

**ITÄMEREN RAVINNEKUORMITUKSEN ADAPTIIVINEN SEURANTA**

sekä arvio lisätutkimuksen tarpeelle

LuK-tutkielma ympäristötieteessä

Tiina Tuulikki Collan

20.9.2024

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu **Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.**

## **Kandidutkielma**

**Oppiaine:** Ympäristötieteet

**Tekijä(t):** Tiina Tuulikki Collan

**Otsikko:** Itämeren ravinnekuormituksen adaptiivinen seuranta - Arvio lisätutkimuksen tarpeelle

**Sivumäärä:** 34 sivua

**Päivämäärä:** 20.9.2024

### Tiivistelmä

Tutkielman tarkoitus on tarkastella olemassa olevia ravinnetutkimuksia kvalitatiivisesti sekä arvioida tutkimusmetodiikan adaptiivisuutta dynaamisessa ympäristössä. Tutkimusmenetelmänä on ollut olemassa olevan aineiston tutkiminen sekä rinnakkaisarviointi eli eri tutkimuksen tutkimusmenetelmien ja lopputulosten vertaamista toisiinsa. Laajasta aineistosta olen käyttänyt tutkielmassa lähinnä uusimpia tutkimustuloksia kotimaasta sekä kansainvälisiä vesien ravinteita käsitteleviä tutkimustuloksia saadakseni puolueettoman ja mahdollisimman tarkan käsityksen vesien ravinnetilanteesta. Tutkimukseni pääpaino on jokien ja valuma-alueiden eri ravinne lähteiden tarkastelu sekä syy-yhteyksien pohdinta sekä ravinteiden mittaamisen kompleksisuus.

Itämeren ja erityisesti Suomenlahden ja Saaristomeren tilanne on ollut huolestuttava jo vuosikymmenien ajan. Useista toimenpiteistä huolimatta ravinnekuorma ei ole laskenut tasolle, joka olisi tyydyttävä sekä kestävä. Tutkielmani johtopäätöksenä tehtyjä vesiensuojelu toimenpiteitä tulisi tarkastella kriittisesti sekä tehdä uusia analyyseja toimenpiteiden vaikutuksista ympäristölle ja tutkia taloudelliset vaikutukset. Olettamusten sijaan toimenpiteiden tulisi perustua tutkittuun tietoon, mieluiten standardien mukaan tehtyjen tutkimusten mukaan. Ala on kuitenkin vielä hyvin aukkoisen eikä kansainvälisiä standardeja ole käytettävissä. Tärkeä huomio on, että vesistöongelmat ovat globaaleja, niiden negatiivinen vaikutus ympäristöön on kasvava sekä kvantitatiivisesti että kvalitatiivisesti. Kansainvälisen yhteistyön tiivistäminen edistäisi vesiensuojelua sekä säästäisi alimitoitettuja resursseja.

**Avainsanat:** ravinnekuorma, jätevedenpuhdistamo, maatalous, valuma-alue

## **Sisällysluettelo**

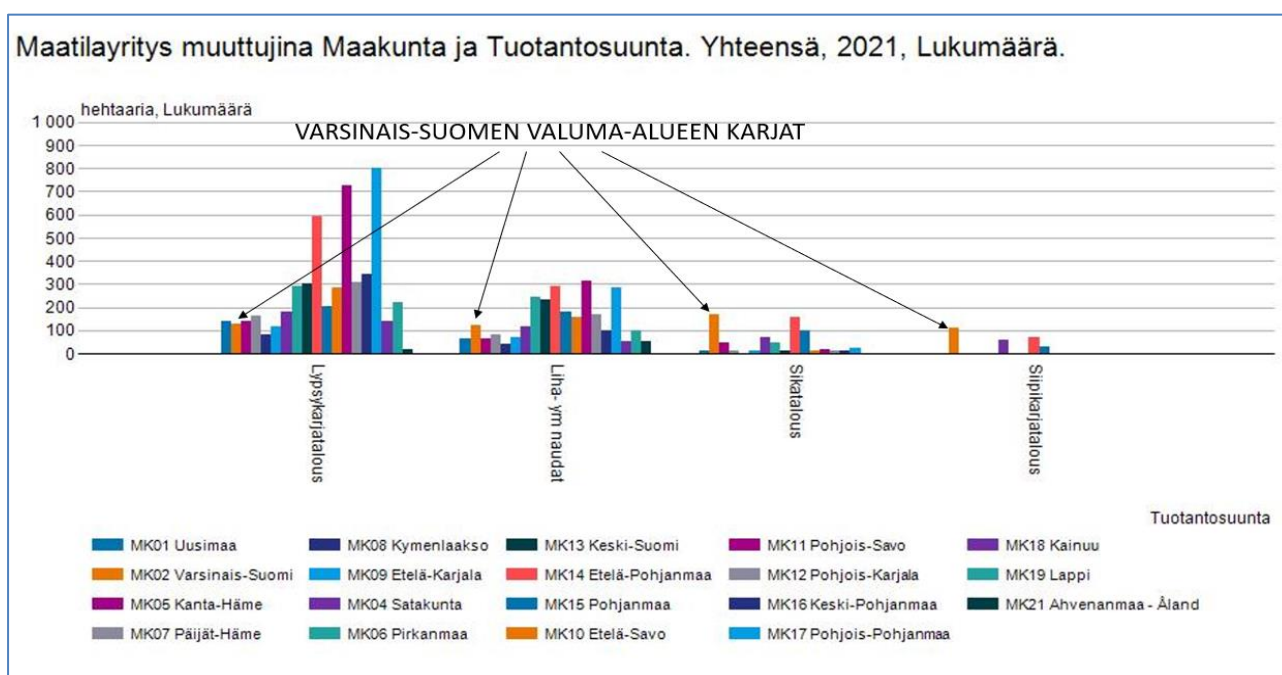
<b>1.Johdanto</b>	<b>4</b>
<b>2. Suomen karjamäärät ja spatiaalinen ulottuvuus</b>	<b>5</b>
2.1 Tutkimuslaitteiden sijainnin merkitys	5
2.2 Pistekuormituslähteiden merkitys	6
<b>3. Kansainvälinen ravinnekuormitustutkimus</b>	<b>7</b>
3.1. In-Situ tutkimustekniikka	7
3.2. SWAT	8
<b>4. Vuodenaikojen vaihtelujen vaikutus valuntaan</b>	<b>9</b>
4.1. Sateen merkitys liuenneen reaktiivisen fosforin määrään	10
4.2 Sulamisveden ravinnehuuhtoumat	10
4.3. Suojakaistat	11
<b>5. Lannoiterajat ja maa-analyysi</b>	<b>11</b>
5.1. VIHMA-mallinnus	14
5.2. Lannoitekalkki ja kipsi	15
5.3. Lannoitemäärien kansainvälisiä tutkimuksia	16
<b>6. Jätevedenpuhdistamot ja pistekuormitus</b>	<b>17</b>
6.1. Ohijuoksutukset	17
6.2. PFAS-tutkimus Vantaanjoesta	19
6.3. Suomenlahden ravinnekuormitus	21
<b>7. Yhteenveto</b>	<b>23</b>
<b>Lähteet:</b>	<b>25</b>

## 1.Johdanto

Suomenlahden (GOF) valuma-alue on lähes 14 kertaa merialuetta suurempi, jossa asuu 12 miljoonaa ihmistä (Knuuttila et.al. 2017 s. 55). Merialue on siten voimakkaasti ravinteiden saastuttama, ja rehevöityminen on yksi suurimmista ympäristöongelmista. Rehevöitymisen oireiden torjumiseksi avoimella Itämerellä ja Suomen rannikkovesillä Suomi on sitoutunut vähentämään sekä kokonaistypen että kokonaisfosforin päästöjä vesipuitedirektiivin (WFD) ja vesipiirien eli ELY-keskusten vesienhoitosuunnitelmien mukaisesti (RBMP). Tällä hetkellä kaikki HELCOMin jäsenvaltiot Venäjää lukuun ottamatta ovat Euroopan unionin (EU) jäseniä ja ovat velvollisia panemaan täytäntöön nämä toimet. Vesistösuunnitelmien tavoitteena on saavuttaa pintavesien hyvä tila, mukaan lukien rannikkovedet, ja niissä määritellään tämän tavoitteen saavuttamiseksi tarvittavat toimenpiteet. Tämän tavoitteen saavuttaminen on osoittautunut vaikeaksi ja arvion mukaan Suomenlahden rannikkovedet saavuttavat hyvän tilan vain, jos tehdään lisätoimenpiteitä ja aikaisintaan vuonna 2027 (Knuuttila et.al., 2017 s. 63). Suurten kunnallis- ja teollisuusjätevesien käsittelyinvestointien ansiosta ravinne kuormat alkoivat laskea 1990-luvun puolivälissä. Kahden viime vuosikymmenen aikana myös hajakuormituksen vähentämiseksi on tehty paljon työtä, etenkin Suomen liittyttyä Euroopan unioniin vuonna 1995. Suomessa maatalousmaan osuus maa-alasta on 7,5 %, josta nurmen, kesanto mukaan lukien, on noin 45 % (SVT 2024). Karjatalous on painottunut Pohjanmaalle sekä Savoan (SVT 2024). Maatalouden lannoitteiden käyttö on vähentynyt sekä tehostunut vuodesta 1995 lähtien (Räty et.al., 2020 s.3, Tattari et.al., 2017). Empiirisesti varmojen maa-analyysien tulosten mukaan fosfori tasot ovat laskeneet jopa alle 10kgP/ha, jota pidetään alarajana normaalille viljelylle (Lahti 2020 s. 36). Maatalouden sanotaan kuitenkin edustavan suurinta kuormittavaa tekijää Suomenlahdella ja saariston valuma-alueella (Knuuttila et.al., 2017 s. 63). Euroopassa maatalous aiheuttaa noin 17-26% jokien fosforikuormituksesta (Leip et al., 2015 s.8) Onko siis mahdollista, että Etelä-Suomen suurin ravinteiden lähde on edelleen maatalous, vai tulisiko ravinnekuormitus osuuksia tarkistaa? Tämä on ekonomisen kysymys, sillä kuormitusluvut määrittävät hyvin pitkälti avustusten ja rahoituksen kohdentamista. Jos ravinnekuormat Itämeressä eivät ole toimenpiteistä huolimatta laskeneet, tulisiko asiaa tutkia kriittisemmin.

## 2. Suomen karjamäärät ja spatiaalinen ulottuvuus

Maatalouden ravinnekuormituksen tutkimuksessa olisi hyvä ottaa huomioon spatiaalinen ulottuvuus, missä suurimmat ravinteiden lähteet sijaitsevat. Spatiaalinen tilannearvio auttaa ymmärtämään ravinteiden ravinne kulkeutumia, joka vaikuttavat oleellisesti niiden huuhtoutumisriskiin valuma-alueella. Taulukon mukaan suurimmat maatalouden kuormittajat ovat Etelä-Pohjanmaalla, Pohjois-Savossa ja Pohjois-Pohjanmaalla. Taulukossa 1. näkyy nuolilla pykälä, mihin Itämeren valuma-alue sijoittuu karjamäärissä valtakunnan tasolla. Vieressä vasemmalla sinisellä pykälällä on Uudenmaan karjamäärä.



