



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# **MAANKÄYTÖN VAIKUTUKSET JOKIEN KUORMITUKSEEN**

Teemu Uutela

Ympäristötekniikka

Kandidaatintyö

Joulukuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Maankäytön vaikutukset jokien kuormitukseen

Teemu Uutela

Oulun yliopisto, Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2022, 25 s. + 2 liitettä

Työn ohjaajat: Heini Postila

Tämän työn tavoitteena oli tutkia valuma-alueen maankäyttäjakauman ja vastaavan valuma-alueen purkupisteen kuormituslukujen mahdollista yhteyttä. Maankäyttäjakaumat haettiin Ympäristökeskuksen ylläpitämästä VALUE-tietokannasta, ja vedenlaatutiedot Hertta-tietokannasta. Tarkasteltaviksi kuormitustekijöiksi valittiin typpi, fosfori, orgaaninen hiili ja kiintoaine. Tarkasteltava ajanjakso oli 2008–2018. Tarkasteltavat valuma-alueet pyrittiin valitsemaan tasaisesti pitkin rannikkoa, ja tarkasteluun valittiin kahdeksan valuma-aluetta. Tarkastelu suoritettiin laskemalla jokaiselle kuormitustekijälle hehtaarikohtainen kuormitusluku, ja vertaamalla eri valuma-alueiden vastaavia kuormituslukuja niiden maankäyttäjakaumaan.

Tulosten perusteella ei voitu nähdä yhteyttä hehtaarikohtaisten kuormituslukujen ja maankäyttäjakauman välillä, esimerkiksi maatalouden tai teollisuuden kohdalla, nitraattitypeä lukuun ottamatta. Hehtaarikohtaiseen kuormitukseen maankäyttäjakaumaa enemmän vaikuttavia tekijöitä ovat todennäköisesti muun muassa sateiden voimakkuus ja ajoittuminen, maaperän eroosioherkkyys ja topografia. Työssä tarkasteltiin valuma-aluekohtaisesti vain yhtä purkupistettä lähellä merta, josta hehtaarikohtainen kuormitus laskettiin. Tämä tarkastelu ei ota huomioon valuma-alueiden erilaisia taustakuormituksia ja sitä, kuinka merkittävästi vedenlaatu muuttuu esimerkiksi viljelymaakeskittymien kohdalla.

*Asiasanat: kuormitus, ravinteet, kiintoaine, valuma-alue, maankäyttäjakauma*

# ABSTRACT

The effects of land use on river loads

Teemu Uutela

University of Oulu, Degree Programme of Environmental Engineering

Bachelor's thesis 2022, 25 p., + 2 Appendixs

Supervisors: Heini Postila

The scope of this thesis was to study the possible correlation between the land use of a drainage basin and the load values of its extraction point to sea. The land use distribution values were from VALUE-database and load values from Hertta-database. The load factors used in this thesis were nitrogen, phosphorus, organic carbon and solid. The time period studied was from 2008 to 2018. The studied drainage basins were chosen evenly along the coastline, and 8 drainage basins were chosen for this study. The study was carried out by calculating load value per hectare for each load factor, and by comparing these values to the distribution of land use.

Based on these calculations, there wasn't clear correlation between load values per hectare and the land use distribution, for example for agriculture or industry. Probably the factors affecting more to load values per hectare are for example intensity and timing of rain, the sensitivity of soil to erosion and the topography of drainage basin. In this study, the load per hectare was calculated by using only the extraction point near the sea. This analysis ignores the difference in background loads and how much the water quality changes for example after cluster of fields.

*Key words: load, nutrients, solids, drainage basin, land use distribution*

# SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto .....	4
2 Maankäytön kuormitusvaikutukset .....	5
2.1 Kuormituslähteet .....	5
2.1.1 Hajakuormitus .....	6
2.1.2 Pistekuormitus .....	10
2.2 Kuormittavat tekijät.....	10
2.2.1 Typpi.....	11
2.2.2 Fosfori.....	12
2.2.3 Orgaaninen hiili .....	13
2.2.4 Kiintoaine .....	14
3 Valuma-alueet ja käytetyt menetelmät .....	15
3.1 Valuma-alueiden maankäyttökautta .....	16
3.2 Kuormituksen laskeminen.....	17
4 Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	19
4.1 Viljelysmaiden vaikutus .....	20
4.2 Asuinalueiden , teollisuuden, palveluiden ja liikenteen vaikutus .....	21
5 Pohdinta ja johtopäätökset .....	23
Yhteenveto .....	24

## LÄHDELUETTELO

### LIITTEET:

Liite 1. Valuma-alueiden kuormitustiedot ja maankäyttö

Liite 2. Valuma-alueiden hehtaarikuormitus

# 1 JOHDANTO

Maankäytöstä ja muusta ihmistoiminnasta aiheutuu melkein aina ravinne- tai kiintoainekuormitusta vesistöihin. Kuormitusta syntyy muun muassa maatalouden ja metsätalouden seurauksena, haja-asutuksesta jätevesistä ja teollisuuden päästöistä. Kuormitus aiheutuu pääasiassa fosforista, typestä, kiintoaineesta ja orgaanisesta aineksesta, kuten humuksesta. (Tattari et al., 2015.)

Työssä on tarkoituksena tarkastella valuma-alueiden maankäytön mahdollisia vaikutuksia ja piirteitä valuma-alueen vesistökuormitukseen hakemalla Ympäristökeskuksen VALUE-karttapalvelusta tiettyjen valuma-alueiden koko ja maankäyttöjakauma, ja vertaamalla sitä valuma-alueen purkupisteen vedenlaatutietoihin. Tarkasteluun valittiin kahdeksan valuma-aluetta pitkin rannikkoa aina Vaalimaanjoen vesistöalueesta pohjoisen Kaakamojoen vesistöalueeseen. Tarkasteluun otetut valuma-alueet valittiin mahdollisimman pieniksi, jotta taustakuormituksen, metsän ja suon osuus ei olisi yhtä merkittävä, kuin suuremmilla valuma-alueilla. Purkupisteiden vedenlaatutiedot haettiin ympäristökeskuksen hallinnoimasta Hertta-järjestelmästä.

Tarkasteltaviksi kuormitustekijöiksi valittiin pääravinteet typpi ja fosfori sekä kiintoaine ja orgaaninen kokonaishiili. Nämä ovat merkittävimpiä vesistöjen kuormittavia tekijöitä, vaikka paikallisesti jokin muu tekijä, kuten raskasmetallipitoisuus, voi nousta merkittäväksi tekijäksi. Fosforista ja typestä tarkasteluun valittiin vielä erikseen liukoinen typpi ja fosfori kuvaamaan helposti kasvien käytössä olevia ravinteita. Kyseiset tiedot haettiin vuosilta 2008–2018, ja näiden perusteella laskettiin keskiarvo kullekin kuormitustekijälle. Virtaamatietojen ja vedenlaatutietojen pohjalta kullekin valuma-alueelle laskettiin ravinnekohtainen hehtaarikuormitus, jota verrataan valuma-alueen maankäyttöjakaumaan.

## 2 MAANKÄYTÖN KUORMITUSVAIKUTUKSET

Maankäytöstä seuraa erilaisia päästöjä ja kuormitusta vesistöihin, ilmaan ja maaperään. Luonnollista kuormitusta aiheutuu maaperän eroosion seurauksena, kun tuuli, sade tai virtaava vesi irrottaa maaperästä partikkeleita. Nämä maapartikkelit kulkeutuvat pääasiassa valumavesien mukana vesistöihin, jolloin puhutaan kiintoainekuormasta. Ihmistoiminta, eli maankäyttö vaikuttaa kuitenkin merkittävästi tähän eroosion ja kuormituksen määrään ja voimakkuuteen. Eroosio on yleensä suurinta kasvukauden ulkopuolella, kun kasvusto ei enää sido ravinteita eikä maapartikkeleita. Kuormitusta aiheutuu myös päästölassekumana esimerkiksi teollisuuden ja liikenteen päästöistä. (Tattari et al. 2015).

Eri maankäyttömuodot aiheuttavat voimakkuudeltaan ja sykliltään erilaista kuormitusta valuma-alueensa vesistöihin. Kuormituksen voimakkuuteen vaikuttaa muun muassa kuormituslähteen ala, sääolosuhteet, tuotantovaihe joillakin teollisuuden aloilla, kuten turvetuotannossa ja metsätaloudessa, kuormitusta voimistavat tai vähentävät toimenpiteet ja valuma-alueen ominaisuudet (Finer et al. 2020). Erityisesti hydrologiset olosuhteet vaikuttavat merkittävästi hetkellisiin kuormituksiin. Esimerkiksi kevättulvat voivat aiheuttaa merkittäviä kuormituspiikkejä turvetuotantoalueilla, jos vesienkäsittelyn kapasiteettia ei ole mitoitettu kunnolla, ja voimakkaat sateet lisäävät valuntaa ja maan eroosiota lisäten kiintoainekulkeumaa. Myös maatalousmaiden kiintoaine- ja ravinnekuormitus lisääntyy merkittävästi kovien sateiden ja tulvien aikana, varsinkin kynnyillä pelloilla keväällä ja syksyllä, kun pellolla ei ole kasvipeitettä. (Tattari et al. 2015).

### 2.1 Kuormituslähteet

Maankäytön aiheuttama kuormitus vesistöihin on joko haja- tai pistekuormitusta. Merkittävimmät vesistöjen kuormituslähteet Suomessa ovat maatalous, metsätalous ja haja-asutus. Kuormituslähteiden merkittävydessä on paikallisesti suuria eroja, esimerkiksi valuma-alueilla, jossa turvetuotantoa on paljon. Muita merkittäviä kuormituslähteitä ovat jätevedenpuhdistamot ja laskeuma eli taustakuormitus.

