation of three-dimensional hydrodynamic models of the Gulf of Finland. *Boreal Env. Res.* 15 (5), 453-479.
- Oravainen R. 2012. Syksyn sateet synkistävät kuormitustilannetta. *Vesiviesti* 3/2012. Kokemäenjoen vesien suojeletoimien kehittäminen.
- Raateoja M., Kuosa H., Hällfors S. 2011. Fate of excess phosphorus in the Baltic Sea: A real driving force for cyanobacterial blooms? *J. Sea Res.* 65 (2), 315-321.
- Raateoja M. 2013. Deep-water oxygen conditions in the Bothnian Sea. *Boreal Env. Res.* 18 (3-4), 235-249.