*Kuva 1. Suomen karjatilojen määrä alueittain (STV 2024)*

### 2.1 Tutkimuslaitteiden sijainnin merkitys

Ravinnevirroista on tehty tutkimus Itä-Suomessa” (Pohjois-Savossa) alueella, joka on yksi suurimmista maito- ja naudanlihan tuotantoalueista (SVT 2024). Valuma-alueen kokonaisfosforin kuormitusarviot kotieläintuotannon intensiteetin mukaan ovat (0,8 LSU ha), joka on huomattavasti korkeampi kuin muilla Etelä-Suomen valuma-alueilla (<0,1 LSU ha) (Räty et.al.2020). Tutkimuksessa on myös huomionarvoista se, että mittauslaitteet ovat asennettu tarkalleen pelto-ojien suulle, jolloin taustavaluma on saatu minimoitua ja tulos on

tarkalleen viljellyn pellon, eikä piste tai yläpuolisen valunnan aiheuttamaa. Lisäksi mahdollisimman tarkan tuloksen saamiseksi Rätty et.al tutkimuksessa oli otettu huomioon, että kaikilla pelloilla oli toimiva kuivatusjärjestelmä, jolloin tiedetään ravinteiden kulkeutuvan kohti laskuojaa eikä pintavaluntana mittauslaitteiden ohi. Tutkimuksessa maanalaisten putkien salaojitusjärjestelmän keräämä vesi laskeutui avoimeen pääojaan, josta näytteiden kerääminen tapahtui. Osavesistöstä oli yhdistetty pistelähteeseen avo-ojien verkon kautta, joka on vasta tutkimuksen aikana havaittu. Tällä yhdellä pistelähteellä on hyvin suuri merkitys koko tutkimuksen kannalta, sillä se olisi vääristänyt tuloksia maatalouden ravinnekuormituksen osalta, mikäli tätä ei olisi huomattu. Tutkimus osoitti, että kotieläintuotantojärjestelmät eivät väistämättä aiheuta suuria kokonaisfosforin häviöitä, ainakaan jos nautakarjaan liittyvä nurmen viljely on merkittävässä asemassa maankäytössä (Rätty et.al.,2020). Pistelähteen syntysijaa voi vain arvailla, sitä ei tutkimuksessa selvitetty, mutta esimerkiksi kotitalousjätevesien huonosti sijoitetut, hajallaan olevat saostusvesijärjestelmät voivat olla syynä (Rätty et.al.,2020).

## **2.2 Pistekuormituslähteiden merkitys**

Pienistä, tarkasti määritellyistä, runsaasti tietoa sisältävistä ja hyvin ymmärretyistä valuma-alueista saaduilla seurantatiedoilla on suuri potentiaali antaa oikeita veden laadun välisiä syy-seuraussuhteista (Marttila et.al.,2020). Tällaisten analyysien tulokset antavat hyvän käsityksen eri toimenpiteiden vaikutuksista ja auttavat siten alueellista ja pohjoismaista maankäytön suunnittelua. Tietojen puutteen vuoksi pistelähteiden osuus on todennäköisesti aliarvioitu (Ekholm et.al.,2020, Rätty et.al.,2020). Pistekuormituksilla voi olla huomattava vaikutus koko maan kokonaisfosforin kuormitukseen, sillä Rätty et.al. tutkimuksessa verrattain pienellä otanta-alueella pistelähde tuotti arviolta 330 kg kokonaisfosforia vuodessa, joka on 12 % kokonaisfosforin kuormasta koko valuma-alueelta (Rätty et.al.,2020). Räike, Taskinen & Knuutila tutkimuksessa koko maan pistelähteiden osuudeksi arvioitiin kokonaispanoksista (pistelähteet + jokien vienti) alle 15 %. Tutkimuksessa ei eroteltu eri ravinnelähteitä empiirisiin menetelmin, ne ovat karkeita arvioita kokonaisvedestä otetuista näytteistä (Räike, Taskinen & Knuutila 2020). Tämän tiedon valossa Räike, Taskinen & Knuutilan arvio pistelähteiden viennistä on myös todennäköisesti aliarvioitu. Tarkan tiedon saaminen ravinnelähteistä on yleisesti tunnistettu vaikeaksi, eikä se saisi perustua arvailuihin (Birk et.al.2020, Marttila et.al.2020).

### **3. Kansainvälinen ravinnekuormitustutkimus**

Irlannissa on tutkittu matalavirtausveden fosfori pitoisuuksia taajaman ulkopuolisilla valuma-alueilla. Tutkimus osoittaa, että tämäntyyppiset ns. vaimennetut jätevedet ovat varsin yleisiä jätevesilaitteiden modernisoinnista huolimatta ja ne peittyvät helposti suuriin virtaussiirtoihin (Macintosh et.al., 2011). Tutkimuksissa ollaan havaittu kriittisten lähdealueiden tunnistamisen vaikeus ja siksi korostetaan lähdealueiden tunnistamisen tärkeyttä, koska muutoin on todennäköisempää saada epätäydellisiä tutkimustuloksia, jotka johtavat harhaan (Bol et.al.2018). Saadakseen tarkan kuvan ravinteiden lähteestä on tutkimuslaitteiden sijoittelulla erittäin tärkeä funktio. Harkittu tutkimuslaitteiden ja antureiden sijainti tutkimus alueella määrittää koko tutkimuksen luonteen sekä tuloksen. Pienemmillä tutkimusalueilla tarkan sijainnin määrittäminen on mahdollista toisin kuin suurilla valuma-alueilla ja avovedessä tarkan tutkimustuloksen saaminen ravinteiden lähteistä on lähes mahdotonta (Bol et.al.2018). Lähde ongelmaan on etsitty ratkaisua mm fosforin merkkiaineilla (Rode et.al.2016). Tällä pystyttäisiin osittain saamaan kiinni fosforin alkuperästä, tosin nähtävästi vain lähellä alkuperäistä lähdettä. MST- mikrobiologiset jäljitysmenetelmät (Pitkänen 2015) perustuvat suolistobakteerien tunnistamiseen, jolloin pystytään erottelamaan bakteerin tarkka lähde. On kuitenkin kyseenalaista, onko tämänlainen tutkimus tarpeen muulloin kuin tuntemattoman, äkillisen lähteen selvittämisessä.

#### **3.1. In-Situ tutkimustekniikka**

Isossa-Britanniassa Enbourne-joella tehdyissä kokeissa uudella in-situ tutkimuslaitetekniikalla on saatu hyviä tuloksia lähteiden erottelussa. Jatkuvat toimiset mittarit osoittivat selkeitä fosfori- ja nitraatti huippuja alhaisten virtausten aikana, mikä osoitti kroonista saastumista. Tämä havaittiin liittyvän jäteveden päivittäisiin päästöihin jätevedenpuhdistamoista ja saostussäiliöjärjestelmistä (Rode et.al.2016). Uudet in-situ mittalaitteet ovat paljastaneet monimutkaisen temporaalisen dynamiikan, jota perinteiset näytteenotto menetelmät eivät ole pystyneet analysoimaan, lisäksi laitteet ovat mahdollistaneet uusia näkemyksiä vesistöjen ja purojen sisäisestä toiminnasta. Tässäkin mittaustavassa korostuu mittareiden oikea spatiaalinen asemointi. Anturit tarjoavat jatkuvaa vedenlaadun seuranta, mikä voi parantaa ymmärrystä epäpuhtauksien kulkeutumisesta äärimmäisissä tapahtumissa, mikä on vaikeampaa havaita harvoin tapahtuvan näytteenoton tai yhdistetyn näytteenoton perusteella (Marttila et.al.2020).

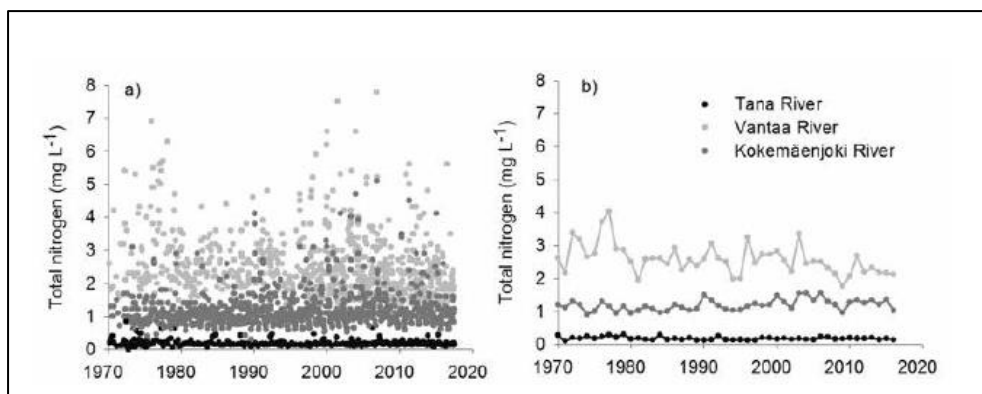
Veden laatuun kohdistuvat paineet liittyvät yleensä maa- ja metsätalouden intensiteettiin. Sitä, missä määrin maatalous vaikuttaa veden laatuun, on vaikea arvioida, vaikuttavatko paineet ensisijaisesti paikallisesti, yläjuoksuissa vai alueellisessa mittakaavassa alajuoksuissa ja järvissä vai aina meren rannikkoekosysteemeihin saakka. Tämä johtuu osittain siitä, että hajakuormitusta synnyttävät maankäytön vaikutukset ovat vuorovaikutuksessa muiden ihmisperäisten paineiden, kuten pistekuormituksen, ilmakehän nitraatin laskeuman ym. muutosten kanssa. (Birk et.al.,2020 Marttila et.al.,2020) Monien paineiden ja ekologisen toiminnan välisen syy-seuraussuhteen erottaminen ja kvantifiointi on haastavaa, etenkin kun tarkastellaan spatiaalista mittakaavaa.

### 3.2. SWAT

Olennaista ravinteiden rajoittamisessa Itämereen on tieto niiden kulusta, jotta niitä voidaan siepata kierrätettäväksi tai rajoittaa niiden kulkua. On olemassa lukuisia ekoteknologioita ravinteiden sekä hiilen talteenottoon ja uudelleenkäyttöön eri jätevirroista ennen kuin ne katoavat valumaan. Kansainvälinen tutkimusryhmä käytti tutkimuksessaan SWAT -mallia (Soil & Water Assessment Tool) kolmessa tapaustutkimuksessa valuma-alueella, jotka valuvat Itämereen; Vantaanjoki (Suomi), Fyrisån (Ruotsi) ja Słupia (Puola). SWAT-malli on pienestä valuma-alueesta jokilaakson mittakaavaan ulottuva malli, jota käytetään simuloimaan pinta- ja pohjaveden laatua sekä määrää, mutta myös ennustamaan maankäytön ilmastonmuutoksen ympäristövaikutuksia. AWAT-malli on laajalti käytetty globaalisti jo 20 vuoden ajan (SWAT 2024). Tutkimuksessa saatiin ravinteita talteen parhaiten Ruotsissa ja Puolassa, jossa siepattiin talteen jätevedenpuhdistamon ravinteita. Suomen kohteessa ravinteita saatiin niukasti talteen, koska ravinteiden sieppaaminen tapahtui maatalouden jätteitä anaerobisesti mädättämällä (Koskiahho et.al.2020). Tutkimuksen lopputuloksesta voidaan päätellä, mistä vapaita ravinteita saadaan parhaiten kierrätettäväksi. Olettaen, että olemme lähellä maataloudesta ja jätevesien käsittelystä peräisin olevien kuormien yksinkertaisen vähentämisen rajaa, tulisi harkita vaihtoehtoa, joka sulkee silmukan ihmisen aiheuttamissa typen- ja fosforinkierroissa (Koskiahho et.al.2020). Tämä tarkoittaisi ravinteiden kierrätyksen aloittamista kaikista olemassa olevista lähteistä, erityisesti lisääntyvien ihmisperäisten ravinteiden. Fosforin talteenoton toteuttamisen monimutkaisuus resonoi paikallisella, kansallisella ja maailmanlaajuisella tasolla ja vaatii "etenemissuunnitelman" toteuttamista (Macintosh 2019).