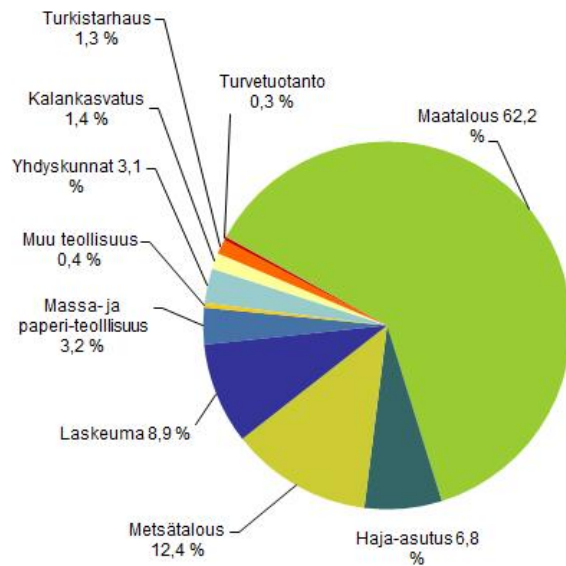
Maankäytön aiheuttaman kuormituksen lisäksi vesistöihin tulee luonnollista kuormitusta eli taustakuormitusta. Luonnonkuormitukseen lasketaan myös laskeumat valuma-alueelle ja suoraan vesistöihin. Kuormitusvaihteluita arvioitaessa tulee maa- ja metsätalouden sekä turvetuotannon osalta kiinnittää huomiota siihen, mikä osa vaihtelusta johtuu ihmisen toimenpiteistä, ja mikä olosuhteista, kuten hydrologiasta, tuotantovaiheesta ja vuodenaajasta. Maataloudessa kuormitus on suurinta yleensä keväisin ja syksyisin kynnöistä ja sademääristä johtuen, kun taas metsätaloudessa ja turvetuotannossa tuotantovaiheella on merkittävä vaikutus vuotuisiin kuormituksiin. Kuormitusta tulisi siis tarkastella vuosittaisena tai pidemmän ajan keskiarvona. (Kenttämies & Mattsson 2006.)

### **2.1.1 Hajakuormitus**

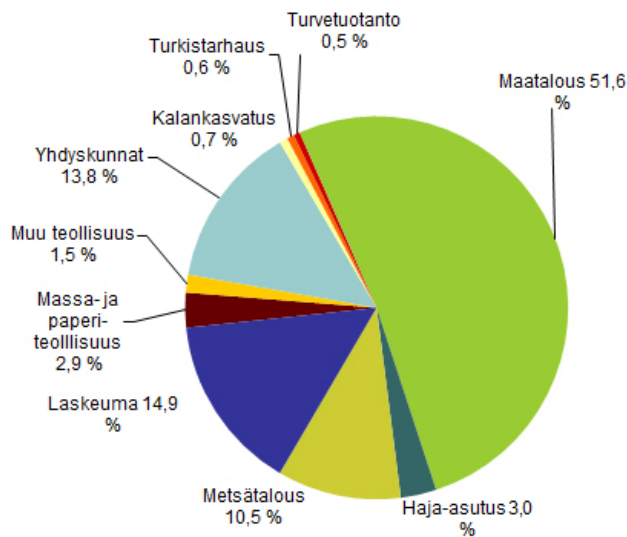
Hajakuormituksen tarkkaa päästölähdettä ei voida paikallistaa, vaan kuormitusta aiheutuu laajalta alueelta, kuten maa- ja metsätaloudesta ja haja-asutuksesta. Kuormitus johtuu yleensä pintavalunnan mukana kulkeutuvasta kiintoaineesta ja ravinteista, ja päästöjen aiheuttamasta laskeumasta. Laskeuma on joko kuivalaskeumaa, suoraan ilmasta tulevaa, tai märkälaskeumaa, eli sadeveden mukana tulevaa laskeumaa. Maankäytön kuormituksen lisäksi luonnollinen kuormitus esimerkiksi soilta ja metsistä aiheuttaa niin sanotun taustakuormituksen. Hajakuormitus aiheuttaa n. 80 % fosforin ja n. 59 % typen kokonaiskuormituksesta, pistekuormitus noin 14 % fosforin ja noin 25 % typen kuormituksesta. Laskeuma aiheuttaa lopun kuormituksen ja on typen osalta merkittävä tekijä, noin 16 % kaikesta kuormituksesta. Osa tästä laskeumasta on peräisin luonnollisista lähteistä, kuten maasto- ja metsäpaloista ja maaperän normaalista biologisesta toiminnasta, osa ihmistoiminnan seurausta, kuten teollisuuden ja liikenteen typpipäästöt. (Suomen ympäristökeskus 2013)

Maatalous on ylivoimaisesti merkittävin vesistöjen hajakuormittaja (Kuvat 1 ja 2). Maatalous aiheuttaa fosforipäästöjen osalta esimerkiksi Perämerellä noin puolet ja Saaristomerellä jopa yli kolme neljäsosaa kaikesta kuormituksesta. Suurin rehevöittävä vaikutus on fosforilla ja tyvellä, lisäksi vesistöihin kulkeutuu kiintoainesta ja orgaanista hiiltä sisältävää ainesta (Suomen ympäristökeskus 2013). Itämeren kokonaisfosforikuormituksen osalta maatalouden jälkeen merkittävin kuormituslähde on

pääasiassa haja-asutus, mutta Perämerellä metsätalous (Kuva 3, Suomen ympäristökeskus, 2015).

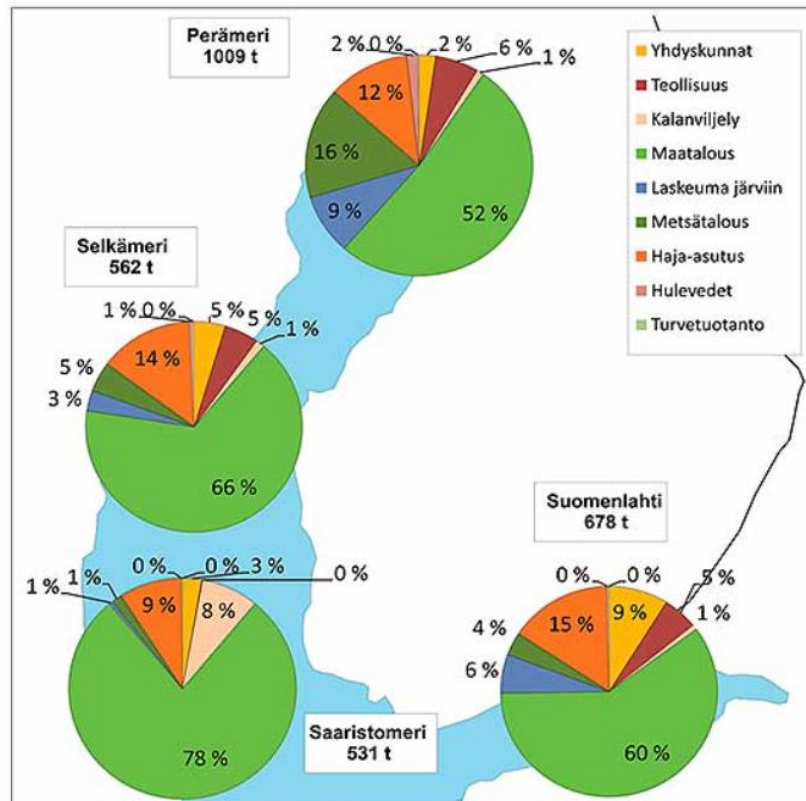


Kuva 1. Fosforipäästölähteet Suomessa 2019 (Suomen ympäristökeskus 2013, päivitetty 2021)



Kuva 2. Typpipäästölähteet Suomessa 2019 (Suomen ympäristökeskus 2013, päivitetty 2021)





Kuva 3. Ihmistoiminnasta aiheutunut keskimääräinen fosforikuorma 2008–2012 (Suomen ympäristökeskus 2015)

Maatalouden kuormitus syntyy sadeveden aiheuttamasta pintavalunnasta, kun liuenneita ravinteita ja kiintoainesta kulkeutuu sen mukana vesistöihin. Kiintoainekuormitusta syntyy, kun pellot syksyllä kynnetään ja maa on paljas, jolloin sade ja pintavalunta irrottaa maa-ainesta pellon pinnasta. Ravinnehuutoumien määrään vaikuttaa muun muassa lannoitustasot, maan kaltevuus, sääolot, viljelykasvi ja pellolla suoritettavat toimenpiteet.

1990-luvulla maatalouden suuriin ravinnepestöihin ja niiden vesistövaikutuksiin herättiin, ja ympäristötukitoimien kautta kuormitusta on saatu selvästi pienennettyä erityisesti fosforin osalta. Merkittävä tekijä tähän on ollut karjanlannan käytön vähentäminen lannoitteena, sekä tarkennetut lannoitusmäärät aikaisemman ”varmuuden vuoksi” -lannoituksen sijaan. Lanta, erityisesti lehmänlanta sisältää paljon liukoista fosforia, jolloin ylimääräinen fosfori on kulkeutunut vesistöihin. (Maa- ja Metsätalousministeriö 2008). Maatalouden aiheuttamat ravinnepestöt ja niiden rehevöittävä vaikutus korostuu Suomessa, jossa vesistöt ovat usein suhteellisen matalia ja vesitilavuus näin ollen pieni. Erityisesti Itämeri on kovan kuormituksen alla, ja matalana merenä, jossa veden viipymä on pitkä, se on erityisen altis rehevöitymiselle.

