

# Pääkaupunkiseudun rannikkovesien laatu

Ilmastonmuutoksen ja ravinnekuormituksen  
vaikutukset 1970-luvulta nykypäivään

Emil Vahtera



Kaupunkiympäristön julkaisuja 2019:6

# **Pääkaupunkisedun rannikkovesien laatu**

**Ilmastonmuutoksen ja ravinnekuormituksen  
vaikutukset 1970-luvulta nykypäivään**

Emil Vahtera

Julkaisija | Helsingin kaupunki / Kaupunkiympäristön toimiala  
ISBN | 978-952-331-540-2  
ISSN | 2489-4230

## Sisällys

<b>Tiivistelmä.....</b>	<b>3</b>
<b>Sammandrag .....</b>	<b>3</b>
<b>Summary.....</b>	<b>4</b>
<b>1 Johdanto.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Ovatko ilmastonmuutoksen vaikutukset havaittavissa?.....</b>	<b>6</b>
Meriveden lämpötila nousee ja suolaisuus laskee .....	6
<b>3 Pääkaupunkiseudun rannikkovesien rehevöityminen.....</b>	<b>11</b>
Mikä on lähiympäristön ihmistoiminnan vaikutus meren tilaan?.....	11
Ulkosaariston rehevöitymiskehitys .....	11
Hajakuormituksen vaikutukset rannikkovesien tilaan .....	16
Miten ravinnekuormituksen ja -pitoisuuksien muutokset näkyvät meren tilassa? .....	19
<b>Viitteet .....</b>	<b>21</b>

# Tiivistelmä

Pääkaupunkiseudun merialueen veden laatua on seurattu yhtäjaksoisesti 1960-luvun lopulta. Pitkien havainto-aikasarjojen avulla voidaan arvioida pääkaupunkiseudun merialueen tilan muutoksia suhteessa etenevään ilmastonmuutokseen ja muutoksiin ulkoisessa ravinnekuormituksessa. Muutokset meren tilassa ovat selvästi näkyvissä. Veden lämpötila on kasvanut ja suolaisuus vähentynyt. Ravinnepitoisuudet ovat vaihdelleet mittausjakson aikana suuresti, typpipitoisuuksien keskimääräisesti laskiessa ja fosforipitoisuuksien kasvaessa 1990-luvulta nykypäivään. Merivesi on entistä sameampaa, vedessä keijuvien levien määrät ovat kasvaneet ja pohjanläheisen veden happipitoisuudet ovat laskeneet. Pistemäinen ulkoinen ravinnekuormitus on Suomenlahdelle laskenut, mutta alueellinen hajakuormitus on vielä pääkaupunkiseudun merialueella merkittävästi kuormittava ravinteiden lähde.

# Sammandrag

Vattenkvaliteten i huvudstadsregionens havsområde har uppföljts sedan det sena 1960-talet. Med hjälp av långtidsdata är det möjligt att evaluera möjliga effekter av förändringar i näringsbelastningen samt den pågående klimatförändringen på havsmiljön. Förändringarna i havets tillstånd är märkbara. Vattnets temperatur har stigit och salthalten minskat. Näringsämneskoncentrationerna har varierat mycket under de senaste 50-åren, i genomsnitt har kvävekoncentrationerna i vattnet minskat och fosforkoncentrationerna ökat sen 1990-talet. Havsvattnet är grumligare än förut, växtplanktonmängderna har ökat och de bottennära syrekoncentrationerna har minskat. Punktbelastningen av näringsämnen till Finska viken har minskat, men den regionala diffusa näringsbelastningen till kustnära områden är ännu ett märkbart problem i huvudstadsregionen.

# Summary

The water quality in the coastal sea of the Helsinki metropolitan area has been regularly monitored since the late 1960's. Long time-series data make it possible to evaluate potential effects of the ongoing climate change and changes in external nutrient loads on the coastal seawater quality. Changes in water quality are apparent. Water temperatures have increased and salinity declined. Nutrient concentrations have varied a lot during the measurement period, on average, nitrogen concentrations have declined and phosphorus concentrations increased since the 1990's. The coastal seawater is more turbid than it used to be, the amount of planktonic algae has increased and near bottom oxygen concentrations have declined. Nutrient point source loads have declined to the Gulf of Finland, however, local diffuse nutrient loading to the coastal sea is still a pronounced nutrient source to the area.

# 1 Johdanto

Pääkaupunkiseudun merialueen tilaa on seurattu yhtäjaksoisesti 1960-luvun lopulta. Muutokset meren tilassa ovat selvästi näkyvissä veden samentumisena ja alueen lajiston muutoksissa (Pellikka ja Viljamaa 1998, Laine ym. 2007, Pellikka ym. 2007, Suikkanen ym. 2013). Alueella ei enää pyydyksiin tartu turskaa, silakkapopulaatiot voivat huonosti eikä rakkolevä esiinny yhtä runsaana (Österblom ym. 2007, Rahikainen ym. 2017, Ruuskanen 2017). Syyt muutoksien takana ovat monitahoiset, johtuen ilmastonmuutoksesta ja Itämeren meriveden kierron muutoksista sekä ihmistoiminnan aiheuttamasta rehevöitymisestä (Laine ym. 2007, Österblom ym. 2007, Möllmann ym. 2009). Koostamalla pitkän aikavälin seuranta-aineistoista yhteenvetoja voimme tulkita joitakin muutosten syitä ja yrittää luoda ymmärrystä siitä miten voimme pitää rannikkovesistämme parempaa huolta. Meren tilassa havaittavat muutokset ovat kuitenkin monimutkaisen verkoistuoituneiden prosessien tuottama ilmentymä. Meren tilaan vaikuttavat niin ulkoinen kuormitus ja pitkän ajan muutokset ilmastossa, kuin meriveden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet. Rannikkoalueella korostuu myös luontainen rannikolta ulapalle ulottuva voimakas veden laadun vaihtuminen, jossa avomeren vesimassojen vaikutukset vuorottelevat maalta tulevan valuman vaikutuksen kanssa (Raateoja ja Kauppila 2018). Tämän lisäksi biologiset prosessit meressä, jotka sekä ilmentävät muiden tekijöiden muutoksia että myös muokkaavat veden laatua poistamalla tai lisäämällä ravinteita merivedestä, vaikuttavat tilanteeseen (Carstensen ym. 2014, Asmala ym. 2017).

Tämä on Helsingin kaupungin Ympäristönsuojeluyksikön määrääjain julkaisema pitkän aikavälin seuranta-aineistojen yhteenvetoraportti, jossa tarkastellaan meriveden laadun muutoksia suhteessa ilmastonmuutokseen ja alueen ulkoiseen ravinnekuormitukseen.

Lisätietoja ja yksityiskohtaisempia raportteja pääkaupunkiseudun merialueen tilasta: [www.hel.fi/merivesi](http://www.hel.fi/merivesi)