#### 4. Vuodenaikojen vaihtelujen vaikutus valuntaan

Huolimatta kotieläintuotantojärjestelmien ja niittyjen tärkeästä roolista pintaveden laadun kannalta, Suomessa on tehty suhteellisen vähän tutkimuksia valumista ja ravinnehäviöistä sisävesistöihin (Räty et.al.2020). DI Maria Kämärin väitös (Kämäri 2018) vastaa osittain tiedon puutteeseen sekä on suhteellisen tuore tutkimus. Tutkimuksessa tarkasteltiin sääoloiltaan erilaisten talvien vaikutusta jokiin päätyviin ravinnekuormiin. Väitöstutkimuksen mukaan leuto talvi ei vuositasolla lisännyt nitraattitypen kuormaa. Leuto talvi kuitenkin lisäsi jokiveden talviaikaista sameutta sekä Vantaanjoella, että Kokemäenjoella. Sameuden ei ole todettu olevan voimakkaasti yhteydessä ravinnemääriin (Räty et.al.,2020). Aikaisemmissa tutkimuksissa on esitetty, että leudot talvet mahdollisesti osaltaan selittäisivät sitä, ettei typen hajakuormitus ole vähentynyt vesiensuojelutoimenpiteistä huolimatta, mutta Maria Kämärin tutkimus kumoaa olettamukset. KiertoVesi-hankkeen tutkimukset tukevat Kämärin tutkimuksen tuloksia, jossa suoraan eliöille käyttökelpoisen nitraattitypen pitoisuudet pienenevät erittäin merkittävästi syksynä 2012. Johtopäätöksenä oli, että kostea maaperä on saattanut lisätä typen denitrifikaatiota (Puustinen e.al.2019). Myös kansainvälinen tutkimus on samassa linjassa Kämärin ja Puustisen tutkimuksen kanssa siitä, että ravinteiden kulkeutuminen vesistöön on jopa alentunut lämmön ja sateiden vaikutuksesta (PDFI 2023). Suomen ympäristökeskuksen tekemässä vastaavassa tutkimuksessa (SYKE 2017) esille on tullut myös asutuksen vaikutus valunnan ravinnepitoisuuksiin (Kuva 2). Ravinnepitoisuuksien eroa voidaan nähdä typen määrän erolla joella, jossa on paljon asutusta ja vähemmän peltoa (Vantaanjoki) sekä joki, jossa on vähemmän asutusta ja enemmän peltoa (Kokemäenjoki) sekä joki, josta infra puuttuu kokonaan (Tenojoki, kuvassa 2. Tana).



Kuva 2. N määrä mg/l Vantaanjoki, Kokemäenjoki ja Tana River Lähde: SYKE 2017

#### **4.1. Sateen merkitys liuenneen reaktiivisen fosforin määrään**

Ravinnevirtojen kokonaisfosforin kuormitus kotieläintuotantoalueella, jolla on runsaasti karjaa sekä nurmiviljelyä, on todettu hieman pienemmäksi kuin Suomen maataloustuotantoalueiden keskimääräinen kuormitus on (Räty et.al.,2020). DRP:n eli liuenneen reaktiivisen fosforin osuus kokonaisfosforista oli kuitenkin verrattain korkea (Räty et.al.,2020). Tämä assosioi hyvin alueen voimakkaan karjatalouden kanssa toisin kuin Kämärin (Kämäri 2018) tutkimuksessa Varsinais-Suomessa, jossa ei ole runsaasti kotieläin tiloja. Kokonaismäärät olivat kuitenkin vaikuttavuudeltaan vähäisiä. Sateiden aiheuttamat äkilliset muutokset valumavesien ravinne- ja TSS-pitoisuuksissa eli kokonaiskiintoaine määrissä maatalousmaata ja lantaa sisältävillä alueilla johtuvat yleensä ja todennäköisesti juuri tehdyistä hoitokäytännöistä esim. kyntö hiljattain ja/tai välittömistä lannoitteiden ja lannan jaosta (Manninen et.al., 2018). Esimerkiksi voimakas sadetapahtuma kesäkuussa 2015 aiheutti korkeita kokonaistyyppipitoisuuksia (11 mg/l) maatalouden osavesien vesinäytteissä (Räty et.al.,2020). Maatalouden ravinnevirrat ja niiden määrät tarkemmin kohdassa 3.

#### **4.2 Sulamisveden ravinnehuuhtoumat**

Suurien lumimäärien nopea sulaminen aiheuttaa tyypillisen korkean veden virtaushuipun keväällä. Silti ravinnemäärät eivät nousseet niin korkeiksi kuin on arveltu (Räty et.al.,2020). KiertoVesi-hankkeen loppuraportissa todetaan, että aiempien tutkimusten vastaisesti eroosion määrä on laskenut (Puustinen et.al.2019). Maaperän vuotuinen eroosionopeus on ollut erittäin alhainen, mutta DOC eli liuennan orgaanisen hiilen häviöt vastasivat tai ylittivät aiemmin boreaalisille viljely- ja metsämaille raportoituja arvioita (Manninen et.al., 2018, Räty et.al.,2020). Keskimääräisen kausittaisen virtaaman jakautumisen vertailu tarkkailualueiden kesken paljasti, että maatalouden osavesistö tuotti kaikista valuma-alueista pienimmän osuuden keväällä ja suurimman osan syksyllä. Viimeisen kahden vuosikymmenen aikana Suomen vesistöalueilla on tapahtunut kevätsulamista aikaisemmin, jolloin samalla vesimäärä on vähentynyt, mitä kompensoi muuna kuukautena lisääntynyt virtaus, mikä on johtanut ravinteiden viennin kausivaihteluihin. (Räty et.al.,2020)

### 4.3. Suojakaistat

EU:n vesipuitedirektiivi 2000/60 (VPD) ohjaavat vesien tilaa EU:ssa ja asettavat raamit hyvälle veden laadulle. Käytännössä suurempi vaikutus maatalouden osalta vesistöön on maatalouden omat maataloutta -ja ympäristönsuojelua koskevat direktiivit (2007/366 ja 2000/647). Maatalouden ympäristötukea on voinut hakea edellisillä ohjelmakausilla vesistöön rajoittuville suojavyöhykkeille. Niitä on ollut yhteensä noin 8000 ha ja siitä tehdyn tutkimuksen mukaan niiden laskennallinen kuormitusta leikkaava vaikutus oli noin 2 % (Puustinen et al. 2019.) Viimeisimmällä, päättyneellä ohjelma kaudella (2022) suojavyöhykkeet sisältyvät kokonaisina kasvulohkoina erittelemättä laajempaan ryhmään, sisältäen mm. luonnonhoitopeltoja. Kosteikkoja on maanlaajuisesti toteutettu niin vähän, että niiden vaikutukset eivät koko peltoalaa koskevassa tarkastelussa näy (Puustinen et al. 2019.) Eroosion ja ravinnemäärien väheneminen voi johtua toimenpiteestä, joka astui voimaan maatalouden ympäristönkorvausehtojen mukana vuonna 1995. Tuolloin asetettiin ympäristötuen ehdoksi vesistöihin rajoittuvien peltojen suojakaistojen perustaminen (Evira 2023). Kaikki pellot, jotka rajoittuvat vesistöön, jokeen tai valtaojaan on jätettävä kasvipeitteinen min. 3 metrin suojakaista. Myös puroihin ja uomiin rajoittuvat pellot on rajattava min. 1 metrin suojakaistalla. Maatalouden vesiensuojelussa ympäristöohjelmat ovat rakentuneet eroosion vähentämiseen tähtäävien toimenpiteiden ympärille. Siitä on odotettu kokonaisfosforihuuhtoumien merkittävää alenemista partikkelimaisen fosforin huuhtoumien vähentyessä (Puustinen et al. 2019). Näitä maatalouden pakollisia suojakaistoja ei mainita missään tutkimuksessa.

## 5. Lannoiterajat ja maa-analyysi

NURMAP on malli, joka on kehitetty Kiertovesi-hankkeessa (Puustinen et al. 2019). NURMAP laskee nurmituotannon vesistökuormitusta sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Malli on dynaaminen ja ottaa huomioon mm. lannanlevitystavan, levitettävän määrän sekä levityksen ajankohdan. Lisäksi malli huomioi satotason maan, lannoituksen ja olosuhteiden perusteella sekä laskee maaperän fosfori muutoksen 0-20 vuoden aikavälille. Mallin aineisto on peräisin 2010-luvulla tehdyistä N-, K- ja P-satovastetutkimuksista. Karjanlantaan ollaan pidetty yleisesti

vesistöjen suurimpana ravinteiden lähteenä. NURMAP-mallissa lietelannan levitystekniikka ja ajankohta eivät kuitenkaan vaikuttaneet tilastollisesti merkittävästi kokonaisfosfori kuormitukseen, lukuun ottamatta syksyllä hajalevitettyä lietettä, jonka kuormitus oli selvästi muita vaihtoehtoja suurempaa. (Puustinen et.al.2019) Nykyisin tämä levitystapa on määräysten vastainen (Evira 2023). On merkille pantavaa, että pellolle oikeaoppisesti levitetty lanta ei nostanut fosforiarvoja (Räty et.al., 2020, Puustinen et.al., 2019). Mineraalilannoitteiden fosfori antoi vielä pienemmän kuormitusluvun annettua P-kiloa kohti, kuin karjanlanta, joka todennäköisesti johtui mineraalilannoituksen kevät levityksestä, jolloin fosfori kiinnittyy nopeasti maahan ja on nopeasti kasvin käytettävissä. (Puustinen et.al., 2019). Varsinais-Suomen peloilla käytetään enimmäkseen mineraalilannoitteita, sillä karjaa alueella on suhteellisen vähän (Kuva 1.).

Maatalouden ympäristötukiehtojen (Evira 2023) mukaan karjanlannan pintalevitys on kokonaan kielletty toimenpide. Sen sijaan tulevalle kynnökselle karjanlantaa voidaan levittää, josta voi aiheutua hetkellistä suoraa ravinteiden häviötä. Lanta tulee kuitenkin kyntää maan sisään kolmen päivän sisällä levityksestä (Evira 2023). Tänä aikana voimakkaat sateet saattavat lisätä DRP-häviötä (Räty et.al., 2020). Sallitut karjanlannanlevityksen ajankohdat ovat huhtikuusta lokakuun loppuun (Evira 2023.). Peltoja rajaavat ympäristötukiehtojen mukaiset vesistöön rajoittuvat 3metrin pakolliset suojakaistat pidättävät partikkelifosforia ja liukoista reaktiivista fosforia, mutta tutkimustietoa suojakaistojen merkityksestä ei ole, eikä niistä löydy mainintaa valuma-alue tutkimuksissa.

Karjanlannan levitykselle on useita rajoittavia säädöksiä. Ympäristötukiehto määrää lannanlevityksen sallitun ajankohdan, joka on huhtikuun alusta lokakuun loppuun asti (Evira 2023). Lannan levitystä rajoittaa myös määrällisesti Nitraattidirektiivi (91/676/ETY). Sen mukaan lannan käyttö on rajoitettu 170 kg:aan typpeä/ ha, samalla se rajoittaa myös epäsuorasti fosforin määrää (Macintosh 2019). Nitraattidirektiiviä noudatetaan koko Suomessa. Kokonaistyypeen perustuva nitraattiasetus rajoittaa käyttömäärän niin, että fosfori rajoittaa käyttöä vain harvoin. Tämän vuoksi nautakarjatilat ovat suurelta osin ympäristökorvausjärjestelmässä mukana ja samasta syystä nautakarjatilojen pellon fosfori-luku esimerkiksi Iisalmen reitillä on keskimäärin tavoitetilassa (Puustinen et.al.2019). Maatalouden ympäristöohjelmassa kaudella 2015-2020 oli 94,3 % peltopinta-alasta (MMM2021) Myös tällä ohjelmalla rajataan lannan levitettävää määrää, joka on riippuvainen maaperän fosfori luokasta

ja kasvin satotasosta. Vuotuisen fosfori lannoitteen suurin sallittu määrä nurmelle 0-46 kg ha ja viljalle 0-34 kg ha (Evira) (Kuva 3.)