Tämä näkyy esimerkiksi pahoina sinileväongelmina kesäisin. (Suomen ympäristökeskus 2014)

Metsäntutkimuslaitoksen mukaan metsätalous aiheuttaa merkittävää kiintoaineen ja orgaanisen hiilen kuormitusta vesistöihin (Luonnonvarakeskus 2012), kun taas kokonaiskuormitus on vain noin viisi prosenttia fosforin ja neljä prosenttia typen osalta. Paikallisesti metsätalouden toimenpiteillä voi olla suuriakin vaikutuksia myös typen ja fosforin osalta, etenkin latvavesistöissä. Uusimman tutkimustiedon mukaan metsäojituksilla ja muilla metsänhoitotoimenpiteillä on mahdollisesti paljon suurempia ja pitkäaikaisempia kuormitusvaikutuksia, kuin aikaisemmin on arvioitu (Finer et al. 2020). Metsätalouden kuormitus aiheutuu pääasiassa lannoituksesta, kunnostusojituksista ja päätehakkuista. Muiden toimenpiteiden, kuten harvennushakkuiden kuormitusvaikutukset ovat näihin verrattuna niin pienet, ettei niitä huomioida kuormitusarvioinneissa (Kenttämies & Mattsson 2006). Metsätalouden aiheuttama kuormitus on suurinta Perämeren alueella. Kuormituksen voimakkuuteen vaikuttaa merkittävästi metsän tuotantovaihe ja ojitukset. Metsän tuotantocykli on yleensä noin 80–100 vuotta sijainnista ja kasvatettavasta puulajista riippuen, ja tuotantovaiheella on merkittävä vaikutus kuormituksen suuruuteen. (Tattari et al. 2015)

Turvetuotannon aiheuttama kuormitus fosforin ja typen osalta on vain alle prosentin kokonaiskuormituksesta (Suomen ympäristökeskus 2013). Turvetuotannon kokonaispinta-ala vuonna 2017 oli noin 0,7 % koko maapinta-alasta (Tattari et al. 2015). Turvetuotanto voi aiheuttaa kuitenkin paikallisesti merkittävän kuormituksen vesistöihin, ja erityisesti kiintoaine- ja humuskuormitus on aiheuttanut joillakin alueilla ongelmia vesistöjen virkistyskäytölle. Turvetuotannosta aiheutuu alkuvaiheessa ojituksen yhteydessä suuri kiintoainekuormitus vesistöihin, joten vesiensuojelurakenteiden tulisi olla alusta asti hyvin mitoitettu ja toimintakunnossa. Turvetuotantoalueelta tuleva kiintoaine voi pilata uimarantoja, kalojen kutupaikkoja ja värjätä veden ruskeaksi. Turvetuotannossa on tärkeää, että turvetuotantoalueelta lähtevät vedet saadaan ohjattua vesienkäsittelyyn, esimerkiksi laskeutusaltaisiin ja pintavalutuskentille. Vesienkäsittelyssä tulee varautua tulviin, sillä jos vesienkäsittelykapasiteetti ylittyy, alueelta pääsee valumaan veden mukana runsaasti kiintoainetta ja ravinteita vesistöihin. (Klöve et al. 2012)

### 2.1.2 Pistekuormitus

Pistekuormituslähde tarkoittaa paikallista tarkasti määriteltyä päästölähdettä. Näitä ovat ensisijaisesti yhdyskuntien jätevedet, teollisuuden päästöt vesistöihin ja ilmaan, sekä kalankasvatus. Koska pistekuormituslähteet on helppo paikallistaa, on kuormitukseen mahdollista puuttua paremmin. (Suomen Ympäristökeskus 2015). Esimerkiksi typen pistekuormitus Itämereen laski noin puoleen 1990–2013 aikana. Merkittäviä tekijöitä ovat olleet erityisesti jätevesien ja teollisuuden savukaasujen käsittelyn parantuminen. (Luonnonvarakeskus 2019).

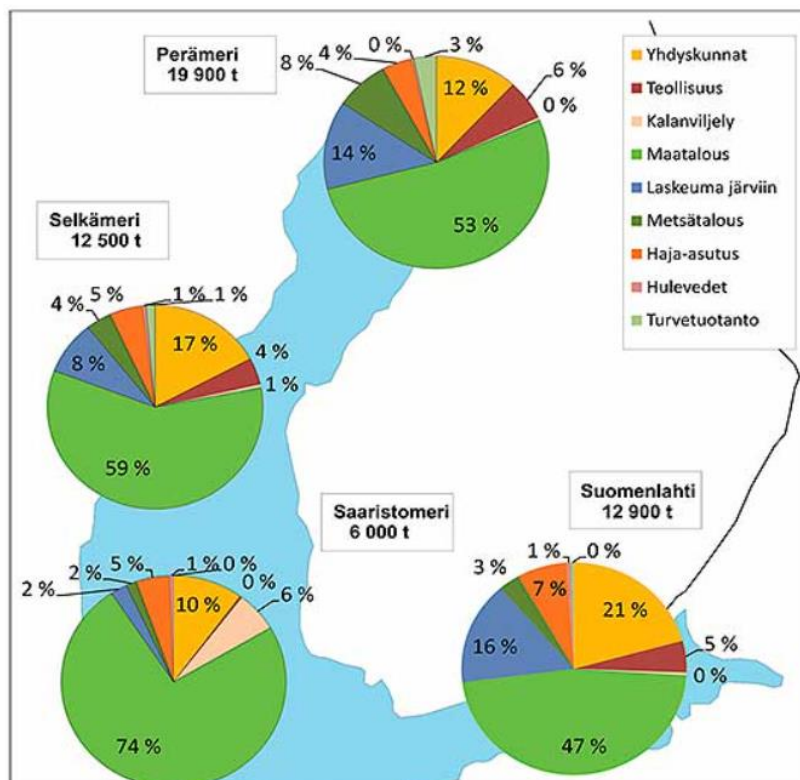
## 2.2 Kuormittavat tekijät

Merkittävimmät vesistöjen kuormittavat tekijät ovat fosfori, typi ja kiintoaines, joita kulkeutuu vesistöihin eri piste- ja hajakuormituslähteistä. Valuma-alueilta tuleva kuormitus vaihtelee vuosittain paljon muun muassa vaihtelevien hydrologisten olojen takia. Muun muassa voimakkaat kevättulvat ja rankkasateet pellon ollessa paljaana lisäävät huomattavasti ravinne- ja kiintoainekuormitusta vesistöihin. (Tattari et al. 2015.) Typi ja fosfori ovat kasvien ja levien perusravinteita, joten näiden ravinteiden määrän kasvu vesistöissä tarkoittaa yleensä vesistön biomassan kasvua eli rehevöitymistä. Fosfori on monissa Suomen vesistöissä minimitekijä eli eniten kasvua rajoittava ravinne, mutta Itämeressä hieman vuodenajasta riippuen typellä on merkittävämpi vaikutus kasvuun. (Rankinen et al. 2016.)

Orgaaninen aines ei suoraan aiheuta rehevöitymistä, mutta kuluttamalla happea se saattaa aiheuttaa hapettomuutta ja näin aiheuttaa ravinteiden vapautumista pohjasedimentistä ja lisäksi aiheuttaa rantojen ja pohjan liettymistä. Orgaanisen aineksen pitoisuus voidaan ilmoittaa orgaanisen hiilen kokonaismääränä (TOC), kemiallisena hapenkulutuksena (COD) tai biologisena hapenkulutuksena (BOD). Orgaanisen aineksen määriä ei ole mitattu yhtä kattavasti kuin typen, fosforin ja kiintoaineen. Vesistöihin päätyvä kiintoaines aiheuttaa vesistöjen rantojen ja pohjan liettymistä sekä umpeenkasvua ja sameuttaa vettä. (Tattari et al. 2015).

## 2.2.1 Typpi

Typpi on kasvien perusravinne, jota kasvi tarvitsee kasvuunsa eniten. Suomen typpipäästöt Itämereen eivät ole merkittävästi pienentyneet viime vuosina, vaikka vesiensuojelutoimenpiteitä on tehty kaikilla toimialoilla. Suojakaistoista, kosteikoista, tarkennetusta lannoituksesta, teollisuuden ympäristönsuojelusta ja monista muista toimenpiteistä huolimatta Suomen typpikuorma Itämereen on noin 10 % Itämeren valuma-alueen kokonaiskuormituksesta. Suomen typpikuormituksen vähentämisessä oleellisinta on maatalouden kuormituksen vähentäminen, koska maatalous aiheuttaa yli puolet Itämereen päätyvästä typpikuormasta (Kuva 4). (Palomäki 2011.) Toisaalta typpikuormituksen vähentämisellä ei saavuteta välttämättä rehevöitymisen kannalta merkittäviä vaikutuksia, koska monet sinilevät pystyvät hyödyntämään myös ilmakehän typpeä kasvuunsa (Shapiro 1990). Joidenkin tutkimusten mukaan typpikuormituksen vähentäminen saattaa aiheuttaa jopa enemmän haittaa kuin hyötyä Itämeren tilaan (Palomäki 2011).