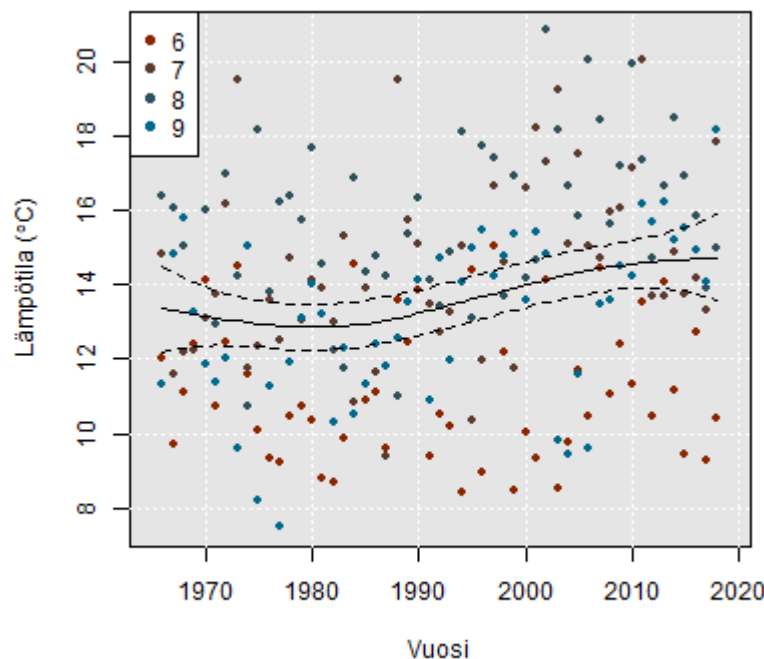


## 2 Ovatko ilmastonmuutoksen vaikutukset havaittavissa?

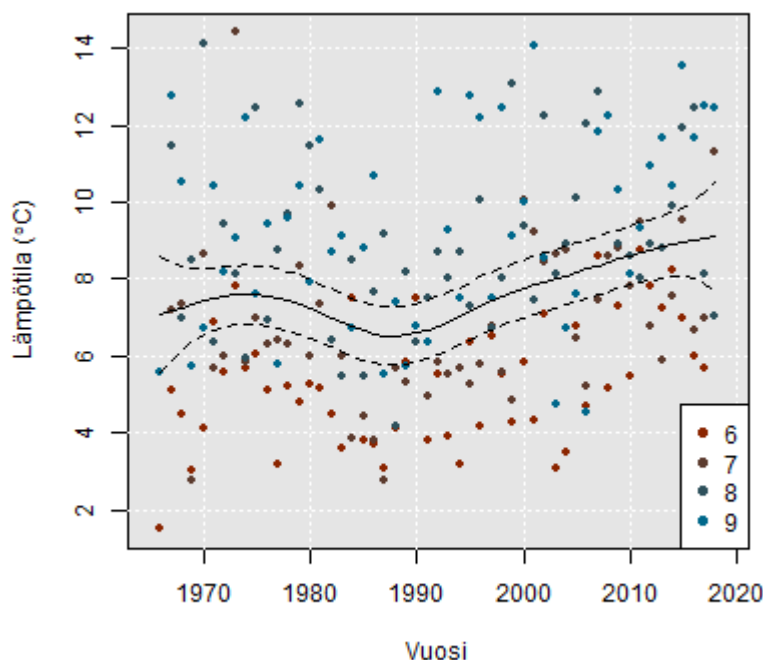
### Meriveden lämpötila nousee ja suolaisuus laskee

Pintaveden keskimääräinen lämpötila on kasvanut rannikkovesissämme vuodesta 1970 vuoteen 2018 noin 1.6 °C, etenkin loppukesän lämpötilat ovat kasvaneet alueella voimakkaimmin (kuva 1), vaikka kesäkuukausien välinen vaihtelu keskimääräisessä pintavesien lämpötilassa onkin suurta. Suuret pintaveden lämpötilan heilahtelut kuukausien välillä johtuvat pääosin meriveden kumpuamisilmiöstä, jossa viileämpää pohjanläheistä vettä nousee pintavesikerrokseen (Alenius ym. 1998).

Pintaveden tapaan myös pohjanläheisen veden lämpötila on alueella noussut. Pohjanläheinen vesi oli keskimäärin viileintä 1980-luvun lopulla (kuva 2). Nykypäivään mennessä pohjanläheisen veden lämpötila on noussut 1980 –luvun lopulta noin 2.6 °C (vuodesta 1970 noin 1.7 °C).



Kuva 1. Pintaveden (0-10 m) kesäkuukausien (6 = kesäkuu, 7 = heinäkuu, 8 = elokuu, 9 = syyskuu) keskimääräiset lämpötilat (pisteet) ulko- ja välisaaristossa sekä vuosikohtainen keskiarvo ja keskiarvon 95% luottamusväli (janat).



**Kuva 2. Pohjanläheisen veden (pohjan syvyys +1 m) kesäkuukausien (6 = kesäkuu, 7 = heinäkuu, 8 = elokuu, 9 = syyskuu) keskimääräiset lämpötilat (pisteet) ulko- ja välisaarissa sekä vuosikohtainen keskiarvo ja keskiarvon 95% luottamusväli (janat).**

**Meriveden lämpötila on noussut noin 2 °C viimeisten 40 vuoden aikana**

Pintaveden suolaisuuden pitkäaikaismuutoksia hallitsee suolaisuuden lasku 1970-luvun lopulta 1990-luvun alkuun. Suolaisuus laski 0.8 suolaisuusyksikköä (PSU) tämän 14 vuoden jakson aikana. Vuodesta 1992 vuoteen 2018 suolaisuus on taas kasvanut hieman, mutta pysyen aiempaa matalammalla tasolla (kuva 3). Pohjanläheisen veden suolaisuus on kehittynyt pintaveden suolaisuuden kanssa samaan tapaan, ollen korkeimmillaan 1970-luvun lopulla ja laskien 1980- ja 1990-lukujen aikana pysyvästi matalammalle tasolle (kuva 4). Pohjanläheisen veden suolapitoisuus laski ajanjaksolla noin 0.5 suolaisuusyksikköä (PSU).

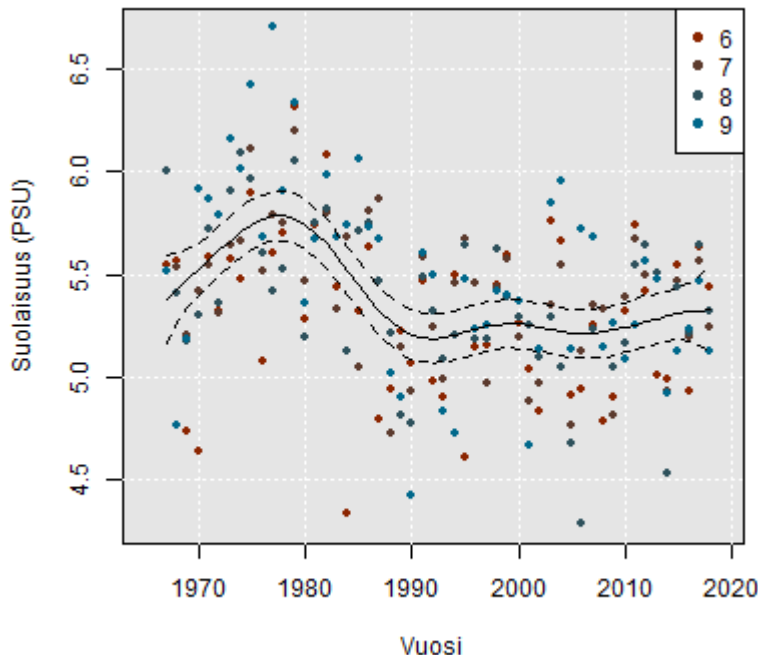
**Meriveden suolaisuus on laskenut 1980-luvulta 1990-luvulle**

Ilmastonmuutoksen myötä meriveden lämpötilan on ennustettu nousevan ja suolaisuuden laskevan (BACC II 2015). Meriveden lämpötila nousee ilmakehän lämpötilan noustessa, mutta myös muut syyt johtavat rannikkomme meriveden lämpötilan nousuun, näihin lukeutuvat esimerkiksi muutokset veden kerrostuneisuudessa ja merivirtojen muutokset (Liblik ja Lips 2011, 2017). Ilmastonmuutoksen myötä ennustetun lisääntyvän sadannan on ennustettu madaltavan rannikko-

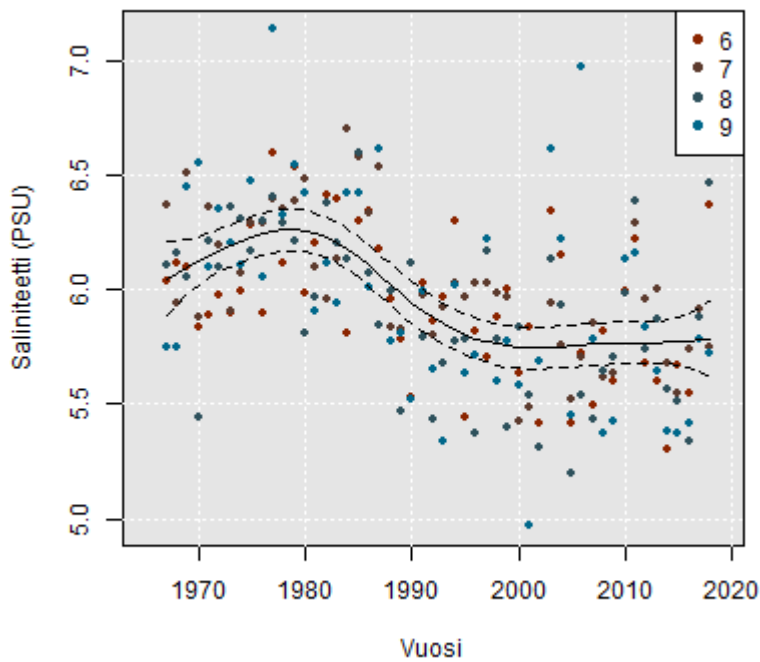
vesiemme suolapitoisuutta, pitkäaikaisaineistossa havaitut suolapitoisuuden muutokset johtunevat kuitenkin vielä pääosin Itämerelle työntyvien sulapulssien vähenemisestä. Kasvava lämpötila voi pahentaa alueella esiintyvää fosforin vapautumista sedimentistä ja madaltuva suolaisuus vaikuttaa alueen eliöstöön.