Viljavuusluokka	Huono	Huononl.	Välttävä	Tyydyttävä	Hyvä	Korkea	Arv. korkea
Viljat, öljykasvit, palkokasvit	34	26	16	10	5	0	-
Viljat, öljykasvit, palkokasvit <b>lantapoikkeus</b>	34	26	16	15	15	-	-
Yksi- ja monivuotiset rehunurmet, ruokohelpi satovuonna, kokoviljasäilörehu, maissi	40	32	24	14	5	-	-
Yksi- ja monivuotiset rehunurmet, satotaso vähintään 7500 kg ka/ha/v	46	38	30	20	11	-	-
Yksi- ja monivuotiset rehunurmet, <b>lantapoikkeus</b>	40	32	30	30	20	-	-
Monivuotinen nurmi: laidun	24	16	8	5	5	-	-
Nurmen ja ruokohelpin perustaminen keväällä (suojakasvin kanssa tai ilman)	52	44	36	26	10	-	-
Nurmen perustaminen kesällä tai syksyllä sekä luonnonhoitopeltonurmen, monivuotoisuuspellon, viherlannoitusnurmen ja monivuotisen viherkesannon perustaminen, nurmi keväällä ennen kesä-perustamista	20	16	12	7	-	-	-
Peruna	55	55	55	55	35	20	5
Sokerijuurikas	63	63	60	43	26	14	5
Kuitupellava	34	26	16	5	-	-	-
Muut kasvit	30	20	15	10	5	-	-

Kuva 3. Fosforilannoituksen enimmäismäärä kg/ha/v viljavuusluokan perusteella Lähde: Evira 2023

Luken tekemän tutkimuksen mukaan vuosina (2015–2019) maan helppoliukoisen fosforin pitoisuuden keskiarvo on pienentynyt koko maan ja kaikkien ELY-keskusten alueilla (Luke 2023). Korkeimpiin fosforiluokkiin 5, 6 ja 7 (“Hyvä”, “Korkea”, “Arveluttavan korkea”) kuuluvien maiden osuus on vähentynyt selvästi. Samalla alhaisimpien fosforiluokkien 1 ja 2 (“Huono”, “Huononlainen”) osuudet ovat kasvaneet (Luke 2023). Ahvenanmaalla, Varsinais-Suomessa, Satakunnassa ja Etelä-Pohjanmaalla lannan fosforimäärät ovat lähellä kunkin alueen kasvien fosforilannoitustarvetta. Muiden ELY-keskusten alueilla lannan fosforia muodostuu vähemmän kuin kasvinviljelyssä tarvitaan (Luke 2023, Lahti 2020). Fosforilannoitusta on rajoitettu voimakkaasti 1990-luvun alusta alkaen ja fosforitase oli jo vuonna 2020 lähellä 0 kg/ha eli kun peltoa lannoitetaan (karjanlanta +mineraalilannoite) noin 11,4 kg/ha, niin sadossa sieltä otetaan 11,3 kg/ha (Lahti 2020). Fosforilannoitusta on ympäristöohjelmissa pyritty rajoittamaan siten, että kasvien ravinteiden saantia ei vaaranneta. Rajoitukset ovat kuitenkin nostattaneet ajoittain keskustelua siitä, ovatko ne jo liian tiukkoja, vaikka fosforin lannoitusvaikutus satoa rajoittavana ravinteena on huomattavasti pienempi kuin typellä tai kaliumilla.

## 5.1. VIHMA-mallinnus

VIHMA on mallinnustyökalu, joka on kehitetty arvioimaan maatalouden ravinnekuormitusta. VIHMA-malli perustuu kuormituskertoimiin, jotka ennustavat kiintoaineiden, typen ja fosforin vuotuisia kuormituksia vesistöön. Nämä kertoimet on johdettu Suomen koekenttien keräämistä tiedoista. (Puustinen 2023.) Teho-hankkeessa lasketussa ravinnetaseessa typelle ja fosforille vuosina 2007 – 2010 (Koskinen & Peltonen 2011) antoi tuloksen, jossa valuma-alueen peltojen fosforitase oli jokaisena vuonna alijäämäinen eli fosforia poistui sadoissa enemmän kuin sitä oli lannoituksen yhteydessä annettu. Sen sijaan typpitase oli ylijäämäinen eli osa tpeestä jäi käyttämättä. Sinänsä tulos ei ole yllättävä viimeaikaisten tutkimusten valossa. Tutkimuksen yllätyksenä oli kuitenkin itse VIHMA-mallinnus, sillä laskentamenetelmien tuloksia verrattaessa todettiin, että VIHMA-malli yliarvioi pelloilta tulevaa kuormitusta (Koskinen & Peltonen 2011, s.38). Lisäksi Teho-hankkeen loppuraportissa ilmenee tutkijoille ristiriitaisia tuloksia, kuten myös Suomen ympäristökeskuksen tutkimuksessa (Puustinen et.al.2019).

Kiertovesi-hankkeen tutkimusraportissa todetaan ”mainituista syistä johtuen tulosten merkityksen ja kokonaisuuden hahmottaminen on erityisen hankalaa”. Tutkimus osoittaa kuitenkin fosforikuormituksen vähenemistä isoilla vesistöalueilla, vaikka fosfori arvot ovat suurempia kuin pitäisi VIHMA:n epätarkkuudesta johtuen (Puustinen et.al.2019). VIHMA-mallinnuksesta on tehty väitös vuonna 2023 (Puustinen 2023), jossa mainitaan ongelmasta. Kuitenkin kun mallinnuksen pohjana olevat arvot perustuvat jo vanhentuneeseen peltojen ravinnetaseeseen, ei voida varmuudella todeta sovelluksen antavan luotettavaa ja ajanmukaista tietoa maan ravinnetilanteesta.

Ainevirtaamamittaukset heijastavat koko alueen ravinnetasetta, mutta kuormitukseen vaikuttavien eri tekijöiden osuuksia ei voida aina erottaa toisistaan. ”Kuormitukseen vaikuttavat lukuisat eri tekijät, joiden osuuden arvioiminen näinkin pienellä valuma-alueella osoittautui vaikeaksi” (Puustinen et.al.2019). Mallien käyttö on yksi tehokkaimpia toimenpiteiden vaikutusten arviointitapoja. Kuitenkin niiden tuottamien tulosten luotettavuus riippuu täysin syöttötietojen saatavuudesta ja laadusta (Puustinen et.al.2019). VIHMA-mallin ongelmiin ei olla näköjään puututtu, sillä niistä on raportoitu jo vuonna 2011 Teho-hankkeen yhteydessä (Koskinen & Peltonen 2011). Niina Kotamäen väitöksen mukaan tilastollisia arviointimenetelmiä vesistöjen seurantaan tulisi kehittää ja vesienhoidon suunnittelun tulisi olla

entistä adaptiivisempaa, eli seuranta- ja toimenpideohjelmiä pitäisi korjata sitä mukaan, kun vesien tilasta ja hoitotoimenpiteiden vaikutuksista kertyy uutta tietoa. Tulosten mukaan epävarmuus johtuu useimmiten riittämättömistä lähtötiedoista tai puutteellisesti kohdennetusta seurannasta. (Kotamäki 2018) Tarkkuuden sekä varmuuden osalta löytyy parannettavaa, eikä VIHMA -mallinnus ole ainut työkalu mallintamaan maatalouden ravinnekuormia epämääräisesti, sillä myös NURMAP-mallinnuksessa on saatu liian korkeita maatalouden ravinnekuorma lukuja. Tämä johtuu teknisestä syystä, kun eroosioaineksen määrän mallintamiseen ei käytetty parasta mahdollista tekniikkaa. Niissä kokeissa, joissa on aidosti määritetty kiintoaines, on eroosion määrä huomattavasti pienempi kuin haihdutusjäännöksen perusteella on yleensä arvioitu. (Puustinen et.al.2019).

## 5.2. Lannoitekalkki ja kipsi

Kalkin ( $\text{CaO}$ :a tai  $\text{Ca}(\text{OH})$ ) maata parantavat vaikutukset tunnetaan hyvin ja sen käyttö on laajasti hyväksyttyä sekä se toimii myös Suomen luontaisesti fosfaattipitoisen maan pH:n tasapainottajana. Kalkki tasapainottaa maaperän pH-arvoa ja parantaa maaperän ravinteiden saatavuutta ja fosforin käyttökelpoisuutta (Luke 2018). Fosforin käyttökelpoisuus kasville riippuu maan happamuudesta, jolloin kalkin tuoma maan neutraloiva vaikutus vaikuttaa maan ravinteiden pidätyskykyyn positiivisesti. Kipsin ( $\text{CaSo}_4$ ) yleistynyt käyttö ei perustu pH tasapainottamiseen, vaan maan sitomiseen (SAVE 2018). On kuitenkin vaarana, että kipsin fosfaattijäämät kasautuvat ja aiheuttavat pitkällä aikavälillä ongelmia. Myös sen maata happamoittavat vaikutukset ovat tuntemattomia. Pitkänaikavälin tutkimukset puuttuvat kokonaan. Meneillään oleva kipsihanke ei ole hintalaatu suhteeltaan paras tapa ravinteiden alas laskemiseen Suomenlahden rannikon valuma-alueella, koska sen ajallisesti ja alueellisesti rajallisten vaikutustensa vuoksi menetelmää ei voida pitää pysyvänä ja siten vaikutukset koko maan vertailussa olisivat kiintoaine ja fosforikuormitukseen vain 2–4 % (Puustinen e.al.2019). Hoitokalastuksen laskennallinen vaikutus vesistöjen fosforin poistossa on yhtä suuri kuin kipsin vaikutus. Vertailtaessa sitä laaja-alaisiin peltotoimenpiteisiin päästään samantasoiisiin vertailulukuihin (Puustinen et.al.2019). Arvioitaessa kalkin ja kipsin käyttökelpoisuutta ei voi kyllin korostaa kalkin tarpeellisuutta maanparannusaineena toisin kuin kipsin, joka ainoastaan maan sitomiskyvyn avulla toimii maassa parannusaineena. Sama ominaisuus on kalkilla, lisäksi se toimii ravinteiden sitojana kemiallisesti pH:n avulla.