Kuva 4. Ihmistoiminnasta aiheutunut keskimääräinen typpikuorma vuosina 2008–2012 (Suomen ympäristökeskus 2015)

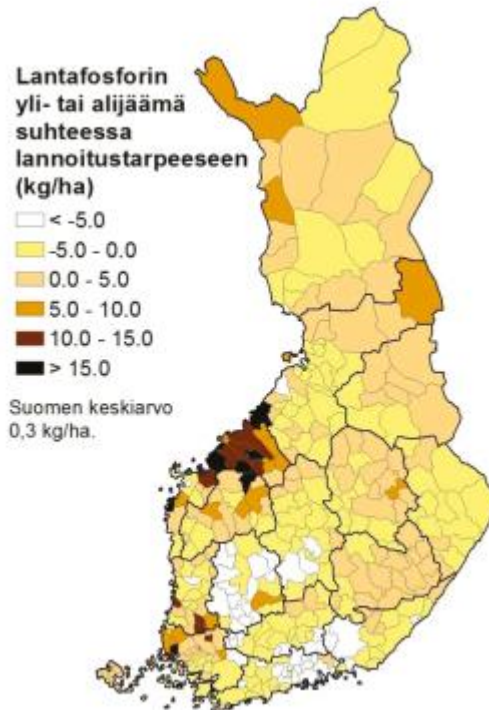
### 2.2.2 Fosfori

Fosfori on yksi kasvien perusravinteista. Monissa Suomen vesistöissä fosfori on myös minimiravinne eli eniten kasvua ja sitä kautta rehevöitymistä rajoittava tekijä. Kokeissa on havaittu, että noin 75 % vesistöihin kulkeutuvasta fosforista sitoutuu pohjasedimenttiin ja noin 30 % fosforista on liukoisena fosfaattifosforina  $\text{PO}_4^{3-}$  esimerkiksi levien käytettävissä. Levien pintavedessä sitoma fosfori vajoaa orgaanisena hiukkasaineksena pohjalle, jossa se muuttuu hajotustoiminnan kautta takaisin epäorgaaniseen muotoon. Fosfori on yleensä sedimentissä sitoutunut niukkaliukoiseen rauta(III)fosfaattiin. Kun happiolosuhteet heikkenevät tarpeeksi, muuttuu rauta(III)fosfaatti anaerobisten bakteerien toiminnan seurauksena liukoiseen muotoon, ja samalla siihen sitoutunut fosfori vapautuu veteen fosfaattifosforina, ja on sen jälkeen käytettävissä levien kasvuun. Myös runsas särkikalojen määrä aiheuttaa fosforin vapautumista sedimentistä kalojen etsiessä pohjasta ravintoa, mikä vapauttaa sedimentin vapautumisen veteen ja sen hapettumisen. (Palomäki 2001). Kolmas tekijä sisäisen kuormituksen kasvuun on vesistön kohonnut pH, mikä lisää osaltaan fosforin vapautumista (Hellsten 2020).

Maatalouden fosforikuormituksessa oleellista on hyvä fosforitase, koska lannassa ja lannoituksessa käytetty fosfori on helppoliukoista ja päätyy helposti valumavesien mukana vesistöihin. Erityisesti kotieläintuotantovaltaisilla alueilla peltojen helppoliukoisen fosforin määrät ovat suuria runsaan lannanlevityksen takia. Suomessa lannoitukseen käytettävästä fosforista noin 65 % on peräisin lannasta tai muista kierrätyslannoitevalmisteista. Fosforilannoituksessa olisikin ravinnehuuhtoumien välttämiseksi erittäin oleellista perustaa lannoitusmäärät pellon helppoliukoisen fosforin määrään ja kasvien arvioituun tarpeeseen, jotta Kuvan 5 mukaisia ylilannoituksia ei tapahtuisi. Fosforin kierrätyksessä oman haasteen on tuonut kasvinviljelyn ja kotieläintuotannon eriytyminen monella alueella, jolloin lantaa syntyy joillakin tuotantoalueilla yli tarpeiden, kun taas joillakin alueilla lannoitus perustuu enemmän väkilannoitteisiin. (Marttinen et al. 2017).

Vaikka fosforikuormaa on saatu pienennettyä noin 80 % tavoitellusta vähennyksestä, ei Itämeren rehevöitymisessä ole havaittu merkittävää muutosta. Rehevöitymiseen on siis muitakin syitä, kun pelkästään valumavesien mukana kulkeutuva fosforikuorma. Yhtenä

merkittävimpana syynä Itämeren nykyiseen tilaan pidetään suolavesipuls sien harventumista, jolloin pohjien happitilanne heikkenee ja samalla kiihdyttää sisäistä kuormitusta. (Lappalainen 2018).



Kuva 5. Lantafosforin määrä lannoitustarpeeseen nähden (Marttinen et al. 2017)

### 2.2.3 Orgaaninen hiili

Vesistöissä oleva orgaaninen hiili on joko liukoisessa muodossa (DOC), tai partikkelimaisessa muodossa kiinnittyneenä kiintoainekseen (Manninen & Soinne 2018). Heterotrofiset, eli toisenvaraiset eliöt, jotka eivät itse pysty tuottamaan tarvitsemaansa energiaa, voivat käyttää orgaanista hiiltä energianlähteenä ja kasvuun. Orgaaninen aines vaikuttaa myös veden kirkkauteen. Tällä veden tummumisella voi olla merkittäviä vaikutuksia vesistön ekologiaan valon vähenemisen ja pintakerroksen voimakkaamman lämpenemisen kautta. Tämä vaikuttaa eliöiden keskinäiseen tasapainoon muun muassa pienentämällä syvemmällä olevien, valoa yhteyttämiseensä tarvitsevien, yhteyttävien levien määrää. Vaikka metsätalous on merkittävä orgaanisen hiilen lähde vesistöjen kuormittajana, on myös maataloudella suuri merkitys kokonaiskuormitukseen.

Ympäristökeskuksen tutkimuksen mukaan liunneen orgaanisen hiilen määrällä jokivesissä ja vastaavan valuma-alueen peltopinta-alalla on selvä yhteys. Lähtökohtaisesti suurin liunneen hiilen kuormitus tulee soilta ja muilta eloperäisiltä mailta. Eri tutkimusten mukaan vesistöihin kulkeutuvan hiilen määrä on kasvanut viime vuosikymmenten aikana eri syistä johtuen, joista yksi on hiilidioksidimäärän kasvu ilmakehässä. Kun hiilidioksidin määrä ilmakehässä on kasvanut, niin sitä kautta myös hiilen määrä maaperässä ja vesistöissä on kasvanut. Hiilen määrän kasvuun vesistöissä on vaikuttanut myös maaperän lämpötilan nousu, sekä voimakkaammat vaihtelut sateen ja kuivien jaksojen välillä. Vesistöihin kulkeutuva hiili ei pelkästään aiheuta vesistöille ongelmaa, vaan mikrobitoiminnan kautta osa siitä muuttuu hiilidioksidiksi ja metaaniksi, mikä taas lisää päästöjä ilmakehään. (Sarkkola & Nieminen 2014.)

#### **2.2.4 Kiintoaine**

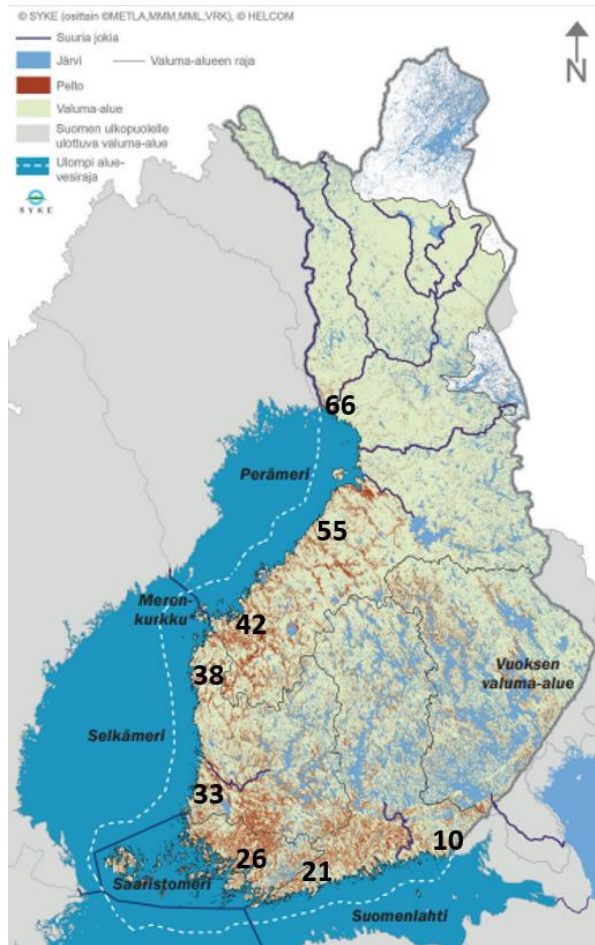
”Kiintoaineen määrä kuvaa vedessä olevaa hiukkasmaista ainesta. Määrittäminen tehdään suodattamalla tietty vesimäärä tiheän kalvon läpi, joka kuivataan ja punnitaan. Tulos ilmoitetaan mg/l.” (Oravainen, 1999). Jätevedenpuhdistamoilta ja eroosion seurauksena eri maa-alueilta vesistöihin kulkeutuvan kiintoaineen lisäksi levät ja muu biomassa nostavat kiintoainepitoisuutta. Hieno kiintoaine on 0,4 µm suodattimelle jäänyt kiintoaine (Suomen ympäristökeskus 2016), ja karkea kiintoaine on todennäköisesti GF/C eli noin 1,2 µm suodattimelle jäänyt kiintoaine, vaikka tätä tietoa ei Hertta-tietokannassa mainittukaan.