Kesällä merivesi kerrostuu pintaveden lämmitessä, kylmä vesi on lämmintä vettä tiheämpää ja täten painaa enemmän tilavuusyksikköä kohden. Kylmä vesi pysyy siis lähellä meren pohjaa. Myös veden suolaisuus vaikuttaa veden tiheyteen ja syvä vesi on pintavettä suolaisempaa, voimistaen kerrostuneisuutta. Veden kerrostumisen voimakkuus ja sitä myötä veden pystysuuntainen sekoittuminen säätelee montaa eri tekijää meressä, kuten pohjanläheisen veden happi- ja ravinnepitoisuuksia sekä pintakerroksen ravinnepitoisuuksia, vaikuttaen täten meren rehevöitymisen ilmentymiseen esimerkiksi sinileväkukintojen muodossa (Kahru ym. 2000). Tästä syystä, tulkittaessa pitkän ajan seuranta-aineistojen ravinnepitoisuuksia on tärkeää pitää mielessä veden kerrostuneisuuden kehitys ja sitä säätelevät tekijät.

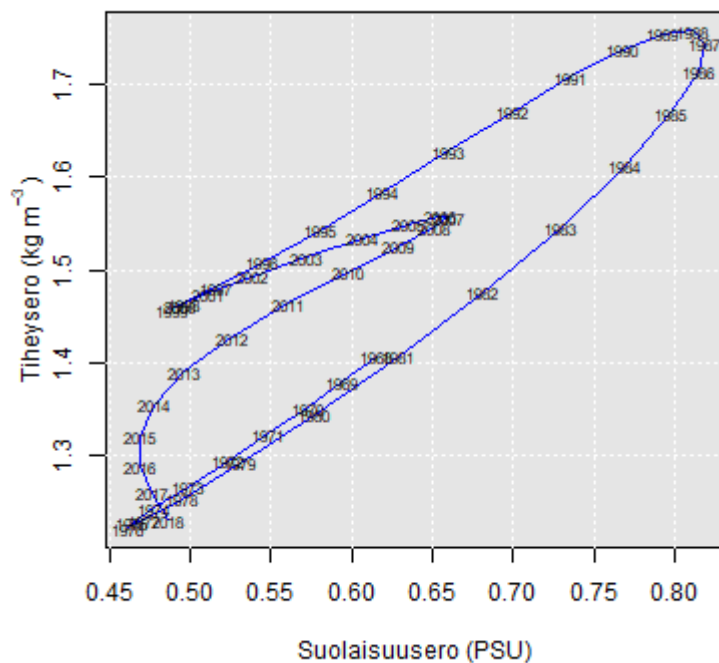
Pinta- ja pohjanläheisen veden lämpötilaerot eivät juuri ole muuttuneet viimeisen 40 vuoden aikana meriveden lämmitettyä kauttaaltaan. Pinta- ja pohjanläheisen veden suolapitoisuuksien erot ovat kuitenkin muuttuneet niin että muutokset erotuksessa säätelee pitkän aikavälin muutoksia veden kerrostuneisuudessa (kuva 5). Pinta- ja pohjanläheisen veden suolaisuus- ja tiheyserot olivat pienimmillään 1970-luvun lopulla, kasvaen 1980-luvun lopulle, josta erot ovat taas pienentyneet nykypäivään. Eli, merivesi on ollut voimakkaimmin kerrostunutta 1980- ja 1990-lukujen taitteessa ja heikoiten kerrostunutta 1970-luvulla ja vuoden 2015 jälkeisinä vuosina.



**Kuva 3.** Pintaveden (0-10 m) kesäkuukausien (6 = kesäkuu, 7 = heinäkuu, 8 = elokuu, 9 = syyskuu) keskimääräiset suolapitoisuudet (pisteet) ulko- ja välisaaristossa sekä vuosikohtainen keskiarvo ja keskiarvon 95% luottamusväli (janat).



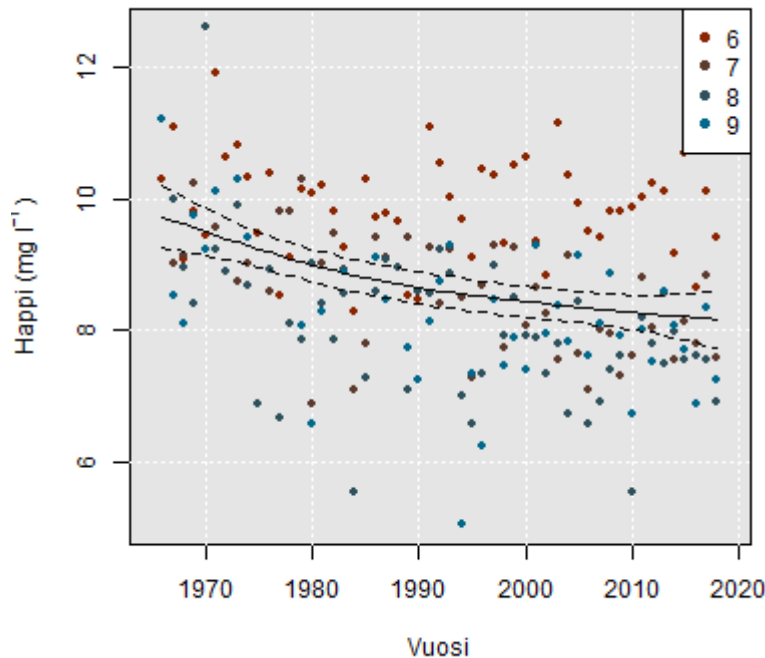
Kuva 4. Pohjanläheisen veden (pohjan syvyys +1 m) kesäkuukausien (6 = kesäkuu, 7 = heinäkuu, 8 = elokuu, 9 = syyskuu) keskimääräiset suolapitoisuudet (pisteet) ulko- ja väli-saaristossa sekä vuosikohtainen keskiarvo ja keskiarvon 95% luottamusväli (janat).



Kuva 5. Pinta- ja pohjanläheisen veden suolaisuuserojen ja tiheyserojen kehitys vuodesta 1968 vuoteen 2018 pääkaupunkiseudun merialueen väli- ja ulkosaaristossa.

## Pinta- ja pohjanläheisen veden suolaisuuserot säätelevät pitkän aikavälin muutosta veden kerrostuneisuudessa

Pohjanläheisen veden keskimääräinen happipitoisuus on laskenut tasaisesti 1960-luvulta nykypäivään noin  $1.5 \text{ mg l}^{-1}$ . Happipitoisuuden laskuun näyttää vaikuttavan voimakkaimmin pohjanläheisen veden lämpeneminen, mikä on vaikuttanut hapen liukoisuuteen. Lämpimämpään veteen liukenee vähemmän happea, kun kylmempään ja täten happipitoisuus on pohjanläheisessä vedessä laskenut.



Kuva 6. Pohjanläheisen veden (pohjan syvyys +1 m) kesäkuukausien (6 = kesäkuu, 7 = heinäkuu, 8 = elokuu, 9 = syyskuu) keskimääräiset happipitoisuudet (pisteet) ulko- ja välisaaristossa sekä vuosikohtainen keskiarvo ja keskiarvon 95% luottamusväli (janat).

## Pohjanläheisen veden happipitoisuus on laskenut veden lämmetessä

Koko vesipatsaan lämpötila on kasvanut ja suolaisuus on laskenut 1980-luvulta. Veden lämpenemisen voidaan katsoa johtuvan ilmastomuutoksen aiheuttamasta ilmakehän lämpenemisestä, mutta myös säätyyppien muutoksista, jotka vaikuttavat veden kiertoon Itämerellä. Suolaisuuden pitkäaikaismuutokset hallitsivat veden kerrostuneisuuden pitkäaikaismuutoksia. Muutokset suolaisuudessa Helsingin edustalla johtunevat pääosin Itämerelle työntyvien suolapulssien

vähenevästä ja veden kierron muutoksista. Pohjanläheisen veden lämpötilan kasvu on johtanut kokonaisuudessaan heikompaan pohjanläheisen veden happitilanteeseen. Pohjanläheisen veden heikompi happitilanne voi vaikuttaa merialueen tilaan heikentävästi.