### 5.3. Lannoitemäärien kansainvälisiä tutkimuksia

Valuma-alueiden lannoitemäärien vertaaminen toisiinsa tuo uutta näkökulmaa maatalouden ravinnevirtoihin. Kansallisissa maatalouden ympäristöohjelmissa on pieniä eroja, kuitenkin kaikissa näissä EU maissa toteutetaan vesipuitedirektiiviä (VPD), joka määrittää veden laadun rajat. Typen käyttöä ja vaikutusta on tutkittu pienillä valuma-alueilla Pohjoismaissa ja Baltiassa. Tutkimuksessa on 23 valuma-alueen typpitaseet vuosina 2007–2011. Maatalouden typen levitysmäärät vaihtelivat valuma-alueiden ja maiden välillä yhteisestä maatalouspolitiikasta huolimatta huomattavan paljon. Keskimäärin suurin typen (N) levitysmäärä oli (lannoite ja lanta) koko maatalousalalle oli 410 kg N/ha. Tutkitut valuma-alueet olivat; Norjassa 7 jokea, Tanskassa 5, Ruotsissa 8, Suomessa 3 (Hovi, Savijoki ja Löytäneenoja), Latviassa 3 ja Virossa 2 jokea. Tanskassa typen levitysmäärät olivat tällä ajanjaksolla keskimäärin 137-197 kg N/ha, Berzen valuma-alueella Latviassa typen levitysmäärä oli verrattain korkea, 175 kg N/ha. Muilla valuma-alueilla Latviassa sekä valuma-alueilla Suomessa ja Virossa maatalousalueiden keskimääräiset typen levitysmäärät olivat pääosin alle 100 kg N/ha. (Bechmann et.al.2014). Suurin lannan levitysmäärä (87–141 kg N/ha) oli neljällä Tanskan valuma-alueella. Myös kahdessa Norjan ja yhdessä Ruotsin valuma-alueella lannassa levitetty typen määrä oli korkea kaudella 2007–2011. Valuma-alueella saatettiin levittää lantaa pellolle jopa 226 kg N/ha (Norja). (Bechmann et.al.2014). Levitetyn lannan rekisteröity määrä voi olla suurempi kuin maaperään saavuttava määrä johtuen ammoniumin haihtumisesta levityksen aikana ja maan pinnalla. Tässä tutkimuksessa huomionarvoista on Suomen alhainen N määrä, joka hyvin vastaa muita tutkimustuloksia (Puustinen et.al.2019, Rätty et.al.2020, Knuutila et.al. 2017) Tutkimuksessa tuli esille myös sekä Irlannin että Pohjois-Amerikan viljelijöiden erilainen tapa hyödyntää ravinteita ja ravinneanalyysseja viljelyn suunnitteluun sekä viljelyyn. Irlanti on EU:n jäsenmaa, jossa tulisi olla samanlaiset direktiivit kuin Suomessa, kuitenkin sekä maanäytteiden otto, kuten myös viljelysuunnitelmat eivät olleet ajan tasalla (Macintosh 2019, Mc Dowell et.al.2016). Tämä tiedonpuute aiheuttaa huolta TP todellisista määristä maataloudessa, toisin kuin Suomessa ne tiedetään tarkkaan. Suomessa maatalouden lohko-kohtainen kirjapito tulisi kuitenkin saada myös tutkijoiden käyttöön. Tällä hetkellä lohko-kohtaiset tiedot ovat käytössä vain viljelysuunnitelmien laadinnassa sekä EU tukiehtojen valvonnassa. Miksi lohko-kohtainen kirjapito ei ole tutkijoiden käytössä, en löytänyt vastausta.

## 6. Jätevedenpuhdistamot ja pistekuormitus

Nykyinen yhdyskuntajätevesien käsittelyprosessi on kehitetty aikanaan puhdistamaan jätevettä ja vähentämään vesistöjen kuormitusta. Prosessia ei ole suunniteltu ravinteiden talteenoton ja kierrätyksen näkökulmasta (SYKE 2021.) Jätevedenpuhdistamot ovat kehittyneet teknisesti sekä niiden kapasiteettia päivitetään asukasluvun mukaan. Onko kehitys kuitenkin liian hidas ja kuinka äkilliset lyhytkestoiset ylikuormitustilanteet hoidetaan? Onko kapasiteettia riittävästi vuotuisiin ylikuormitustilanteisiin yhdelläkään laitoksella? Kuinka paljon uusi jätevedenpuhdistamo laskee käsittelemätöntä jätevettä valuma-alueelle, sekä mikä on vanhemman jätevesilaitoksen kapasiteetti? Näihin kysymyksiin en löytänyt vastauksia tutkielmaani. Näitä asioita tulisi siis tutkia tarkemmin, myös läjitys vaatisi uudenlaista huomiota. Fosfori sidotaan niukkaliukoisessa muodossa lietteeseen, mihin päätyy myös tpeestä noin kymmenesosa. Loput tpeestä haihdutetaan ilmaan (aiheuttaen mm. kasvihuonekaasupäästöjä) ja johdetaan purkuveden mukana vesistöön. Puhdistusprosessin sivutuotteena muodostuvasta lietteestä suurin osa hyödynnetään viherrakentamisessa ja maisemoinnissa, mikä ei hyödynnä lietteen sisältämiä ravinteita, etenkin fosforia, tehokkaasti (SYKE 2021.) Kiristyvät tavoitteet kiertotaloudessa ja hiilineutraalisuudessa tulevat jatkossa ohjaamaan resursseja yhä tehokkaammin. Näiden tavoitteiden eteen tulisi kuitenkin tehdä lisää selvityksiä, jotta voidaan ymmärtää ravinteiden liikkeitä paremmin. Tämän hetken pistelähteitä koskevat tiedot ovat yllättävän niukat, vaikka muutamat erityiset sulfaattilähteet (jotkut kaivokset ja sellutehtaat) ovat saaneet Suomessa paljon huomiota. Valtakunnallinen kuormitustietokanta sisältää tiedot vain niistä pistelähteistä, joilla on ympäristölupa. Tiedon puute saattaa liittyä siihen, että on vain vähän todistettuja tapauksia, joissa makean veden ekosysteemeihin kohdistuvat vaikutukset on jäljitetty nimenomaan lisääntyneeseen sulfaattikuormitukseen (Ekholm 2020.)

### 6.1. Ohjuoksutukset

On myös vaikea löytää tarkkaa tietoa jätevedenpuhdistamojen vuotuisesta ravinnepäästöstä, koska ohjuoksutukset eivät ole minkään tilastoinnin piirissä. Normaalisti toimivan jätevesipuhdistamon puhdistetun veden ravinnevirrat on tilastoitu, mutta vain harvoin prosessi toimii yhtäjaksoisesti normaalisti pitkiä aikoja. Ylikuormitus sekä tekniset viat ovat yleisiä,

varsinkin vanhemmissa laitoksissa (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2005). Vuotuiset, yleensä keväälle ajoittuvat ohijuoksutukset uutisoitiin aikaisemmin lehdissä, nykyään vähemmän, sillä se katsotaan normaaliksi toiminnaksi (SYKE 2021-Vahingot). Suomessa ei ole kattavaa seuranta- ja tilastointijärjestelmää, josta saataisiin ajantasaista tietoa ohijuoksutusten määrästä valtakunnallisesti. Tärkein ja laajin pysyvä seurantajärjestelmä on pelastuslaitosten toimenpiteitä kuvaava sisäministeriön PRONTO-järjestelmä. Muita järjestelmiä ovat erityisesti turvallisuusriskeihin keskittynyt VARO-rekisteri, johon kokoaa tietoja Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) sekä Onnettomuustutkintakeskuksen (OTKES) kokoamat tiedot suuronnettomuuksista. Ympäristöviranomaiset ylläpitävät valvontaan liittyvää rekisteriä (aiemmin VAHTI nytemmin YLVA), johon tallennetaan tietoa muun ohella ympäristölupalaitosten häiriötilanteista. Normaalista toiminnan harjoittamisesta aiheutuvat päästöt on rajattu tarkastelun ulkopuolelle, tarkoittaen keväisiä jätevedenpuhdistamojen ohijuoksutuksia. Myös esimerkiksi tehtaiden toiminnan keskeytystilanteissa (niin sanottu ylös - ja alasajo) tapahtuvat häiriöpäästöt kuuluvat pääsääntöisesti normaalin toiminnan harjoittamiseen (SYKE 2021-Vahingot). Kukaan ei siis tiedä paljonko jätevedenpuhdistamojen ohijuoksutuksista aiheutuu kuormitusta vesistölle. ELY-keskukselle tulee ilmoittaa vain, jos vahinko on tavallista suurempi tai erityinen (SYKE 2021-Vahingot). Suomen ympäristökeskuksen tutkimus toteaa, että nämä rajaukset eivät ole yksiselitteisiä tai vailla tulkinnanvaraisuutta. Sellaisten vahinkojen tietoja, joissa pelastuslaitoksen ei ole tarvinnut toimia, ei merkitä järjestelmään. Tällöin aiheuttaja itse on vastannut toimenpiteistä. Nämä tapaukset eivät päädy aina edes tiedotusvälineisiin, ellei laitos niistä tiedota tai elleivät ne muuten tule esiin (SYKE 2021-Vahingot).

Lounais-Suomen ympäristökeskus on tutkinut jätevedenpuhdistamojen puhdistustehoa vuonna 2005. Tutkimuksen tulokset kertovat, kuinka paljon puhdistusteho vaihtelee laitoksittain. Uudet laitokset toimivat varmemmin kuin vanhemmat laitokset, vanhempien laitosten kapasiteetti saattaa olla jäljessä alueen väestökehityksestä. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueen yhdyskuntien 77 jätevedenpuhdistamossa käsiteltiin jätevesiä vuonna 2005 yhteensä keskimäärin 185 000 m<sup>3</sup> vuorokaudessa eli noin 67,5 miljoonaa kuutiota vuodessa. (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2005) Puhdistamojen ohi jouduttiin ajoittain johtamaan käsittelemätöntä tai puutteellisesti käsiteltyä jätevesiä muun muassa laitevikojen ja korjaustoimenpiteiden vuoksi sekä myös runsaista sateista ja lumen sulamisesta aiheutuvien vuotovesien takia. Länsi-Suomessa vuonna 2000 jätevesiä juoksutettiin puhdistamojen ohi yhteensä keskimäärin 6400 m<sup>3</sup> /vrk eli 2 336 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Vuonna 2005

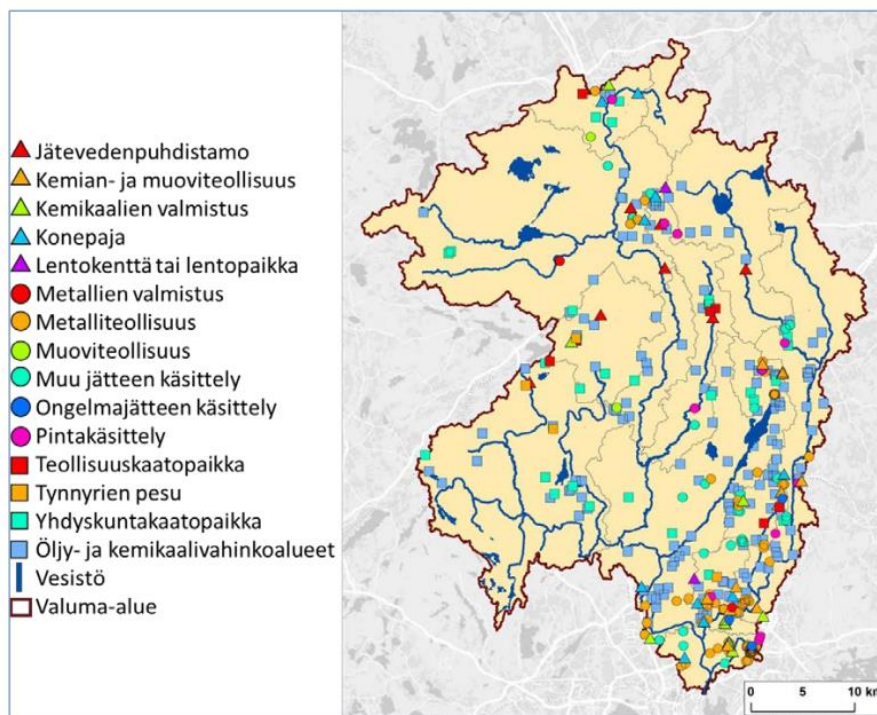
puhdistuskapasiteetti oli jo parempi ja ohijuoksutusta oli keskimäärin 1894 m<sup>3</sup> vuorokaudessa eli 691310 m<sup>3</sup> vuodessa. (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2005.) Koska eniten ohijuoksutusta tapahtui Turun kaupungin alueella, ei voida ajatella, etteikö se olisi vaikuttanut Aurajoen ja saaristomeren veden puhtauteen sekä ravinnekuormaan. Turun jätevedenpuhdistamo on tutkimuksen jälkeen uusittu (Turunseudunpuhdistamo).