### 3 VALUMA-ALUEET JA KÄYTETYT MENETELMÄT

Suomen vesistöt on jaettu 74 päävesistöalueeseen, jotka käytännössä tarkoittavat valuma-alueita (Suomen ympäristökeskus 2019). Lähes kaikki Suomen valumavedet päätyvät Itämereen, pois lukien ainoastaan Pohjois-Lapin ja Koillismaan itäosien valumavedet, jotka päätyvät Barentsinmeren ja Vienanmeren kautta Jäämereen (Kuva 6). Valuma-alueiden koko vaihtelee huomattavasti, pienistä noin 200 km<sup>2</sup> kokoisista valuma-alueista suuriin yli 20000 km<sup>2</sup> kokoisiin valuma-alueisiin. Eri valuma-alueiden ominaisuudet, kuten maankäyttöjakauma, vuotuiset lumi- ja sademäärät, topografia ja vallitseva maalaji, vaihtelevat myös suuresti. Kaikki nämä edellä mainitut asiat vaikuttavat muun muassa syntyvään pintavaluntaan ja sen mukana kulkeutuvaan ravinne- ja kiintoainekuormitukseen, eli hehtaarikohtaiseen kuormitukseen. Valuma-alueiden jokien keskivirtaamat on arvioitu eri lähteistä löytyvien arvojen avulla. Vaihtelut virtaamissa kuukausittain ja vuosittain ovat suuria vuodenajasta ja sääoloista riippuen, joten keskivirtaama on vain suuntaa antava arvio kuormituksia laskettaessa. Esimerkiksi tulva-aikana maatalousmaiden kiintoainekuormitus voi olla jopa monikymmenkertaista normaalioloihin verrattuna, ja suurin osa maatalousmaiden kuormituksesta aiheutuukin tulva-aikana.

Valuma-alueiden ja niihin liittyvien purkupisteiden vedenlaatutietojen perusteella on laskettu kullekin valuma-alueelle vuosittainen hehtaarikuormitus, ja näitä tuloksia vertaillaan purkupisteiden vedenlaatutietojen lisäksi keskenään. Tuloksiin aiheuttaa jonkin verran virhettä purkupisteiden vuosittainen keskivirtaaman vaihtelu, ja se, ettei kaikille alueille edes löytynyt suoraa virtaamalukua. Keskimääräinen virtaama arvioitiin näissä tapauksissa eri lähteistä, kuten raporteista ja muista selvityksistä.





Kuva 6. Itämeren valuma-alue Suomessa (Suomen ympäristökeskus 2014).

### 3.1 Valuma-alueiden maankäyttöjakauma

Tätä työtä varten tarkasteltaviksi valuma-alueiksi valittiin Taulukon 1 mukaiset valuma-alueet. Vesistötunnus on merkitty kunkin valuma-alueen alkuun. Kuvaan 6 on merkitty valuma-alueiden sijainti. Valituista valuma-alueista Kyrönjoen vesistö on selvästi suurempi, kuin muut, mutta valittiin tarkasteluun, koska alueella on paljon maatalousmaata ja turkistarhausta.

Taulukko 1. Valuma-alueet ja niiden tiedot

Vesistötunnus	Valuma-alue	Pinta-ala km <sup>2</sup>	keskivirtaama MQ m <sup>3</sup> /s
10	Vaalimaanjoen vesistö	241	3
21	Vantaanjoen vesistö	1681	16
26	Halikonjoen vesistö	293	1
33	Lapinjoen vesistö	465	3,3
38	Teuvanjoen vesistö	525	5,5
42	Kyrönjoen vesistö	4828	44
55	Liminkaojan vesistö	169	2
66	Kaakamojoen vesistö	455	7

Tarkasteltavat valuma-alueet pyrittiin valitsemaan tasaisesti pitkin rannikkoa. Tarkasteluun päätyi kahdeksan valuma-aluetta, joiden ala vaihtelee Liminkaojan valuma-alueen 169 km<sup>2</sup>:sta Kyrönjoen 4828 km<sup>2</sup>:iin. Valuma-alueiden maankäyttöjakaumassa (Liite 1) suurin ero on maataloudessa, jonka osuus pinta-alasta vaihtelee noin 3 % ja 37 % välillä. Metsien osuus kaikilla valuma-alueilla on vähintään puolet alasta. Asuinalueiden, teollisuuden, palveluiden ja liikenteen osuus alasta on moninkertainen Vantaanjoen valuma-alueella muihin valuma-alueisiin verrattuna, mikä selittyy pääkaupunkiseudun suurella asukasmäärällä. Näiden maankäyttömuotojen osuus Vantaanjoen valuma-alueesta on yhteensä 15,4 %, kun seuraavaksi suurin osuus on Halikonjoen valuma-alueella, yhteensä 4,4 %. Muilla valuma-alueilla osuus jää alle neljään prosenttiin. Suoalueiden osuus vaihtelee Vantaanjoen valuma-alueen 0,5 %:sta Kaakamojoen valuma-alueen 6,7 %:iin. (Suomen ympäristökeskus 2019).

### 3.2 Kuormituksen laskeminen

Valuma-aluekohtaisen kuormituksen laskemista varten haettiin kullekin joelle keskimääräinen virtaama. Arviota Kaakamojoen ja Vaalimaanjoen keskivirtaamasta ei suoraan löytynyt, vaan se arvioitiin keskimääräisen sadannan perusteella. Vuosittainen keskimääräinen hehtaarikohtainen kuormitus on laskettu keskimääräisten vuosivirtaamien, vedenlaatutietojen ja valuma-alueiden pinta-alojen avulla, yhtälön (1) avulla:

$$K = (MQ \cdot T \cdot R) / A \quad (1)$$

missä  $K$  = hehtaariohtainen vuosikuormitus [kg/ha]

$MQ$  = keskimääräinen virtaama [l/s]

$T$  = vuosi, sekunteina [s]

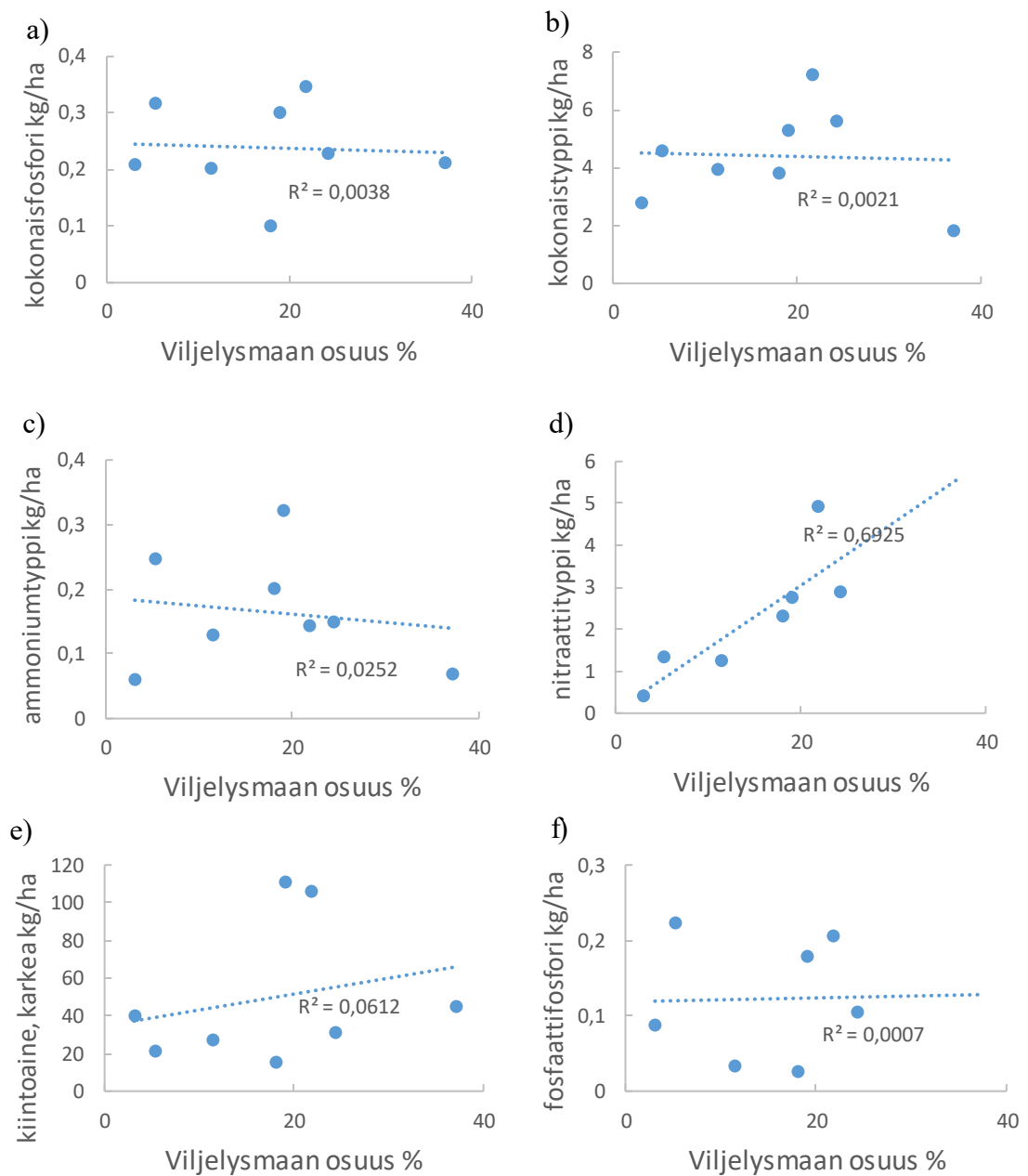
$R$  = keskimääräinen ravinnepitoisuus [kg/l]