### 3 Pääkaupunkiseudun rannikkovesien rehevöityminen

#### Mikä on lähiympäristön ihmistoiminnan vaikutus meren tilaan?

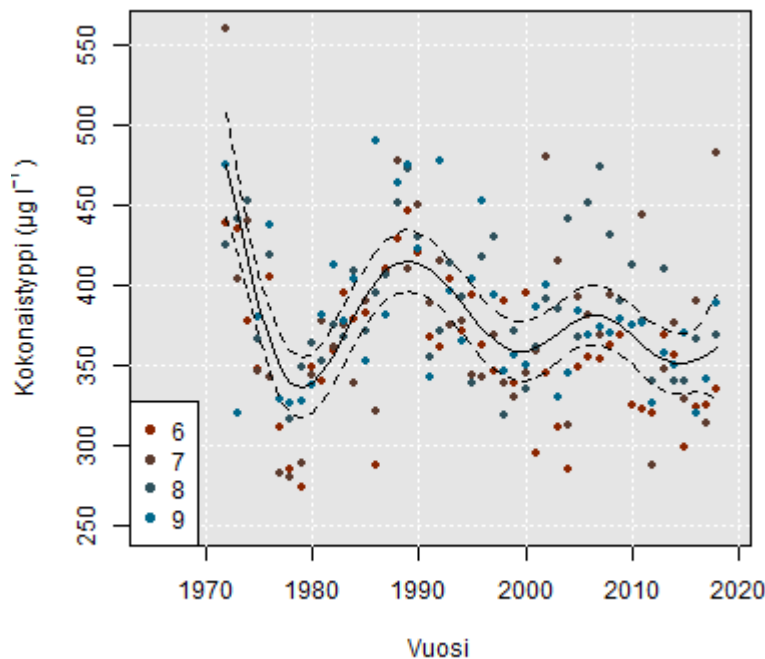
##### Ulkosaariston rehevöitymiskehitys

Ulkoinen ravinnekuormitus (typpi ja fosfori) pääkaupunkiseudun merialueelle on muuttunut aikojen saatossa. Ennen 1980-lukua suurin osa puhdistetuista yhdyskuntajätevesistä purettiin rannikon läheisyyteen, useasta eri puhdistamosta ja jätevesien vaikutusalue rajautui rannikkoalueelle ja Helsingin suurimpiin lahtiin. Vuodesta 1987 eteenpäin suurin osa puhdistetuista yhdyskuntajätevesistä on johdettu ulkosaaristoon. Puhdistettujen jätevesien ohella, Vantaanjoki tuo alueelle suuria määriä ravinteita. Vantaanjoen mukanaan tuoma ravinnekuormitus on laskenut hieman vuosien saatossa (Raateoja ja Kauppila 2018). Ulkoinen pistemäinen ravinnekuormitus oli suurimmillaan fosforin osalta 1960- ja 1970-luvuilla ja typen osalta 1990-luvun alussa. Kuormitus on molempien ravinteiden osalta huomattavasti pienentynyt nykypäivään mennessä. Nykyinen kuormitus ulkosaaristossa koostuu jokivesien mukanaan tuomista ravinteista, puhdistettujen yhdyskuntajätevesien mukanaan tuomista ravinteista sekä Suomenlahden ulappavesien alueelle tuomista ravinteista, ulapan vaikutuksen ollessa suurin (Raateoja ja Kauppila 2018). Muita merkittäviä lähteitä typen osalta ovat ilmalaskeuma sekä sinilevien typensidonta ja fosforin osalta meren pohjasta liukeneva fosfori. Lähempänä rannikkoa huomattavia ravinnekuormia aiheuttavat vielä hulevedet, pienemmät joet ja purot sekä kantakaupungin sekaviemäroidyn alueen ajoittaiset ylivuodot.

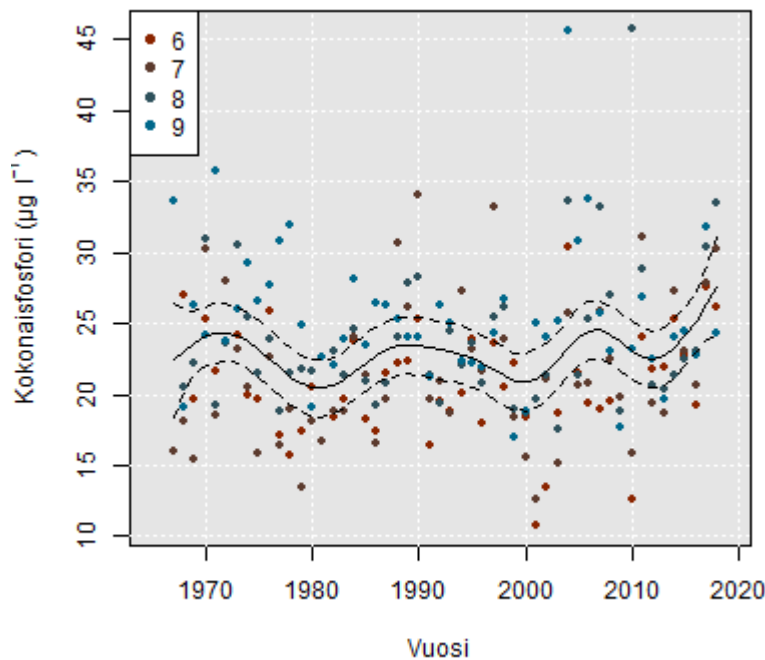
Typpi ja fosfori ovat kesällä pintavesikerroksessa pääosin sitoutuneena mikrokooppiin eliöihin, luonnollisesti esiintyviin bakteereihin, kasviplanktoniin sekä näitä ryhmiä laiduntaviin eliöihin. Eli, ravinteet esiintyvät pintakerroksessa pääosin ei liukoisessa muodossa. Ravinteiden liukoiset muodot pintakerroksessa ovat kesällä analyttisten määritysrajojen alapuolella, mutta kokonaisravinteiden määriä pystytään helposti mittaamaan. Ravinteiden kokonaismäärät ilmentävät merialueen rehevöityneisyyttä, mitä suuremmat kokonaisravinteiden pitoisuudet ovat sitä rehevöityneempi merialue on.

Kokonaistypen määrä on vaihdellut voimakkaasti 1970-luvun alusta, jolloin havaintoja ruvettiin pääkaupunkiseudun merialueella säännöllisesti tekemään (kuva 7). Pienimmillään pitoisuudet olivat 1980-luvun lopulla jolloin, suolaisen Itämeren päältäan veden vaikutus ulkosaariston alueella oli voimakkainta. Keskimääräiset pitoisuudet kasvoivat 1990-luvun loppuun mennessä noin

25 %, kun ulkosaaristoon ruvettiin johtamaan puhdistettuja jätevesiä ja jätevesien typenpoisto oli vielä tehotonta. Kokonaistypen pitoisuudet ovat laskeneet nykypäivään mennessä miltei mittaushistorian matalimpien pitoisuuksien tasolle ulkosaaristossa, osittain tehokkaamman jätevesien typen poiston myötä. Nykyään typpikuormitus kesäaikaan koostuu kauempana rannikosta suurlta osin ilmalaskeumasta sekä sinilevien veteen liunneen typpikaasun muuntamisesta biologisesti käyttökelpoiseen muotoon. Itämeren mittakaavassa sinilevien aiheuttaman typpikuorman määrän on arvioitu olevan jopa noin kolmannes kokonaistyppikuormasta. Vuoden 2018 laajojen sinileväkukintojen vaikutukset näkyvätkin heinäkuun korkeana keskimääräisenä kokonaistypen pitoisuutena, joka on koko mittaushistorian korkeimpien joukossa (kuva 7).