## 6.2. PFAS-tutkimus Vantaanjoesta

Vantaanjoesta on tehty paljon tutkimuksia koskien maatalouden kuormitusta (Koskiahho et.al. 2020, Valkama et.al 2010, ym.). Corine 2012/taso 2 maankäyttöluokituksen perusteella valuma-alueella on kuitenkin viljelysmaita vain 25 % (Junttila et al.2021.). Jos tutkimuksessa kerätään tietoa maatalouden ravinnekuormista, on Vantaanjoki mitä epäedullisin joki tätä kuvaamaan, jos vedestä otetaan vain kokonaisvesinäyte. Tätä epäsuhtaa kuvaa Vantaanjoesta tehty PFAS-tutkimus, jossa joen PFAS määrät olivat huomattavasti yli sallitun rajan koko joen matkalta (Junttila et al.2021). PFAS ei ole jätevedenpuhdistamojen seurattava ja puhdistettava ainesosa, joten se kulkeutuu purkuvesien mukana vesistöön. Tutkimuksessa kuitenkin käydään läpi huolella sitä, mistä PFAS voisi olla peräisin sekä sitä, miksi PFAS-yhdisteitä on niin runsaasti joessa. Tutkimuksissa käy hyvin ilmi, kuinka saastunut joki on lukuisten jätevedenpuhdistamojen ja läjityspaikkojen lähellä sekä se, kuinka vähän tätä on mitattu ja tutkittu (Clergeaud 2020, Junttila et al.2021). Tutkimus on mukana tässä työssä, koska tämän perusteella voidaan kyseenalaistaa maatalouden kuormituslukua ko. joessa, jos pelkästään PFAS luvut ovat suuria. Runsasta, yli sallitun rajan PFAS-kuormitusta jokeen päätyi sekä jätevedenpuhdistamoista että pistemäisistä päästölähteistä (Junttila et al.2021). Voisiko olettaa myös ravinteiden määrän olevan yllättävän suuria pistemäisistä lähteistä? Tutkielman kirjoittaja on hakenut Itämeri hakkeelta rahoitusta pistemäisen kuormituksen tutkimukseen sitä kuitenkaan saamatta. Tämä olisi voinut antaa tarkkaa tietoa oikeasta ravinne kuormituksesta.

Hulevesien analyysitulokset osoittivat, että sadannan tai lumien sulamisen aikaan lisääntynyt pintavalunta sekä jätevesilaitoksen ylikuormitus lisäsi PFAS-yhdisteiden huuhtoutumista valuma-alueelta jokeen. MATTI-rekisterin mukaan (Kuva 4.) alueella on runsaasti jätteenkäsittely- ja kaatopaikkatoimintaa, joka lisää pintavaluntaa jokeen (Junttila et al.2021). PFAS-yhdisteistä pitkäketjuisen PFOS:n kertyminen kalan lihaan ylitti Vantaanjoen alajuoksulla normin moninkertaisesti. Hule- ja valumavesien mukana huuhtoutuvat PFAS-

yhdisteet voivat olla riski pienvesissä tapahtuvalle uhanalaisen taimenen lisääntymiselle. Vantaalla mm. Rekolanoja sekä Kylmäoja ovat kalataloudellisesti kunnostettuja ja niissä taimen on alkanut lisääntyä. Molemmissa kohteissa veden PFAS-pitoisuudet olivat korkeita. (Junttila et al.2021.) Pintavesinäytteiden perusteella PFOS:lle arvioitu haitaton vuosikeskiarvopitoisuus 0,65 ng/l ylittyy Vantaanjoessa, Porvoonjoessa sekä Kokemäenjoessa. Myös Aurajoessa, Mustionjoessa, Kyrönjoessa ja Oulujoessa haitaton pitoisuus on ollut lähellä ylittyä. (Junttila et al., 2021.) Kalojen korkeimmat PFAS-pitoisuudet on havaittu rannikolta sekä Etelä-Suomen vesimuodostumista. Ympäristölaatunormin 9,1 µg/kg ylittäviä pitoisuuksia on mitattu Vantaanjoen edustalta Vanhankaupunginlahdelta, Porvoonjoesta ja Porvoon edustan rannikkovesistä sekä Tuusulanjärvestä. (Junttila et al., 2021.) Näiden yhdisteiden alkuperä ei ole siis maataloudesta, joten näin mittavien määrien voidaan arvioida olevan vain jätevedenpuhdistamoilta sekä mahdollisesti myös pistelähteistä. Tämä vaatisi kuitenkin lisää tutkimusta, niin kuin myös tässä PFAS-tutkimuksessa todetaan. Yhtä aikaa PFAS tutkimuksen kanssa olisi erittäin hyvä tutkia myös ravinnemääriä, jotta päästäisiin kiinni ravinnelähteistä.



*Kuva 4. MATTI-rekisteriin ilmoitettujen potentiaalisten PFAS-kuormitusta aiheuttavien kohteiden sijainti Vantaanjoen valuma-alueella. Lähde: Junttila. et.al. 2021*

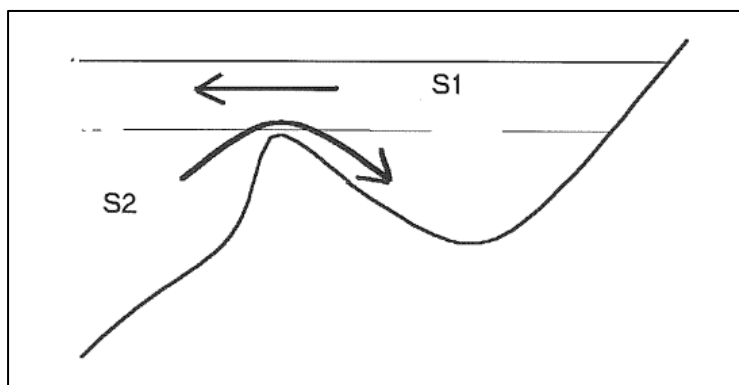
### 6.3. Suomenlahden ravinnekuormitus

Suurin osa Suomenlahden ravinnesyötöstä on peräisin Venäjältä (kuva5.), joista Neva, Lugajoki sekä Pietarin kaupunki ovat tärkeimpiä lähteitä (Knuuttila et.al. 2017). Luotettavan yleiskuvan saamisessa Suomenlahden ravinnesyötöstä on kuitenkin ongelmallista, koska Venäjän seuranta- ja arviointijärjestelmä ei täytä HELCOM-vaatimuksia. Esimerkiksi pistekuormituksen seurannassa on ollut puutteita, kaikkia pakollisia muuttujia ei ole mitattu valvotuissa joissa, eikä valvomattomien alueiden kuormituksia ole arvioitu. Lisäksi raportoitu P-vienti Neva-joesta on vaihdellut vuodesta toiseen, mikä vaikuttaa epätodennäköiseltä joen suuret vesimäärät huomioon ottaen. (Knuuttila et.al. 2017.) Luotettavat ja kattavat syöttöarviot ovat edellytys kuormitus arvojen asettamiselle sekä tavoitteiden saavuttamisen arvioimiselle. Tällä hetkellä Suomenlahden syötteiden tunnistamisessa ja määrittämisessä on suuria puutteita, erityisesti Venäjän osasta valuma-aluetta, joten kovin luotettavia Suomenlahden kuormitusprosentit eivät ole. (Knuuttila et.al. 2017.) Kuormituslukuihin vaikuttavat useat eri pakotteet, joiden arvioiminen on kompleksista varsinkin, jos kuormituslähteiden arvot ovat epämääräisiä. Tätä taustaa vasten tämänhetkiset kuormitusprosentit tulisi arvioida uudelleen.



Kuva 5. Itä-Suomenlahden valuma-alue Lähde: Knuuttila et.al.2017

Veden kiertokulku luonnossa, eli hydrologinen kierto, on oleellinen tekijä useimpien aineiden kiertokulkua ajatellen (Perttilä 2006, s.65), erityisesti ravinteiden osalta. Hydrologiaan vaikuttaa moni asia eikä se ole yksiselitteinen varsinkaan ahtaalla Suomenlahdella. Liuenneiden aineiden jakaumaan meriekosysteemeissä vaikuttaa kaksi päätekijää; vesimassojen globaali kierto sekä biologinen kierto. Jälkimmäinen siirtää ravinteita pintakerroksesta syväveteen, edellinen kierrättää aineita ympäri maapallon (Perttilä 2006, s.67). Suomenlahti vastaanottaa suuren määrän makeaa vettä Neva-joesta ja kierrättää vettä avoimen yhteyden kautta Itämeren päältäan kanssa. Verenkiertodynamiikan on osoitettu olevan hyvin monimutkainen Suomenlahdella. Tätä monimutkaisuutta lisäävät voimakkaat vaihtelut pakotusfunktioissa sekä nopeasti muuttuva hydrografia ja monimutkainen pohjatopografia. (Myrberg & Soomere 2013) Pelkistetty ja yksinkertaistettu pohjatopografia Suomenlahdella näkyy kuvassa 6. Ravinteiden vapaa kierto vaikeutuu ja ne jäävät Suomenlahteen helpommin kuin lähtevät Itämeren päällasta kohti pois. Tämä lisää Itä-Suomenlahden valuma-alueen kuormittavuutta Suomenlahdella. Tämän vaikutusta ei voi olla huomioimatta eikä se voi olla vaikuttamatta Suomenlahden ravintokuormaan. Mutta kuten Knuuttila on todennut (Knuuttila et.al. 2017), laskelmien tekeminen on monimutkaista ja vaatisi lisätutkimusta.



*Kuva 6. Suomenlahti alueiden hydrologinen kynnys Lähde: Perttilä 2006, s. 73*

## 7. Yhteenveto

Useissa maatalouden ravinnetutkimuksissa tuli ilmi ristiriitaisia tuloksia. Myös tutkimusmetodeissa oli huomattavia eroja sekä epätarkkuuksia. Maatalouden kuormitusta mitattiin sekä suoraan salaojan päästä, mutta myös jokiveden virtaamasta, jossa ravinnelähde voi olla jokin muu lähde kuin maatalous. Tämän tutkielman mukaan voidaankin todeta, että lisätutkimuksen tarve on ilmeinen. Ei ole ollenkaan selvää, mitkä ovat oikeat ravinteiden kuormitusprosentit Suomen osalta tai Etelä-Suomen valuma-alueelta. Eri tutkimuksissa näkyi runsaasti myös vanhan tiedon käyttöä sekä muuta epätarkkuutta, joka ei ollut tarpeen tutkimuksen johdonmukaisuuden kannalta. Uutta tietoa on ollut saatavana, mutta sitä on hyödynnetty niukasti. Vesien ravinnevirtojen tutkimusmetodien olisi hyvä saada kansainvälisesti standardisoitua, joka poistaisi epätarkat tutkimustulokset sekä varmentaisi tulosten oikeellisuuden. Tutkimusten ristiriitaisuuksien vuoksi on mahdollista, että maatalouden kuormittavuus Etelä-Suomen valuma-alueella on yliarvioitu. Kuinka paljon niitä olisi yliarvioitu, on tämän tutkimuksen mukaan vaikea todeta. Tätä tulisikin tutkia tarkemmin ja saada valideja kuormituslukuja aikaiseksi. Ei voi olla korostamatta lisätutkimuksen tarpeellisuutta. Suomen ulkopuolella kuormituslähteitä tarkastellaan yleisesti holistisemmin sekä on tiedostettu, että kuormitusta tulee yhä myös yhdyskunnista. Tutkielmani mukaan päähuomiota tulisi jatkossa kiinnittää ensinnäkin lisätutkimukselle, enemmän yhdyskuntajätteiden määrään tutkimiseen ja laskemiseen valuma-alueilla. Myös fosforin sieppaaminen ja kierrättäminen eli suljetun kierron edistäminen tulisi ottaa vakavasti. Valitettavasti kierrätetyistä materiaaleista saatujen fosforituotteiden standardoinnin ja sääntelyn puutteet vaikeuttavat vielä tällaisten tuotteiden käyttöä, mutta silti kierrätettävyyttä tulisi pyrkiä kaikin tavoin edistämään. Lisäksi kannustimien puute rajoittaa käyttöönottoa ja innovaatioita, varsinkin koska kemialliset lannoitteet ovat huomattavasti edullisempia kuin uudelleen jaettu tai talteen otettu fosfori. Ympäristöministeriön ravinteiden kierrätyksen (2019–2030) toimenpideohjelman mukaan (YM2019) pyrkimyksenä on hyödyntää jätevesilietteiden ravinteet pääosin lannoitteina vuoteen 2030 mennessä. Tavoitetaan voidaan päästä tukemalla ja kehittämällä jätevedenkäsittelyä kohti ravinteiden ja orgaanisen aineksen turvallista talteenottoa ja kiertoa. Nykymuotoisena puhdistamolietteen hyötykäyttö on nähty viime aikoina ja tämän tutkielman mukaan ongelmallisena etenkin sen sisältämien orgaanisten haitta-ainejäämien vuoksi. Tutkimusten perusteella nykyiset jäteveden-puhdistusprosessit tai lietteenkäsittelymenetelmät kykenevät poistamaan vain pienen osan näistä erityisen pysyvistä ja haitallisista orgaanisista yhdisteistä, ja osa niistä kulkeutuu puhdistetun jäteveden mukana

vesistöön ja osa lietteen hyötykäytön seurauksena maaperään. Jotta ravinteiden ja orgaanisen aineksen palauttaminen jätevesistä takaisin ympäristöön olisi tulevaisuudessa turvallista, tarvitaan uudenlaisten ratkaisujen käyttöönottoa. Tutkittua tietoa eri menetelmien vaikutuksista haitta-aineisiin sekä haitta-aineiden vaikutuksista ympäristöön on kuitenkin hyvin vähän olemassa.