$A$  = valuma-alueen ala hehtaareina [ha]

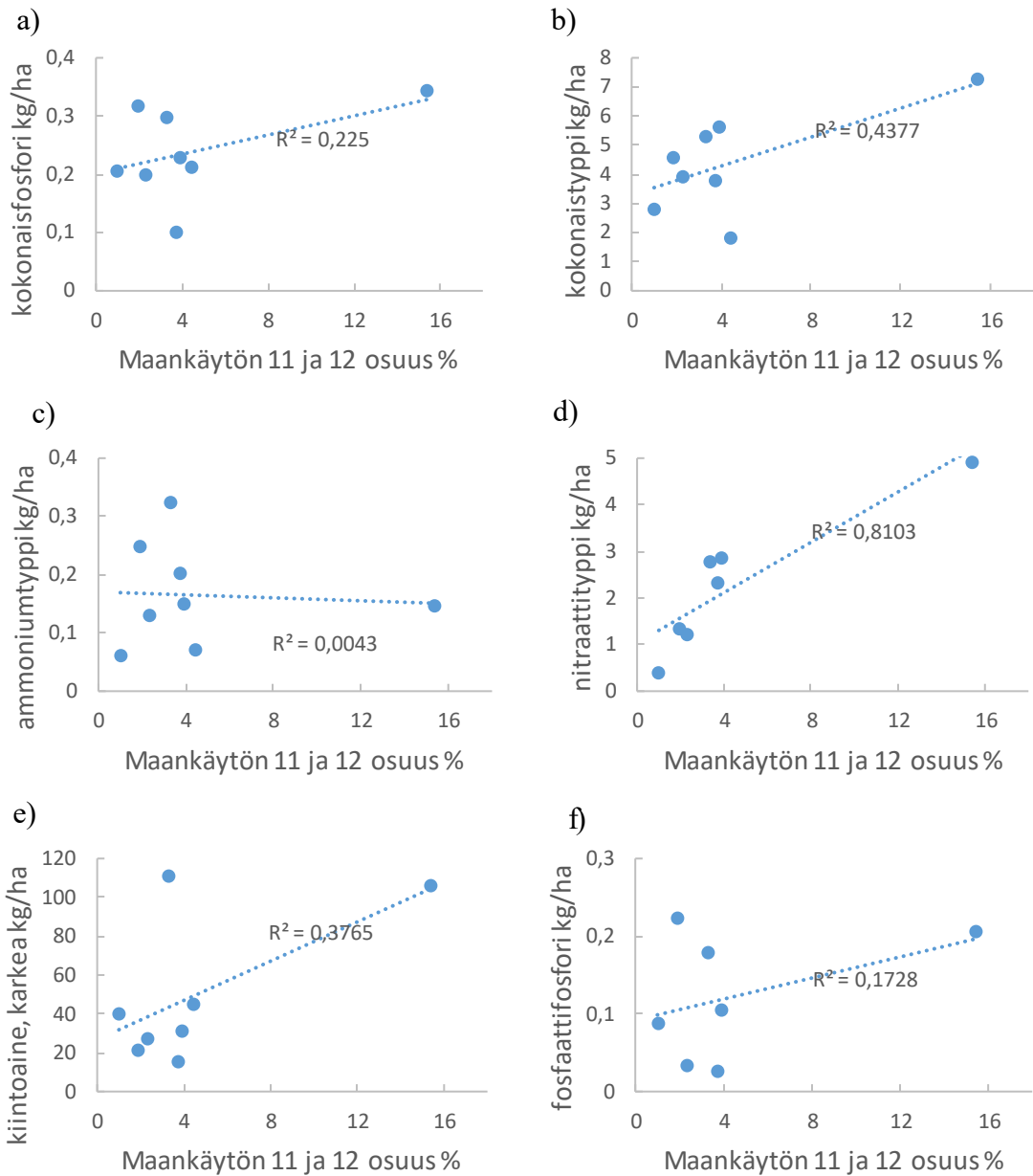
Näitä hehtaariohtaisia kuormituksia verrataan alueiden maankäyttöjakaumaan.

## 4 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Valuma-alueiden kuormitustiedot ja hehtaariohaiset kuormitusluvut ovat liitteessä 2. Tulosten perusteella viljelysmaiden osuudella (Kuva 7) valuma-alueesta ei näyttäisi olevan selvää merkitystä hehtaariohaisiin kuormituslukuihin. Asuinalueiden, liikenteen, teollisuuden ja palveluiden (Kuva 8) osalta tilanne on sama Vantaanjoen valuma-aluetta lukuun ottamatta.



Kuva 7. Viljelysmaan osuuden vaikutus kuormitukseen

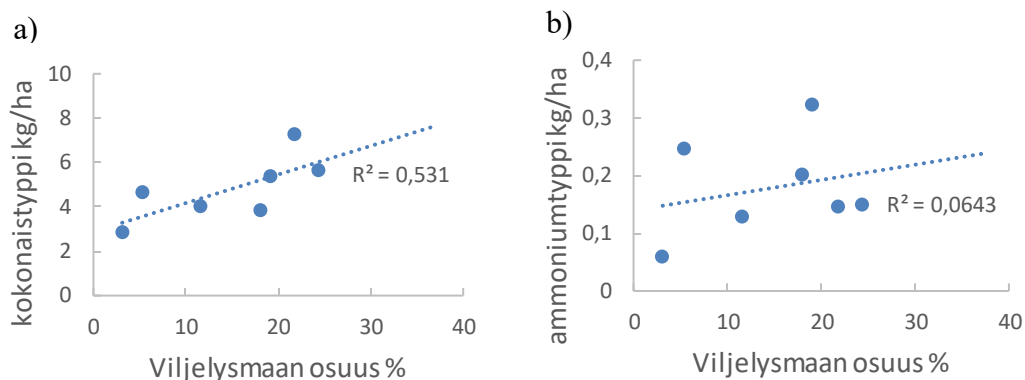


Kuva 8. Asuinalueiden (11) ja teollisuuden, liikenteen ja palveluiden (12) osuuden vaikutus kuormitukseen

#### 4.1 Viljelysmaiden vaikutus

Viljelysmaiden osuudella ei näyttäisi olevan suoraa yhteyttä hehtaarikohtaisiin kuormituslukuihin nitraattitypeä lukuun ottamatta (Kuva 7d). Vertailluista valuma-alueista selvästi suurin pinta-ala viljelysmaan osalta (37,1 %) on Halikonjoen valuma-alueella, mutta kokonaisfosforin ja -typen osalta tulokset ovat pienimpiä vertailluista. Teuvanjoen alueella viljelysmaan määrä on tästä noin puolet, mutta kuormitus selvästi suurempaa, kuin Halikonjoen alueella. Tämä saattaa johtua muun muassa Teuvanjoen

valuma-alueen osin eroosioherkstä maaperästä, ojituksista, ja alueen turvetuotannosta. Jos typen osalta tuloksista jätetään pois Halikonjoen valuma-alue, on korrelaatio viljelysmaan osuuden suhteen selvempi. Tämä näkyy esimerkiksi nitraattitypen (Kuva 7 d) kohdalla, kun Halikonjoen kuormitustieto puuttuu. Kuvassa 9 Halikonjoen mittaustulokset on jätetty pois myös kokonaistypen ja ammoniumtypen osalta. Kokonaistypen osalta on heti havaittavissa selvempi korrelaatio viljelysmaan osuuden ja hehtaarikohtaisen kuormituksen välillä. Ammoniumtypen osalta korrelaatio on paljon heikompi. Halikonjoen hehtaarikohtaisiin kuormituslukuihin vaikuttaa vahvasti valuma-alueen pieni virtaama, mikä näkyy myös tuloksissa.



Kuva 9. Kokonaistyyppi ja ammoniumtyppi ilman Halikonjoen kuormitusta

## 4.2 Asuinalueiden , teollisuuden, palveluiden ja liikenteen vaikutus

Vantaanjoen valuma-alue eroaa selvästi muista valuma-alueista suuren asuinaluepinta-alan (8,4 %) sekä teollisuuden, palveluiden ja liikenteen pinta-alan (7 %) osalta, kun vastaavat seuraavaksi suurimmat luvut ovat Halikonjoen valuma-alueen 2,3 % ja 2,1 %. Vantaanjoen valuma-alueen kokonaisfosfori, kokonaistyyppi, fosfaattifosfori ja karkea kiintoainepitoisuus ovat kaikki selvästi vertailun kärkipäässä. Vantaanjoen valuma-alueella asuu yli miljoona ihmistä, joten vedenpuhdistamoilta ja haja-asutuksesta tuleva kuormitus on myös suurempaa kuin harvemmin asutuilla alueilla. Alueella on lisäksi paljon maataloutta, mikä aiheuttaa kiintoaine- ja ravinnekuormitusta. Yksi syy suuriin kuormituslukuihin muihin alueisiin verrattuna on mahdollisesti myös se, että suuren asuinalue-, liikenne-, ja teollisuuspinta-alan myötä pintavalunta kasvaa, kun valumavesien imeytyminen maahan vähenee. Tällöin pintavalunnan mukana kulkeutuu myös helpommin kiintoainesta ja ravinteita. Vantaanjoen valuma-alue lukuun

ottamatta tilanne on sama kuin viljelysmaiden osuuden suhteen, selvää yhteyttä kuormituslukuihin ei ole kuin nitraattitypen osalta (Kuva 8 d).