**Kuva 7. Pintaveden (0-10 m) kesäkuukausien (6 = kesäkuu, 7 = heinäkuu, 8 = elokuu, 9 = syyskuu) keskimääräiset kokonaistypen pitoisuudet (pisteet) ulko- ja välisaaristossa sekä vuosikohtainen keskiarvo ja keskiarvon 95% luottamusväli (janat).**



**Kuva 8. Pintaveden (0-10 m) kesäkuukausien (6 = kesäkuu, 7 = heinäkuu, 8 = elokuu, 9 = syyskuu) keskimääräiset kokonaisfosforin pitoisuudet (pisteet) ulko- ja välisaaristossa sekä vuosikohtainen keskiarvo ja keskiarvon 95% luottamusväli (janat).**

Kokonaisfosforin pitoisuudet ovat vaihdelleet 1960-luvun lopulta 2000-luvun alkuun ulkosaaristossa noin 20 ja 25  $\mu\text{g l}^{-1}$  välillä. Kahden viimeisen vuosikymmenen aikana pitoisuudet ovat kuitenkin olleet nousussa huomattavista ulkoisista päästövähennyksistä huolimatta. Suurimmat paikalliset fosforin kuormitusvähennykset saavutettiin jo 1970-luvun aikana tehokkaamman jätevesien fosforinpuhdistuksen ansiosta. Keskimääräiset pitoisuudet ovat nykyhetkessä mittaushistorian korkeimmalla tasolla (28  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) ja pitoisuudet ovat kasvaneet vuodesta 2000 vuoteen 2018 noin 30 %.

**Pintaveden kokonaistypen määrät ovat laske-  
neet, mutta kokonaisfosforin määrät ovat kas-  
vaneet viimeisen 40 vuoden aikana.**

Kesällä syvemmissä vesikerroksissa, tuottavan pintakerroksen alapuolella, esiintyy liukoisia ravinteita mitattavissa pitoisuuksissa. Nämä pitoisuudet toimivat osittain ”muistina” edellisen talven tilanteesta jolloin ravinnepitoisuuksia säätelee kuormitus, kun biologinen toiminta on minimisään. Osittain syvemmän veden pitoisuudet myös kuvastavat kesän ajan biologisten ja kemiallisten prosessien toimintaa, jotka sekä poistavat että lisäävät sekä typpeä että fosforia alueella. Fosforia joko sitoutuu tai vapautuu meren pohjasta, suurelta osin happitilanteen säätelemänä. Kun pohjanläheisen veden happipitoisuus on matala vapauttavat pohjat fosforia, kun happipitoisuus on normaali, sitovat pohjat fosforia. Typen kierto on fosforin kiertoa monivaiheisempi, mutta bakteeritoiminta suurelta osin muuntaa liukoista typpeä kaasumaiseen muotoon, poistaen sitä merestä ja sinilevien typensidonta sitoo kaasumaista typpeä liukoiseen muotoon ja lisää sitä mereen.

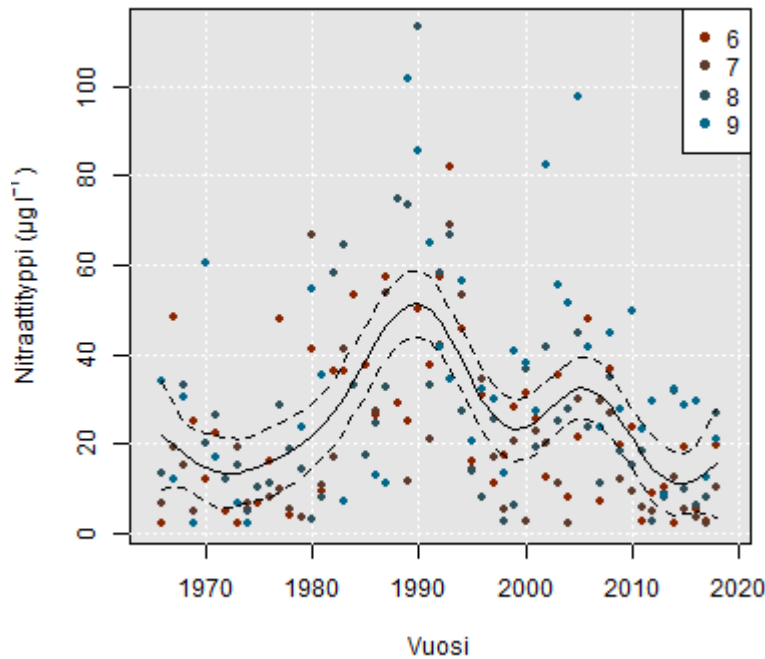


Syvämmän veden liukoisen typen pitoisuudet olivat pienimmillään 1970-luvulla ja suurimmillaan 1990-luvun alussa, kun puhdistettuja jätevesiä ruvettiin johtamaan ulkosaaristoon (kuva 9). Tehostuneen jätevedenpuhdistuksen myötä (typpikuormat ovat laskeneet noin 60 %) liukoisen typen pitoisuudet ovat laskeneet 1990-luvulta nykypäivään noin 36 µg l<sup>-1</sup> (noin 60 % vähemmän) ja pitoisuudet ovat samalla tasolla kuin 1970-luvulla (noin 16 µg l<sup>-1</sup>). Ulkoisen typpikuorman pieneeminen on selvästi laskenut saatavilla olevan liukoisen typen määrää meressä.

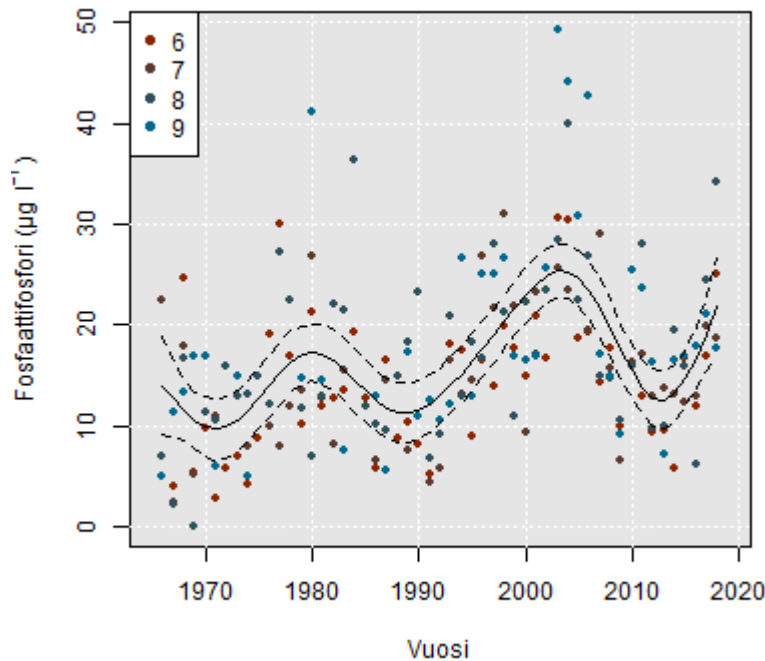
Syvämmän veden liukoisen fosfaatin pitoisuudet sitä vasten ovat kasvaneet (kuva 10), ja pitoisuudet olivat korkeimmillaan veden kerrostuneisuuden voimistuessa 2000-luvulla (kuvat 10 ja 5). Vuoden 2010 jälkeen liukoisen fosfaatin pitoisuudet ovat jälleen olleet kasvussa. Paikallisen ulkoisen kuormituksen määrä on enää noin vajaa 90% 1970-luvun ulkoisesta kuormituksesta ja liukoisen fosfaatin pitoisuudet vaihtelevat riippumatta ulkoisesta kuormituksesta, mikä ilmentää sedimentistä vapautuvan fosfaatin säätelevän liukoisen fosfaatin määrää alueen syvämmässä vesissä. Fosfaattia liukenee pohjasta paikallisesti ja sitä kulkeutuu alueelle myös Suomenlahden ja Pohjoisen Itämeren syvänealueilta alueelle työntyvissä vesissä.

Verrattaessa kokonaisravinteiden ja liukoisten ravinteiden pitkän aikavälin vaihtelua, huomataan että aikajakson alussa kokonaistypen pitoisuudet pintavedessä olivat huomattavan korkeat, vaikka syvämmän veden liukoisen typen pitoisuudet olivat matalat (kuvat 7 ja 9), samaan aikaan kerrostuneisuus on ollut verrattain heikkoa (kuva 5). Tämä ilmentää 1970-luvun rannikolle kohdentunutta kuormitusta joka on kohdistunut pintavesiin, aiheuttaen alueen rehevöitymisen. Kokonaisfosforin pitoisuudet ovat olleet pitkän aikaa suhteellisen vakaat, vaikka syvämmän veden liukoisen fosfaatin pitoisuudet ovat kasvaneet, ilmentäen pohjista vapautuvan fosfaatin merkitystä liukoisen fosfaatin pitoisuuksia säätelevänä tekijänä.