Muualla maailmassa, kuten Irlannissa ravinteiden lähteiden tutkimuksissa ollaan edetty huomattavasti Suomea nopeammin ja siellä ollaan vaiheessa, jossa valuma-alueen vesistöjen suurin kuormittaja nähdään jätevedenpuhdistamoilla. Suomen hidas politiikka realististen ravinnekuormien havaitsemisessa kostautuu Suomenlahden ja Itämeren ravinnetilanteen paikalleen jähmettymisenä. Suomen ongelmat eivät kuitenkaan ole niin mittavia kuin Irish Water (Irlannin tasavallan pääasiallinen vesilaitos) arvioi, että jätevesilietteen määrä kasvaa yli 80 prosenttia vuoteen 2040 mennessä infrastruktuurin parannuksien vuoksi (Macintosh 2019). Ongelma on siis globaali, ja sen ratkaiseminen vaatisi nyt kaiken huomion. Ravinteiden oikeanlainen kierrätys on Suomessakin ymmärrettävä sekä myös se, mistä ravinnekuormat tulevat.

## Lähteet:

Basu (2010). Parsimonious modeling of hydrologic responses in engineered watersheds: Structural heterogeneity versus functional homogeneity, [Nandita B. Basu](#), [P. S. C. Rao](#), [H. Edwin Winzeler](#), [Sanjiv Kumar](#), [Phillip Owens](#), [Venkatesh Merwade](#), <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2009WR007803>

Bechmann et.al. (2014). Typen käyttö, taseet ja niiden vaikutus veden laatuun pienillä valuma-alueilla Pohjoismaissa ja Baltiassa Marianne Bechmann, Gitte Blicher-Mathiesen, Katarina Kyllmar, Arvo Iital, Ainis Lagzdins, Tapio Salo, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880914002011>

Birk et.al. (2020). Impacts of multiple stressors on freshwater biota across spatial scales and ecosystems, Useiden stressitekijöiden vaikutukset makean veden eliöstöön alueellisessa mittakaavassa ja ekosysteemeissä, [Sebastian Birk](#), [Daniel Chapman](#), [Laurence Carvalho](#), [Bryan M. Spears](#), [Hans Estrup Andersen](#), [Christine Argillier](#), [Stefan Auer](#), [Annette Baattrup-Pedersen](#), [Lindsay Banin](#), [Meryem Beklioğlu](#), [Elisabeth Bondar-Kunze](#), [Enkeli Borja](#), [Paulo Branco](#), [Tuba Bucak](#), [Anthonie D. Buijse](#), [Ana Cristina Cardoso](#), [Raoul-Marie Couture](#), [Fabien Cremona](#), [Dick de Zwart](#), [Christian K. Feld](#), [M. Teresa Ferreira](#), [Heidrun Feuchtmayr](#), [Mark O. Gessner](#), [Alexander Gieswein](#), [Daniel Hering](#) : <https://www.nature.com/articles/s41559-020-1216-4>

Bol et.al. (2018). Challenges of reducing phosphorus based water eutrophica in the agricultural landscapes of Northwest Europe, Fosforipohjaisten vesien rehevöitymisen vähentämisen haasteet Luoteis-Euroopan maatalousmaisemassa, Roland Bol, Gerald Gruau, Per-Erik mellander, Magdalena Bierozza, Faruk Djodjic, Erik Smolanders, Sen Gu, Chantal Gascuel-Odoux, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2018.00276/full>

Clergeaud (2020). Pro gradu -tutkielma Geotieteiden ja maantieteen osasto Geologian ja geofysiikan maisteriohjelma, Hydrogeologian ja ympäristögeologian opintosuunta MAANLÄJITYSALUEIDEN VAIKUTUKSET PINTA- JA POHJAVESIIN VANTAANJOEN VALUMA-ALUEELLA Joonas Clergeaud 6/2020

<https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/abe4d44b-3500-4f37-ab74-cd0a659dca99/content>

Devlin & Brodie (2023). Nutrients and Eutrophication, Ravinteet ja rehevöityminen. Michelle Devlin, Jon Brodie. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-10127-4\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-10127-4_4)

Ekholm et.al. (2020). Diffuse sources dominate the sulfate load into Finnish surface waters, Suomen pintavesien sulfaattikuormitusta hallitsevat hajakuormituslähteet Petri Ekholm, Jouni Lehtoranta, Maija Taka, Tapani Sallantaus, Juha Riihimäki <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720348269?via%3Dihub#ac0005>

Evira (2023). Ympäristötuen sopimusehdot 2023, <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/peltotuet/ymparistokorvaus/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot-2023/>

Finér et.al. (2020). Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020, Finér, Leena; Lepistö, Ahti; Karlsson, Kristian; Räike, Antti; Tattari, Sirkka; Huttunen, Markus; Härkönen, Laura; Joensuu, Samuli; Kortelainen, Pirkko; Mattsson, Tuija; Piirainen, Sirpa; Sarkkola, Sakari; Sallantaus, Tapani; Ukonmaanaho, Liisa (2020-01-31) <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162009>

Fleming et.al. (2021). Rannikkovesiemme vedenlaadun ja rehevöitymistilan tulevaisuus ja sen arvioiminen Vivi Fleming, Harri Kuosa, Laura Hoikkala, Antti Räike, Markus Huttunen, Elina Miettunen, Elina Virtanen, Laura Tuomi, Henrik Nygård ja Pirkko Kauppila Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:14 [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162906/VNTEAS\\_2021\\_14.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162906/VNTEAS_2021_14.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

HELCOM (2019). HELCOM Guidelines for the annual and periodical compilation and reporting of (PLC- Water) waterborne pollution inputs to the Baltic Sea; <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/PLC-Water-Guidelines-2019.pdf> 154 sivua

Junttila et al. (2021). Vantaanjoen PFAS-hanke Loppuraportti, Ville Junttila Heli Vahtera Jari Männynsalo Henri Virkkunen Pia Högmänder Noora Perkola Jukka Mehtonen

[https://www.vhvsy.fi/files/upload\\_pdf/9943/Julkaisu%2089-2021%20Vantaanjoen%20PFAS-hanke%20-%20Loppuraportti.pdf](https://www.vhvsy.fi/files/upload_pdf/9943/Julkaisu%2089-2021%20Vantaanjoen%20PFAS-hanke%20-%20Loppuraportti.pdf)

Knuutila et.al. (2017 s 55). Nutrient inputs into the Gulf of Finland: Trends and water protection targets, Ravinteiden syöttö Suomenlahteen: Trendit ja vesiensuojelutavoitteet, Seppo Knuutila, Antti Räike, Petri Ekholm, Sergei Kondratjev



Nutrient-inputs-into-the-Gulf-of-Finland--1

Koskiaho et.al. (2020). Carbon and Nutrient recycling ecotechnologies in three Baltic sea river basins-the effectiveness in nutrient load reduction , Hiilen ja ravinteiden kierrätyksen ekoteknologiaa kolmella Itämeren vesistöalueella – tehokkuutta ravinnekuormituksen vähentämisessä.Jari Koskiaho ,Tomasz Okruszko,Mikolaj Piniewski ,Pawel Marcinkowski ,Siirikka Tattari ,Solveig Johannesdottir ,Erik Kärrman ,Maria Kämäri,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S164235932030046X?via%3Dihub>

Koskinen & Peltonen (2011). TEHO-HANKKEEN JULKAISUJA 8/2011 Tehoa maatalouden vesiensuojeluun.

[https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94219/TEHO\\_hankkeen\\_raportteja\\_osa\\_5.pdf](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94219/TEHO_hankkeen_raportteja_osa_5.pdf)

Kotamäki N. (2018). Statistical methods for adaptive river basin management and monitoring / Niina Kotamäki. 2018. Jyväskylä studies in biological and environmental science, 34.

Kämäri M. (2018). Väitös: Leuto talvi ei lisännyt nitraattitypen kuormaa Vantaanjokeen, MARIA KÄMÄRI SPATIOTEMPORAL VARIATION OF SEDIMENT AND NUTRIENT DYNAMICS IN SEASONALLY ICE-COVERED RIVERS, Publications of the University of Eastern Finland Dissertations in Social Sciences and Business Studies No 184 University of Eastern Finland Joensuu 2018 väitös: [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Vaitos\\_Leuto\\_talvi\\_ei\\_lisannyt\\_nitraatti\(48611\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Vaitos_Leuto_talvi_ei_lisannyt_nitraatti(48611))

Lahti T. (2020). Tapio Lahti, Johtava Agronomi, Yara, Leipä leveämmäksi 1/2020 s.36-37, <https://ebook.aineisto.fi/Yara/leipaleveammaksi-1-2020/#p=10>

Leip et.al. (2015). Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., Simpson, D., Sutton, M.A., de Vries, W., Weiss, F., Westhoek, H., 2015. Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environ. Res. Lett.* 10, 115 004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004>.

chromeextension://mhnlakgilnojmhinhkckjpnpcpbhabphi/pages/pdf/web/viewer.html?file=http%3A%2F%2Fiopscience.iop.org%2Farticle%2F10.1088%2F1748-9326%2F10%2F11%2F115004%2Fpdf

Lounais-Suomen ympäristökeskus (2005). Yhdyskuntien jätevesien käsittely 2005, Lounais-Suomen ympäristökeskus, Risto lehtoranta: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134909/Yhdyskuntien%20j%C3%A4tevesien%20k%C3%A4sittely%202005.pdf?sequence=2>

LUKE (2023). Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 10/2023 Fosforin kierrätyksen tarve ja potentiaali kasvintuotannossa Synteesiraportti, Riitta Lemola, Risto Uusitalo, Sari Luostarinen, Elina Tampio, Johanna Laakso, Eeva Lehtonen, Annaliina Skyttä ja Eila Turtola, [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/553083/luke-luobio\\_10\\_2023.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/553083/luke-luobio_10_2023.pdf?sequence=8&isAllowed=y)

Luke (2018), Maan kasvukunto ja sen hoito, Pentti Seuri, Tutkija Luonnonvarakeskus, Mikkeli [Microsoft PowerPoint - 20180117 Maan kasvukunto ja orgaaninen lannoitus Pentti Seuri \(proagria.fi\)](https://proagria.fi)