Yksi suuri kysymysmerkki liittyy virtaamatietoihin. Kaikista purkupisteistä tietoa ei ole saatavilla tai se on arvio, ja lisäksi vuosittainen vaihtelu saattaa olla suurta sateista, lumitilanteesta, tulvista ja talvesta riippuen. Tämä vaikuttaa suoraan vuosittaiseen kiintoainekuormitukseen, ja sitä kautta hehtaariohittaiseen kuormitukseen. Merkittävä hehtaariohittaisiin kuormituslukuihin vaikuttava tekijä onkin syntyvä virtaama, eli maaperän kyvyllä pidättää pintavaluntaa ja sitä kautta pienentää kulkeutuvan kuormituksen määrää on iso vaikutus.

## 5 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Hehtaarikohtaisten kuormituslukujen suhteen ei ollut havaittavissa selkeää yhteyttä maankäyttöjakaumaan, vaikka purkupisteiden mittaustuloksissa se on selvästi havaittavissa. Esimerkiksi maatalousvaltaisten Halikonjoen ja Teuvanjoen valuma-alueiden kuormitus on selvästi vertailtujen valuma-alueiden kärkipäässä. Merkittäviä hehtaarikohtaiseen kuormitukseen vaikuttavia tekijöitä saattaa muun muassa olla valuma-alueen maaperän eroosioherkkyys ja pintavalunnan määrä. Pintavalunta vaikuttaa suoraan syntyvään vesimäärään eli myös virtaamaan, ja tätä kautta hehtaarikohtaiseen kuormitukseen. Mitä enemmän vettä imeytyy maahan tai ehtii haihtua, sitä pienemmäksi hehtaarikohtainen kuormitus jää. Eroosioherkkyys taas vaikuttaa siihen, kuinka helposti pintavalunnan mukana maaperästä irtoaa kiintoainetta ja samalla ravinteita. Muun muassa nämä syyt saattavat selittää Vantaanjoen valuma-alueen korkeita hehtaarikohtaisia kuormituslukuja.

Virtaaman vaihtelut ja vuosittaiset erot saattavat olla suuria tai mittaustulokset epätarkkoja. Tällöin pienikin virhe käytetyssä virtaamassa aiheuttaa eroa hehtaarikohtaisiin tuloksiin. Virtaaman vaihtelut voivat vaikuttaa myös merkittävästi keskimääräisiin kuormituslukuihin. Esimerkiksi eroosioherkillä alueilla kevättulvat saattavat aiheuttaa merkittävän kuormituspiikin ja muutoksen kokonaiskuormituslukuihin, kun valtavat määrät kiintoainetta ja ravinteita kulkeutuu veden mukana. Tämä taas vaikuttaa suoraan hehtaarikohtaisten kuormituslukujen laskentaan.

Tämän työn tulosten perusteella ei hehtaarikohtaisten kuormitusten ja valuma-alueen maankäyttöjakauman suhteen ole havaittavissa selkeää yhteyttä muuta kuin nitraattitypen osalta, joka korreloi positiivisesti sekä viljelysmaiden osuuden kasvamiseen, että Asuinalueiden, teollisuuden, palveluiden ja liikenteen osuuden kasvamiseen. Vastaavasti myös kokonaistypellä on melko selkeä korrelaatio, kun tarkastelusta jätetään pois vähävirtaamainen Halikonjoen valuma-alue. Oletettavasti muutoin merkittävämmäksi asiaksi kuormituksen muodostumisessa nousee esimerkiksi maaperän kyky pidättää pintavaluntaa ja maaperän eroosioherkkyys.



## YHTEENVETO

Maankäyttö aiheuttaa lähes aina kuormitusta vesistöihin. Kuormitus on joko pistekuormitusta, kuten tehtaiden piipuista ja vedenpuhdistamoilta tulevaa, tai hajakuormitusta, esimerkiksi maatalouden ja metsätalouden aiheuttamaa kuormitusta. Kuormitus syntyy valumavesien mukana kulkeutuvien ravinteiden ja kiintoaineen aiheuttamana. Merkittävimmät vesistöjen kuormittajat Suomessa ovat maatalous, metsätalous ja haja-asutus. Paikallisesti merkittäviä vesistön kuormittajia voivat olla esimerkiksi turvetuotanto, teollisuus ja vedenpuhdistamot.

Typpi ja fosfori ovat kasvien perusravinteita. Monissa vesistöissä fosfori on minimiravinne, eli eniten kasvien kasvua rajoittava tekijä. Fosforin ja typen kuormitusmääriä on saatu vähennettyä viime vuosikymmeninä esimerkiksi maatalouden ympäristötukimenetelmien ja teollisuuden kehittyneiden puhdistusmenetelmien avulla, mutta maankäytöstä aiheutuva kuormitus on edelleen suurta. Kiintoaine aiheuttaa liettymistä, umpeenkasvua ja sameuttaa vesistöjä. Myös orgaaninen hiili sameuttaa vesistöjä ja lisäksi kuluttaa happea ja saattaa voimistaa sisäistä kuormitusta.

Työn tarkoituksena oli tutkia mahdollista yhteyttä valuma-alueen maankäyttökajumaan ja hehtaarikohtaisen kuormituksen välillä. Työtä varten valittiin kahdeksan valuma-alueita mahdollisimman tasaisesti pitkin rannikkoa. Valuma-alueiden maankäyttökajuma haettiin VALUE-tietokannasta. Kuormitusluvut laskettiin purkupisteiden vedenlaatutietojen perusteella laskemalla kullekin valuma-alueelle hehtaarikohtainen kuormitusluku. Tutkittaviksi kuormitustekijöiksi valittiin fosfori, typi, kiintoaine ja orgaaninen hiili. Purkupisteiden vedenlaatutiedot haettiin Ympäristökeskuksen ylläpitämästä Hertta-tietokannasta, ja tutkittava ajanjakso oli 2008-2018.

Hehtaarikohtaisia kuormituslukuja verrattiin valuma-alueiden viljelysmaiden osuuteen, sekä asuinalueiden, teollisuuden, liikenteen ja palveluiden osuuteen. Tarkastelusta jätettiin orgaaninen hiili lopulta pois, koska mittaustuloksia ei ollut tarpeeksi. Mahdollisen korrelaation tarkastelua varten tuloksista piirrettiin kuvaajat. Kuvaajien perusteella yhteyttä valuma-alueen hehtaarikohtaisen kuormituksen ja maankäytön

osuuden välillä ei ole havaittavissa muuta kuin kokonaistypen ja nitraattitypen osalta. Maankäytön osuus ei siis yleensä korreloi suoraan hehtaarikohtaiseen kuormitukseen.

Merkittävin tekijä hehtaarikohtaiseen kuormitukseen on todennäköisesti pintavalunnan määrä eli sitä kautta syntyvä virtaama. Suurempi virtaama tarkoittaa suoraan myös kokonaiskuormituksen kasvamista, kun ravinteita ja kiintoainetta kulkeutuu veden mukana enemmän. Merkittäväksi tekijäksi hehtaarikohtaisen kuormituksen osalta nouseekin valuma-alueen maaperän ja kasvillisuuden kyky pidättää pintavaluntaa, jotta kokonaiskuormitus pienenee.

## LÄHDELUETTELO

- Finer, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Tattari, S., Huttunen, M., Härkönen, L., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sarkkola, S., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., 2020. Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020 [verkkodokumentti]. Metsävesihankkeen loppuraportti. Helsinki: Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:6. Saatavilla: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162009/VNTEAS\\_2020\\_6.pdf?sequence=4](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162009/VNTEAS_2020_6.pdf?sequence=4) [viitattu 21.10.2022].
- Hellsten, H. K., 2020. Sedimentin fosfori rehevöittää kauan. [verkkodokumentti] Natura 2. Saatavilla: <https://www.naturalehti.fi/2020/05/08/sedimentin-fosfori-rehevoittaa-kauan/> [viitattu 19.5.2022].
- Kenttämies, K., Mattsson, T. (toim.) 2006. Metsätalouden vesistökuormitus MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816, 160 s. Saatavilla: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40492/SY\\_816.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40492/SY_816.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 20.5.2021].
- Klöve, B., Tuukkanen, T., Marttila, H., Postila, H., Heikkinen, K., 2012. Turvetuotannon kuormitus – Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio turvetuotannon vesistökuormitukseen vaikuttavista tekijöistä [verkkodokumentti]. Keski-Suomen ELY-keskus. Saatavilla: <https://www.doria.fi/handle/10024/94168> [viitattu 23.8.2021].
- Lappalainen, K. M., 2018. Itämeren rehevöitymisen uudistettu diagnoosi ja paradigma. Oulu: University of Oulu. ISBN 978-952-62-1940-0
- Luonnonvarakeskus 2012. Maankäytön vaikutus hajakuormitukseen [verkkodokumentti]. Tiedote. Saatavilla: <http://www.metla.fi/tiedotteet/2012/2012-11-23-maankayton-vaikutus-hajakuormitukseen.htm> [viitattu 4.5.2021].
- Luonnonvarakeskus, 2019. Typpi- ja fosforitaseet. Luonnonvarakeskus. Saatavilla: [https://projects.luke.fi/ruokafakta/peltomaan\\_kasvit/typpi\\_ja\\_fosforitaseet/](https://projects.luke.fi/ruokafakta/peltomaan_kasvit/typpi_ja_fosforitaseet/) [viitattu 24.5.2021]

Manninen, M., Soinne, H., 2018. Vesistöihin tulee valuma-alueilta myös hiilikuormitusta [verkkodokumentti]. SAVE – Saaristomeren vedenlaadun parantaminen kipsikäsittelyllä. Saatavilla: <https://blogs.helsinki.fi/save-kipsihanke/2018/12/07/vesistoihin-tulee-valuma-alueilta-myo-s-hiilikuormitusta/> [viitattu 28.4.2019].

Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiaho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A., zu Castell-Rüdenhausen, M., 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa [verkkodokumentti]. Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 46 s. Saatavilla: [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540214/luke-luobio\\_45\\_2017.pdf?sequence=12&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540214/luke-luobio_45_2017.pdf?sequence=12&isAllowed=y) [viitattu 20.4.2021].

Maa- ja metsätalousministeriö, 2008. Maatalouden ravinnekuormitus ja sen tehokkaat vähentämistoimenpiteet - Loppuraportti [verkkodokumentti]. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavilla: [https://mmm.fi/documents/1410837/1790805/trm9\\_2008\\_Maatalouden\\_ravinnekuormitus\\_loppuraportti\\_FINAL8230%3B.pdf/2a034e40-f97f-4e2f-bb00-aec48d864a09/trm9\\_2008\\_Maatalouden\\_ravinnekuormitus\\_loppuraportti\\_FINAL8230%3B.pdf.pdf](https://mmm.fi/documents/1410837/1790805/trm9_2008_Maatalouden_ravinnekuormitus_loppuraportti_FINAL8230%3B.pdf/2a034e40-f97f-4e2f-bb00-aec48d864a09/trm9_2008_Maatalouden_ravinnekuormitus_loppuraportti_FINAL8230%3B.pdf.pdf) [viitattu 13.3.2021].

Oravainen, R., 1999. Vesistötulosten tulkinta-opasvihkonen [verkkodokumentti]. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys. Saatavilla: <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf> [viitattu 25.10.2022].

Palomäki, A., 2001. Sisäinen kuormitus Lappajärven fosforitaseessa [verkkodokumentti]. Vaasa: Länsi-Suomen Ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 213. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134505/ay213.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [viitattu 21.11.2021]. 27 s. ISBN 952-11-0888-6

Palva, R., Rankinen, K., Granlund, K., Grönroos, J., Nikander, A., Rekolainen, S., 2001. Maatalouden ympäristötuen toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset vesistökuormitukseen vuosina 1995-1999 - MYTVAS-projektin loppuraportti

[verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/40454> [viitattu 23.4.2021]. 94 s. ISBN 952-11-0894-0

Rankinen, K., Keinänen, H., Bernal, J. E. C., 2016. Influence of climate and land use changes on nutrient fluxes from Finnish rivers to the Baltic Sea [verkkodokumentti]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, s. 100-115. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880915300761?via%3Dihub> [viitattu 24.5.2019].

Sarkkola, S., Nieminen, M., 2014. Vesistöjen orgaanisen aineksen lisääntymisen syitä [verkkodokumentti]. *Vesitalous*, 6, s. 5-9. Saatavilla: [https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2014/12/Vesitalous\\_1406\\_netti.pdf](https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2014/12/Vesitalous_1406_netti.pdf) [viitattu 14.9.2020].

Shapiro, J.1990. Current Beliefs Regarding Dominance by Blue-Greens: The Case for the Importance of CO<sub>2</sub> and pH. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24: 38—54.

Suomen ympäristökeskus, 2013. Vesistöjen kuormitus ja luonnon huuhtouma. [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Vesistojen\\_kuormitus\\_ja\\_luonnon\\_huuhtouma](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_kuormitus_ja_luonnon_huuhtouma) [viitattu 27.10.2019]

Suomen ympäristökeskus, 2014. Matkalla hyvään Itämereen. Tietoa meren hoidosta ja tilasta Suomessa. [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <https://docplayer.fi/20364047-Matkalla-hyvaan-itamereen-tietoa-meren-hoidosta-ja-tilasta-suomessa.html> [viitattu 24.5.2019].

Suomen ympäristökeskus, 2015. Itämeren fosforikuorma Suomesta [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika\\_on\\_Itameren\\_tila/Itameren\\_fosforikuorma\\_Suomesta](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_on_Itameren_tila/Itameren_fosforikuorma_Suomesta) [viitattu 23.4.2021].

Suomen ympäristökeskus, 2016. Hertta-tietokanta. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: [https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin\\_tieto/Ymparistotietojarjestelmat](https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Ymparistotietojarjestelmat) [viitattu 23.5.2019].

Suomen ympäristökeskus, 2019. Valuma-aluejako. [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/valuma-aluejako> [viitattu 24.5.2019].

Tattari, S., Puustinen, M., Koskiahho, J., Röman, E., Riihimäki, J., 2015. Vesistöjen ravinnekuormituksen lähteet ja vähentämismahdollisuudet [vekkodokumentti]. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 35. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159464/SYKEra\\_35\\_2015.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159464/SYKEra_35_2015.pdf?sequence=1) (helsinki.fi) [viitattu: 11.5.2021]

Toivonen, T., 2015. Mistä vesistökuormitus tulee? – Suomen sisävesien kuormitustekijät. Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. 169 s. Saatavilla: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93262/Toivonen\\_Tiina.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93262/Toivonen_Tiina.pdf?sequence=1) [viitattu 25.5.2022].

Liite 1. Valuma-alueiden kuormitustiedot ja maankäyttöjakaumat

	Virtaama MQ m3/s	Ammonium typpenä, suodattamaton µg/l	Fosfaatti fosforina, suodattamaton µg/l	Kiintoaine, hieno, suodatus polykarb. 0,4 µm mg/l	Kiintoaine, karkea mg/l	Kokonaisfosfori, suodattamaton µg/l	Kokonaistyyppi, suodattamaton µg/l	Orgaaninen kokonaishiili TOC;;IR mg/l	Nitriitti-nitraatti typpenä, suodattamaton µg/l
Vaalimaanjoen va	3	33	8		7	51	1006		310
Vantaanjoen va	16	48	68	59	35	115	2419		1636
Halikonjoen va	1	64			42	197	1677		
Lapinjoen va	3,3	90	12	7	7	45	1714		1032
Teuvanjoen va	5,5	97	54	15	34	91	1612	27	829
Kyrönjoen va	44	52	37		11	80	1967		993
Liminkaojan va	2	16	23	14	11	55	755	20	105
Kaakamojoen va	7	51	46	13	4	65	951	14	273
	Valuma-alueen koko, km2	Viljelysmaat (21)	Sulkeutuneet metsät (31)	harvapuustoiset metsät ja avoimet kankaat (32)	Asuinalueet (11)	Teollisuuden, palveluiden ja liikenteen alueet (12)	Sisämaan kosteikot ja avosuot (41)	11+12	
Vaalimaanjoen va	241	11,5	68,1	12	0,9	1,4	1,6	2,3	
Vantaanjoen va	1681	21,8	46,6	9,8	8,4	7	0,5	15,4	
Halikonjoen va	293	37,1	45,2	10,4	2,3	2,1	1,1	4,4	
Lapinjoen va	465	18	59,5	9,8	1,8	1,9	4,4	3,7	
Teuvanjoen va	525	19	58,8	15	1,5	1,8	2,9	3,3	
Kyrönjoen va	4828	24,3	50,3	13,5	1,9	2	5,4	3,9	
Liminkaojan va	169	3,1	76,4	14,4	0,3	0,7	3,6	1	
Kaakamojoen va	455	5,3	66,4	16,3	0,7	1,2	6,7	1,9	

Liite 2. Valuma-alueiden hehtaarikohtaiset kuormitusluvut

Kuormitus	vuosivirtaama l	Ammonium typpenä, suodattamaton kg/a	Fosfaatti fosforina, suodattamaton kg/ha	Kiintoaine, hieno, suodatus polykarb. 0,4 µm kg/ha	Kiintoaine, karkea kg/ha	Kokonaisfosfori, suodattamaton kg/ha	Kokonaistyyppi, suodattamaton kg/ha	Orgaaninen kokonaishiili TOC;;IR kg/ha	Nitriitti-nitraatti typpenä, suodattamaton kg/ha
vuosivirtaamat l/a									
Vaalimaanjoki	9460800000	3119	785	0	655160	4827	95207	0	29328
Vantaanjoki	5,04576E+11	24234	34492	29592362	17751930	57891	1220497	0	825638
Halikonjoki	31536000000	2011	0	0	1314889	6210	52883	0	0
Lapinjoki	1,04069E+11	9339	1231	763171	693358	4676	178365	0	107364
Teuvanjoen va	1,73448E+11	16846	9345	2666763	5810508	15750	279585	4683096	143799
Kyrönjoki	1,38758E+12	71981	50734	0	14874900	110346	2728915	0	1378333
Liminkaoja	63072000000	990	1478	903506	674870	3480	47648	1261440	6629
Kaakamojoki	2,20752E+11	11197	10093	2783928	972126	14436	209837	3057415	60357
Hehtaarikohtainen kuormitus		kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Vaalimaanjoki		0,13	0,03	0,00	27,19	0,20	3,95	0,00	1,22
Vantaanjoki		0,14	0,21	176,04	105,60	0,34	7,26	0,00	4,91
Halikonjoki		0,07	0,00	0,00	44,88	0,21	1,80	0,00	0,00
Lapinjoki		0,20	0,03	16,41	14,91	0,10	3,84	0,00	2,31
Teuvanjoen va		0,32	0,18	50,80	110,68	0,30	5,33	89,20	2,74
Kyrönjoki		0,15	0,11	0,00	30,81	0,23	5,65	0,00	2,85
Liminkaoja		0,06	0,09	53,46	39,93	0,21	2,82	74,64	0,39
Kaakamojoki		0,25	0,22	61,19	21,37	0,32	4,61	67,20	1,33