**Liukoisen typen pitoisuudet ovat laskeneet ulkoisen ravinnekuormituksen laskun myötä, mutta fosfaatin pitoisuudet ovat kasvaneet.**



Kuva 9. Syvemmän vesikerroksen (> 10 m) kesäkuukausien (6 = kesäkuu, 7 = heinäkuu, 8 = elokuu, 9 = syyskuu) keskimääräiset nitraattitypen pitoisuudet (pisteet) ulko- ja välisaaristossa sekä vuosikohtainen keskiarvo ja keskiarvon 95% luottamusväli (janat).



Kuva 10. Syvemmän vesikerroksen (> 10 m) kesäkuukausien (6 = kesäkuu, 7 = heinäkuu, 8 = elokuu, 9 = syyskuu) keskimääräiset liukoisen fosfaattifosforin pitoisuudet (pisteet) ulko- ja välisaaristossa sekä vuosikohtainen keskiarvo ja keskiarvon 95% luottamusväli (janat).

## Hajakuormituksen vaikutukset rannikkovesien tilaan

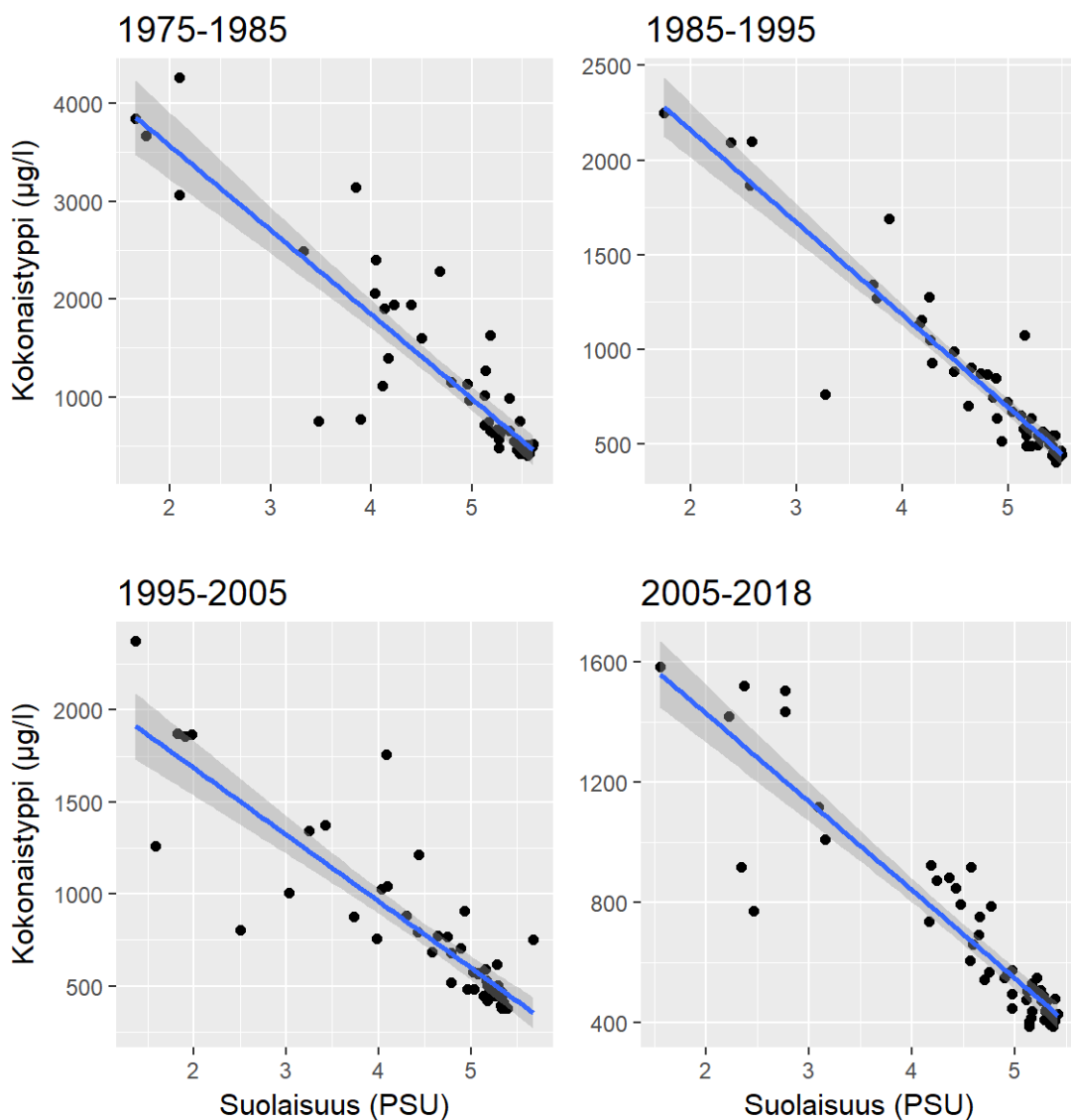
Lähellä rannikkoa ulkoisen ravinnekuormituksen vaikutusta rannikkoalueen kokonaisravinnepitoisuuksiin on vaikea arvioida koska kaikkia potentiaalisia lähteitä ei tunneta. Maalta tulevan ravinnekuormituksen vaikutusta voidaan kuitenkin lähellä rannikkoa arvioida suolaisuuden ja ravinnepitoisuuksien välisiä suhteita tarkastelemalla. Rannikonläheinen vesi on aina sekoitus suolaisempaa ulapalta peräisin olevaa vettä ja maalta peräisin olevaa makeaa vettä, ja täten lähempänä rannikkoa merivesi on vähemmän suolaista.

Maalta tulevan valuman ja rannikon läheisyyteen purettujen puhdistettujen jätevesien vaikutukset rannikonläheisen veden rehevöitymiseen ovat pienentyneet huomattavasti 1970-luvulta nykypäivään. Kokonaistypen suurimmat pitoisuudet lähimpänä rannikkoa ja suljetuissa lahdissa ovat laskeneet keskimäärin noin vajaasta 4000 µg/l noin vajaaseen 1600 µg/l vuosista 1975-1985 vuosiin 2005-2018 (kuva 11). Kokonaistypen määrät kasvavat nykypäivänä enää noin 300 µg/l yhtä suolaisuusyksikön pienentymistä kohden, kun vastaava kokonaistypen kasvu rannikkoa kohden siirryttäessä jaksolla 1975-1985 oli noin 850 µg/l. Maalta tulevan valuman vaikutus kokonaistypen pitoisuuksiin rannikon lähellä on kuitenkin vielä huomattava.