Macintosh A. et.al. (2011). Low flow water quality in rivers; Septic tank systems and high-resolution phosphorus signals, Alahainen virtaama jokien veden laatu; saostussäiliöjärjestelmät ja korkearesoluutioiset fosforisignaalit, Machintosh, P.Jordan, R.Cassidy, J. Arnscheidt, C.Ward,

[Phttps://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969711011703?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969711011703?via%3Dihub)

Macintosh A. et.al. (2019). Transforming phosphorus use on the island of Ireland: A model for a sustainable system, Fosforin käytön muuttaminen Irlannin saarella: kestävän järjestelmän malli Katrina A. Macintosh ,Jason Chin ,Brent Jacobs ,Dana Cordell ,Richard W. McDowell ,Paul Butler ,Philip M. Haygarth ,Paul Williams ,John P. Quinn ,Vincent O'Flaherty ,John

W. McGrath <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718347454?via%3Dihub>

Mc Dowell RW. et.al. (2016). RW McDowell, RM Dils, AL Collins, KA Flahive, AN Sharpley & J. Quinn, A review of the policies and implementation of practices to decrease water quality impairment by phosphorus in New Zealand, the UK, and the US, Katsaus politiikkaan ja käytäntöihin, joilla vähennetään veden laadun heikkenemistä Uudessa-Seelannissa, Isossa-Britanniassa ja Yhdysvalloissa, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-015-9727-0>

Manninen N. et.al. (2018). Effects of agricultural land use on dissolved organic carbon and nitrogen in surface runoff and subsurface drainage, Maatalousmaankäytön vaikutukset liuenneen orgaanisen hiilen ja typen määrään pinta- ja maanalaisissa valumissa, Noora Manninen a, Helena Soinne a, Riitta Lemola s, Laura Hoikkala c d, Eila Turtola, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717326700?via%3Dihub>

Marttila H. et.al. (2020). Potential impacts of a future Nordic bioeconomy on surface water quality, Tulevan pohjoismaisen biotalouden mahdolliset vaikutukset pintaveden laatuun; [Hannu Marttila](#) , [Ahti Lepistö](#) , [Anne Tolvanen](#) , [Marianne Bechmann](#) , [Katarina Kyllmar](#) , [Artti Juutinen](#) [Hannah Weng](#) , [Eva Skarbøvik](#) , [Martyn Futter](#) , [Pirkko Kortelainen](#) , [Katri Rankinen](#) [Seppo Hellsten](#) , [Bjørn Kløve](#) , [Brian Kronvang](#) , [Øyvind Kaste](#) , [Anne Lyche Solheim](#) , [Joy Bhattacharjee](#) , [Jelena Rakovic](#) & [Heleen de Wit](#) , <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-020-01355-3>

MMM (2017). Ratkaisuja ja kehitysehdotuksia maatalouden ympäristöhaasteisiin MATO-tutkimusohjelman perusteella MAA- JA METSÄTALOUSMINISTERIÖN JULKAISUJA 2021:17 MIKKO KUUSSAARI TERHO HYVÖNEN JARI KOSKIAHO RIITTA LEMOLA SIRKKA TATTARI (TOIM.), [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163434/MMM\\_2021\\_17.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163434/MMM_2021_17.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Myrberg & Soomere (2013). Myrberg, K., Soomere, T. Suomenlahti, sen hydrografia ja kiertokulkudynamiikka. Julkaisussa: Soomere, T., Quak, E. (toim.) Preventive Methods for Coastal Protection. Springer, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-00440-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-00440-2_6)

PDFI (2023). Pohjoisten järvien fosforipitoisuuksien laaja synkronisaatio, joka liittyy talven lämpötilaan ja kesän sateisiin: [Peter DF Isles](#), [Irena F. Creed](#), [Dag O. Hessen](#), [Pirkko Kortelainen](#), [Michael Paterson](#), [Francesco Pomati](#), [James A. Rusak](#), [Jussi Vuorenmaa](#), [Ann-Kristin Bergström](#) 2023 <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lol2.10318>

Perttilä M. (2006). MERI, Report Series of the Finnish Institute of Marine Research No. 53 2006, MERIYMPÄRISTÖN KEMIAN PERUSTEET (2. uusittu painos) Matti Perttilä <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/5dcb365a-713e-409e-8580-d8aba1b6c78b/content>

Pietiläinen O-P. (1991). Pietiläinen, O.-P.; Rekolainen, S. Liuenneen reaktiivisen ja kokonaisfosforikuormitus maatalous- ja metsäaltaista pintavesiin Suomessa. Aqua Fenn. 1991, 21, 127-136.

Pietiläinen O-P. (1992). Pietiläinen, O.-P.; Ekholm, P. Eroosiomateriaalin alkuperä pienessä maatalouden valuma-altaassa Lounais-Suomessa. Aqua Fenn. 1992, 22, 105-110.

Pitkänen T. (2015). Mikrobiologiset jäljitysmenetelmät vesivarojen saastelähteiden tunnistamiseen, Tarja Pitkänen, THL, Vesi ja terveysyksikkö, [https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/129707/Pitk%E4nen\\_Vesitalous%206\\_2015.pdf?sequence=1](https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/129707/Pitk%E4nen_Vesitalous%206_2015.pdf?sequence=1)

Puustinen M. et.al. (2019). SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA

22 | 2019 KiertoVesi-hankkeen loppuraportti

Markku Puustinen, Sirkka Tattari, Sari Väisänen, Perttu Virkajärvi, Mari Rätty, Kirsi Järvenranta, Jari Koskiaho, Elina Röman, Ilkka Sammalkorpi, Risto Uusitalo, Riitta Lemola, Jaana Uusi-Kämpä, Ahti Lepistö, Turo Hjerppe, Juha Riihimäki, Jukka Ruuhijärvi

Puustinen M. (2023). Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta Helsingin yliopisto VIHMA-TYÖKALU PELTOVILJELYN KIINTOAINE- JA RAVINNEKUORMITUKSEN HALLINTAAN JA VESIENSUOJELUN TOIMENPITEIDEN SUUNNITTELUUN VALLITSEVASSA PELTOVILJELYN TOIMINTAYMPÄRISTÖSSÄ Markku Puustinen, Väitös 2023

<https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/dda1e248-2dfd-4a58-a416-f20eb654a4e3/content>

Rankinen K. et.al. (2016). Ilmaston ja maankäytön muutosten vaikutus ravinnevirtoihin Suomen joista, Itämereen, Katri Rankinen, Hanna Keinänen, José Enrique Cano Bernal, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880915300761>

Rankinen K. et.al. (2021). Vesi 2021, Nutrient Load Mitigation with Wintertime Cover as Estimated by the INCA Model, Ravinnekuormituksen vähentäminen talvisuojalla INCA-mallin arvioiden mukaan, Katri Rankinen, Eila Turtola, Riitta Lemola, martyn Futter, Jose Enrique Bernal <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/4/450>

RBMP, [https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en)

Rode M. e.al. (2016). Sensors in the Stream: The High-Frequency Wave of the Present, [Michael Rode.](#) , [Andrew J. Wade](#), [Matthew J. Cohen](#), [Robert T. Hensley](#), [Michael J. Bowes](#), [James W. Kirchner](#), [George B. Arhonditsis](#), [Phil Jordan](#), [Brian Kronvang](#), [Sarah J. Halliday](#), [Richard A. Skeffington](#), [Joachim C. Rozemeijer](#), [Alice H. Aubert](#),, [Karsten Rinke](#), [Seifeddine Jomaa](#): <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.6b02155#>

Räike, Taskinen & Knuutila (2020). Nutrient export from Finnish river into the Baltic Sea has not decreased despite water protection measures, Ravinteiden vienti Suomen, joista Itämereen ei ole vähentynyt vesiensuojelutoimenpiteistä huolimatta, Antti Räike, Antti Taskinen, Seppo Knuutila



s13280-019-01217-7 (1).pdf

Räty M. et.al. (2020). Mari Räty, Kirsi Järvenranta, Erkki Saarijärvi, Jari Koskiaho, Perttu Virkajärvi. Fosforin, typen, liuenneen orgaanisen hiilen ja maaperän häviöt pienestä maatalous-

ja

metsävesialueesta

Itä-Keski-

Suomessa



Losses-of-phosphorus--nitrogen--dissolved

SAVE (2018), Peltojen kipsikäsitteily maatalouden vesiensuojelukeinona, Peltojen kipsikäsitteily tuo kaivattua lisätehoa maatalouden vesiensuojeluun. Tässä tietopakettissa kerrotaan kipsikäsitteilyn toteutuksesta ja vaikutuksista nojaten tutkimukseen ja käytännön kokemuksiin, Markku Ollikainen, Petri Ekholm, Eliisa Punttila, Venla Ala-Harja, Juha Riihimäki, Samuli Puroila, Anna-Kaisa Kosenius & Antti Iho, <https://blogs.helsinki.fi/save-kipsihanke/files/2018/11/SAVE-hankkeen-tietopaketti-kipsik%C3%A4sittelyst%C3%A4.pdf>

SVT (2024), Suomen Virallinen Tilasto, Tilastokeskus, <https://www.stat.fi/meta/svt/index.html>

SYKE 2017, Open data. Finnish Environment Institute (the web service is mainly available in Finnish language). [http://www.syke.fi/en-US/Open\\_information](http://www.syke.fi/en-US/Open_information),

SYKE (2021). Jätevesien ravinteet kiertoon turvallisesti ja tehokkaasti, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18 | 2021, Suvi Lehtoranta, Riikka Malila, Päivi Fjäder, Vuokko Laukka, Jyri Mustajoki, Lauri Äystö, <https://helda.helsinki.fi/items/d899fb77-1a51-460e-8ee7-9f45441cea91>

SYKE (2021) -Vahingot. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 8 | 2021, Ympäristövahingot Suomessa vuosina 2013–2019 Jouko Tuomainen, Pia Högmander ja Outi Pyy, <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/db7e390a-bc99-4221-8ba0-2a20a1392ae1/content>

SWAT (2024), <https://swat.tamu.edu>

Valkama et.al (2010). SUOMEN MAATALOUSTIETEELLISEN SEURAN TIEDOTE NRO 261, Automaattimittauksilla tarkkaa tietoa maatalouden vesistökuormituksesta Pasi Valkama, Kirsti Lahti ja Asko Särkelä Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry Asemapäällikönkatu 12 C, 00520 Helsinki, <https://journal.fi/smst/article/view/75784/37166>

Tattari S. et.al., (2017) Suomen maatalous- ja metsäalueiden ravinnekuormitukset vuodesta 1981 vuoteen 2010 – näkykö toteutettujen vesiensuojelutoimien tehokkuus? Sirkka Tattari, Jari Koskiahho, Maiju Kosunen, Ahti Lepistö, Jarmo Linjama, Markku Puustinen  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-017-5791-z>

Turunseudunpuhdistamo, <https://turunseudunpuhdistamo.fi/ymparisto>

VPD: EU:n vesidirektiivi. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/74/vesien-suojelu-ja-hoito>

YM (2019). Ravinteiden kierrätyksen toimenpideohjelma 2019-2030 “Kokeiluista tuloksiin – ravinteiden kierrätyksestä arkea”  
[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ravinteiden-kierrätyksen-toimenpideohjelma-2019-2030-allekirjoitettu-D7F9043A\\_0090\\_4785\\_B029\\_9C119B566BDD-146284.pdf/3896ea79-abd4-8d86-7b1f-6e615e6fe054/Ravinteiden-kierrätyksen-toimenpideohjelma-2019-2030-allekirjoitettu](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ravinteiden-kierrätyksen-toimenpideohjelma-2019-2030-allekirjoitettu-D7F9043A_0090_4785_B029_9C119B566BDD-146284.pdf/3896ea79-abd4-8d86-7b1f-6e615e6fe054/Ravinteiden-kierrätyksen-toimenpideohjelma-2019-2030-allekirjoitettu)