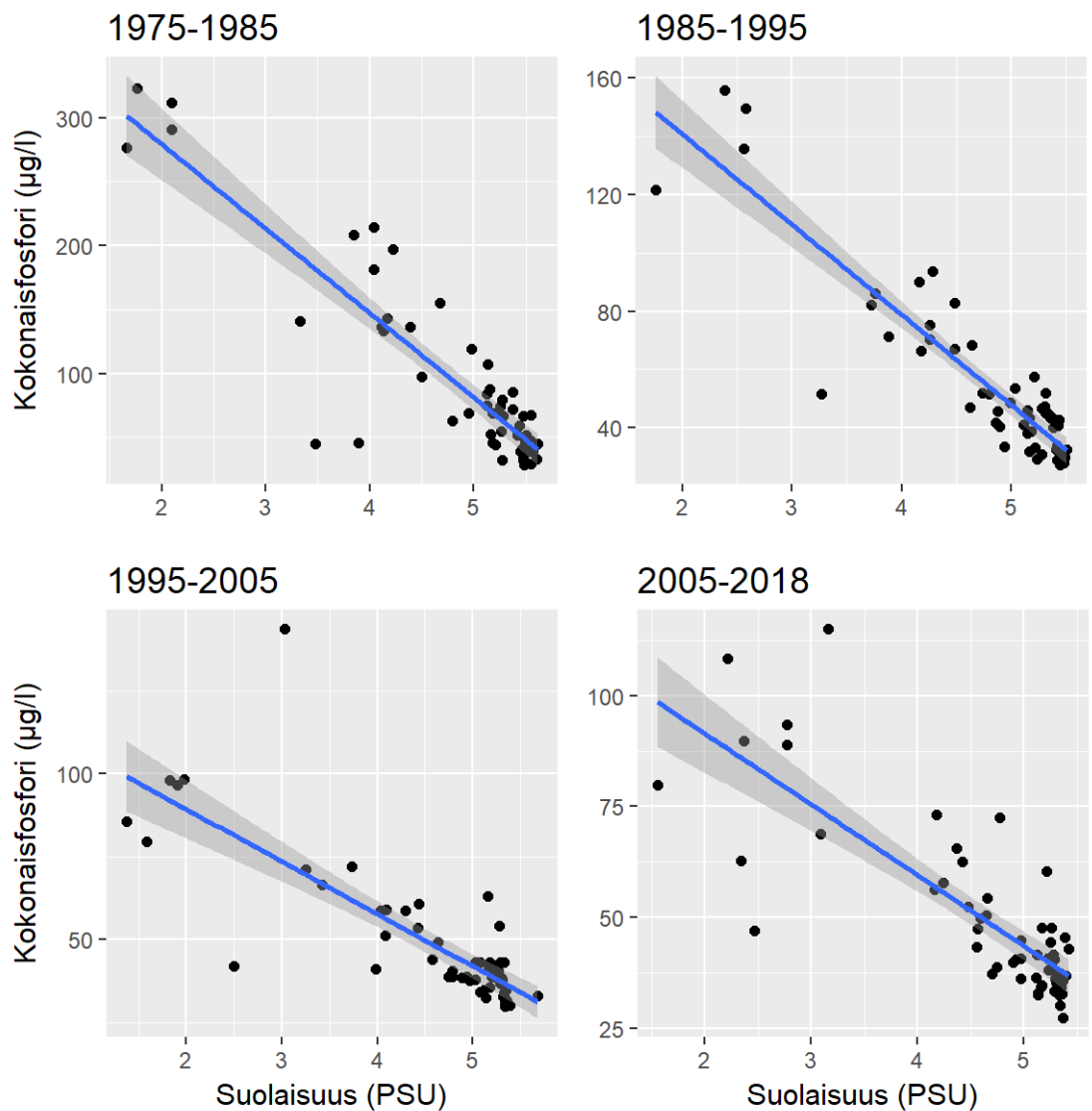
Kokonaisfosforin suurimmat pitoisuudet lähimpänä rannikkoa ja suljetuissa lahdissa ovat laskeneet keskimäärin noin 300 µg/l noin vajaaseen 100 µg/l vuosista 1975-1985 vuosiin 2005-2018 (kuva 12). Kokonaisfosforin määrät kasvavat nykypäivänä noin 16 µg/l yhtä suolaisuusyksikön pienentymistä kohden, kun vastaava kokonaistypen kasvu rannikkoa kohden siirryttäessä jaksolla 1975-1985 oli noin 66 µg/l. Kokonaisfosforin määrän lasku maalta tulevassa valumassa on pysähtynyt kuitenkin jo jaksolla 1995-2005, kokonaisfosforin muutoksen suolaisuusyksikkö kohden ollessa noin 16 µg/l jaksoille 1995-2005 ja 2005-2018.

Aineistoihin sovitettujen mallien perusteella voidaan arvioida, että maalta tulevan valuman mukana tuoma kuormitus on laskenut rannikonläheisissä vesissä kokonaistypen osalta noin 2.6 kertaisesti ja kokonaisfosforin osalta noin 3.3 kertaisesti. Rannikonläheisissä vesissä maalta tulevan hajakuormituksen vaikutus on kuitenkin sekä typen että fosforin osalta vielä merkittävä. Ongelmallisimmat alueet Helsingin edustalla ovat Vanhankaupunginselän ja Laajalahden/Seurasaa-renselän alueet, Laajalahden/Seurasaa-renselän alueella etenkin Pikku-Huopalahti ja Iso-Huopalahti, joissa veden vaihtuvuus on heikkoa ja jonne laskee pienempiä jokia ja puroja.

**Rannikonläheisten alueiden hajakuormitus on yhä merkittävä merialuetta rehevöittävä tekijä**



**Kuva 11. Rannikonläheisen veden suolaisuuden ja kokonaistyyppien vuosijaksojen 1975-1985, 1985-1995, 1995-2005 ja 2005-2018 keskiarvojen suhteet ja aineistoon sovitetut lineaariset mallit ja mallien 95% luottamusvälit.**



**Kuva 12. Rannikonläheisen veden suolaisuuden ja kokonaisfosforin vuosijaksojen 1975-1985, 1985-1995, 1995-2005 ja 2005-2018 keskiarvojen suhteet ja aineistoon sovitetut lineaariset mallit ja mallien 95% luottamusvälit.**

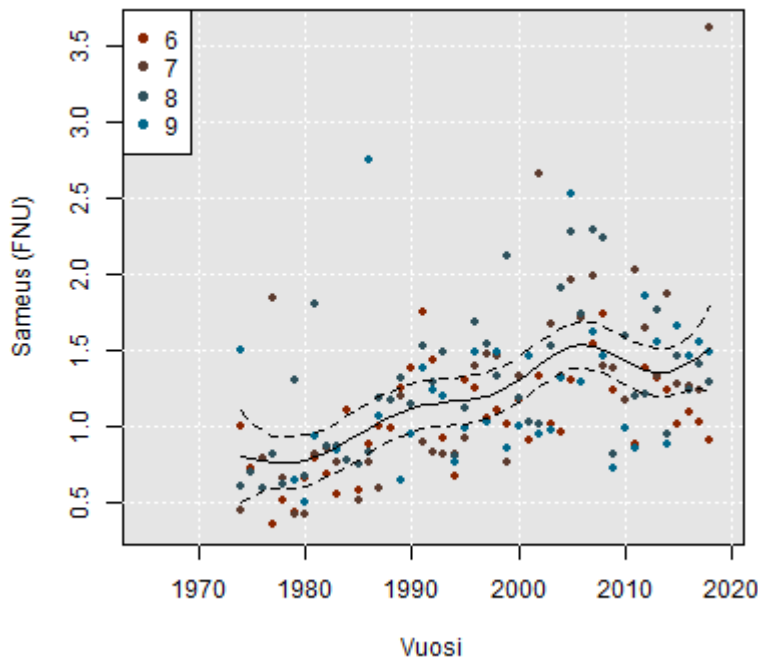
## Miten ravinnekuormituksen ja -pitoisuuksien muutokset näkyvät meren tilassa?

Pintaveden sameus on kaksinkertaistunut seurannan aloituksesta 1970-luvun puolestavälistä nykypäivään (kuva 13). Pintaveden sameus kuvastaa vedessä keijuvan aineksen määrää, sekä elollista että elotonta. Elollisen aineksen määrä, etenkin vedessä keijuvien levien määrä, on lisääntynyt meressä vuodesta 1970 vuoteen 2005 miltei yhtäjaksoisesti, minkä jälkeen kasvu on hieman tasaantunut (kuva 14). Viimeisten vuosien aikana sameuden kasvu rannikkoalueella saattaa osittain johtua edenneen rehevöitymiskehityksen aiheuttamasta rannikon uposkasvillisuuden vähentymisestä ja pohjien liettymisestä, mikä lisää elottoman vettä samentavan aineksen määrää vedessä. Vuoden 2018 heinäkuun suuri sameuspitoisuus johtuu kesällä esiintyneistä ennätyslaajoista sinileväkukinnoista jotka samentavat pintavettä voimakkaasti.

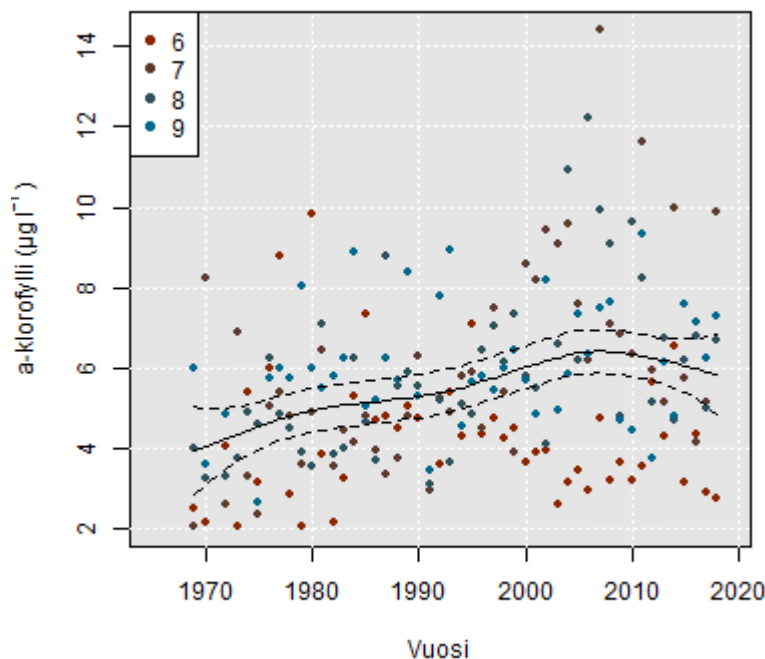
Ulkoisen ravinnekuormituksen määrän pieneneminen on laskenut typen määrää vedessä. Ajan saatossa mereen päätyneet ravinteet ovat kuitenkin vuosien mittaan kasvattaneet vedessä keijuvien levien määrää, jotka kuollessaan vajoavat pohjaan, kerryttäen eloperäistä ainesta pohjille. Eloperäisestä aineksesta vapautuu ravinteita veteen. Typen osalta, biologiset prosessit näyttävät tehokkaasti poistavan typen ylimäärän. Fosfaatin osalta mekanismi joka hautaa fosfaattia meren pohjaan on lakannut toimimasta liiallisen eloperäisen aineksen kuorman johdosta. Tämä johtaa tilanteeseen jossa fosfaatin määrät kasvavat tai pysyvät suurina ja liettyneiden pohjien, rannikon uposkasvillisuuden vähenemisen ja johtuen suurista vedessä keijuvien levien määrästä vedet pysyvät sameina. Samea vesi ylläpitää pääosin veden pintakerroksessa tapahtuvaa levien kasvua ja heikentää uposkasvillisuuden menestymismahdollisuuksia koska valo ei tunkeudu vedessä enää yhtä syvälle.

Koska meren pohjasta vapautuvan fosfaatin määrä säätelee syvemmän veden fosfaatin pitoisuuksia tulisi pohjien fosfaatin hautaamismekanismen toimivuus palautta, mikä saattaisi kohentaa veden laatua. Hautautumismekanismen toimivuuden säätelylle ei tunneta mitään laajamittaisia parannuskeinoja jotka toimisivat nopeasti. Tämän johdosta, ulkoisen ravinnekuormituksen vähentäminen on edelleen ainoa toimiva, joskin hidas, keino saattaa rannikkovetemme parempaan tilaan.

**Veden sameus ja levämäärät ovat kasvaneet pääkaupunkiseudun merialueella 1970-luvulta nykypäivään.**



**Kuva 13.** Pintaveden (0-10 m) kesäkuukausien (6 = kesäkuu, 7 = heinäkuu, 8 = elokuu, 9 = syyskuu) keskimääräinen veden sameus (pisteet) ulko- ja välisaaristossa sekä vuosikohtainen keskiarvo ja keskiarvon 95% luottamusväli (janat).



**Kuva 14.** Pintaveden (0-4 m) kesäkuukausien (6 = kesäkuu, 7 = heinäkuu, 8 = elokuu, 9 = syyskuu) keskimääräiset veden a-klorofyllin pitoisuudet (pisteet) ulko- ja välisaaristossa sekä vuosikohtainen keskiarvo ja keskiarvon 95% luottamusväli (janat). a-klorofyllin määrä ilmaisee vedessä keijuvien levien määrää.

# Viitteet

- Alenius, P., Myrberg, K. ja Nekrasov, A. 1998: The physical oceanography of the Gulf of Finland: a review. *Boreal Environment Research* 3: 97-125.
- Asmala, E., Carstensen, J., Conley, D. J., Slomp, C. P., Stadmark, J. ja Voss, M. 2017: Efficiency of the coastal filter: Nitrogen and phosphorus removal in the Baltic Sea. *Limnology and Oceanography*: n/a-n/a.
- Carstensen, J., Conley, D., Bonsdorff, E., Gustafsson, B., Hietanen, S., Janas, U., Jilbert, T., Maximov, A., Norkko, A., Norkko, J., Reed, D., Slomp, C., Timmermann, K. ja Voss, M. 2014: Hypoxia in the Baltic Sea: Biogeochemical Cycles, Benthic Fauna, and Management. *Ambio* 43(1): 26-36.
- Kahru, M., Leppänen, J. M., Rud, O. ja Savchuk, O. P. 2000: Cyanobacteria blooms in the Gulf of Finland triggered by saltwater inflow into the Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series* 207: 13-18.
- Laine, A. O., Andersin, A.-B., Leiniö, S. ja Zuur, A. F. 2007: Stratification-induced hypoxia as a structuring factor of macrozoobenthos in the open Gulf of Finland (Baltic Sea). *Journal of Sea Research* 57(1): 65-77.
- Liblik, T. ja Lips, U. 2011: Characteristics and variability of the vertical thermohaline structure in the Gulf of Finland in summer. *Boreal Environment Research* 16 (suppl. A): 73-83.
- Liblik, T. ja Lips, U. 2017: Variability of pycnoclines in a three-layer, large estuary: the Gulf of Finland. *Boreal Environment Research* 22: 27-47.
- Möllmann, C., Diekmann, R., Müller-Karulis, B., Kornilovs, G., Plikshs, M. ja Axe, P. 2009: Reorganization of a large marine ecosystem due to atmospheric and anthropogenic pressure: a discontinuous regime shift in the Central Baltic Sea. *Global Change Biology* 15(6): 1377-1393.
- Pellikka, K., Räsänen, M. ja Viljamaa, H. 2007: Kasviplanktonin suhde ympäristömuuttujiin Helsingin ja Espoon merialueella vuosina 1969-2003. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja. 5: 57.
- Pellikka, K. ja Viljamaa, H. 1998: Eläinplankton Helsingin merialueella 1969-1996. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 12/98: 48.
- Raateoja, M. ja Kauppila, P. 2018: Interaction between the land and the sea: sources and patterns of nutrients in the scattered coastal zone of a eutrophied sea. *Environmental Monitoring and Assessment* 191(1): 24.
- Rahikainen, M., Hoviniemi, K.-M., Mäntyniemi, S., Vanhatalo, J., Helle, I., Lehtiniemi, M., Pönni, J. ja Kuikka, S. 2017: Impacts of eutrophication and oil spills on the Gulf of Finland herring stock. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 74(8): 1218-1232.
- Ruuskanen, A. 2017: Velvoitetarkkailujen vesikasvillisuustutkimuksia vuosina 1921-2014. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus raporteja. 34: 44.
- Suikkanen, S., Pulina, S., Engström-Öst, J., Lehtiniemi, M., Lehtinen, S. ja Brutemark, A. 2013: Climate Change and Eutrophication Induced Shifts in Northern Summer Plankton Communities. *PLoS ONE* 8(6): e66475.
- Team, T. B. I. A. 2015: Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin, Springer International Publishing.



Österblom, H., Hansson, S., Larsson, U., Hjerne, O., Wulff, F., Elmgren, R. ja Folke, C. 2007: Human-induced Trophic Cascades and Ecological Regime Shifts in the Baltic Sea. *Ecosystems* 10(6): 877-889.

# Kuvailulehti

Tekijä	Emil Vahtera
Nimike	Pääkaupunkiseudun rannikkovesien laatu – Ilmastonmuutoksen ja ravinnekuormituksen vaikutukset 1970-luvulta nykypäivään
Sarjan nimike	Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön julkaisuja
Sarjanumero	2019:6
Julkaisuaika	Helmikuu 2019
Sivuja	26
ISBN	978-952-331-540-2
ISSN	2489-4230
Kieli, koko teos	Suomi
Kieli, yhteenveto	Suomi, ruotsi, englanti
Tiivistelmä:	<p>Pääkaupunkiseudun merialueen veden laatua on seurattu yhtäjaksoisesti 1960-luvun lopulta. Pitkien havainto-aikasarjojen avulla voidaan pääkaupunkiseudun merialueen tilan muutoksia suhteessa etenevään ilmastonmuutokseen ja muutoksiin ulkoisessa ravinnekuormituksessa. Muutokset meren tilassa ovat selvästi näkyvissä. Veden lämpötila on kasvanut ja suolaisuus vähentynyt. Ravinnepitoisuudet ovat vaihdelleet mittausjakson aikana suuresti, typpipitoisuuksien keskimääräisesti laskiessa ja fosforipitoisuuksien kasvaessa 1990-luvulta nykypäivään. Merivesi on entistä sameampaa, vedessä keijuvien levien määrät ovat kasvaneet ja pohjanläheisen veden happipitoisuudet ovat laskeutuneet. Pistemäinen ulkoinen ravinnekuormitus on Suomenlahdelle laskeutunut, mutta alueellinen hajakuormitus on vielä pääkaupunkiseudun merialuetta merkittävästi kuormittava ravinteiden lähde.</p>
Avainsanat:	Merivesi, vedenlaatu, ilmastonmuutos, rehevöityminen, ravinnekuormitus, Itämeri, Suomenlahti