



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

PYHÄJÄRVEN ULKOISEN
KUORMITUKSEN
VÄHENTÄMISKEINOT VALUMA-
ALUEILLA

CASE: Fosfilt-suodatin Huhkossa

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Ympäristötekniikka
Ympäristötekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Matias Jaatinen

Lahden ammattikorkeakoulu
Ympäristötekniikka

JAATINEN, MATIAS: Pyhäjärven ulkoisen kuormituksen vähentämiskeinot
valuma-alueilla
CASE: Fosfilit-suodatin Huhkossa

Ympäristötekniikan opinnäytetyö, 53 sivua, 2 liitesivua

Kevät 2012

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö käsittelee maatalous- ja metsätalousvaltaisen alueen valumavesien käsittelyä keskittyen yhteen suodattimeen ja sen toimivuuteen. Tässä työssä käydään läpi Huhkon suodattimen tutkimustuloksia, joita Pyhäjärvi-instituutti on hankkinut jo suodattimen valmistumisvuodesta 1999 lähtien. Tutkittava kohde sijaitsee Pyhäjärven valuma-alueella, jossa maa- ja metsätalous ovat vahvasti esillä ja työ on toteutettu Pyhäjärvi LIFE-hankkeelle.

Työn alussa tarkastellaan Suomen vesistöjen ja Pyhäjärven suojelun tilannetta. Sitten käydään läpi vedenlaadun määräviä tekijöitä. Sen jälkeen käydään läpi vesistöjä kuormittavia tekijöitä, joista vaikuttavimpana on maatalous. Sitten tarkastellaan vaihtoehtoisia vesiensuojelumenetelmiä valuma-alueilla. Kuormituksen määrää voidaan vähentää jo ennen ravinteiden joutumista pelloilta ojiin ja sen jälkeenkin on monia eri menetelmiä vähentää ojista ravinteita. Työssä käydään läpi ravinteiden pidättymis- ja vähenemismekanismit.

Työssä keskitytään tutkittavan suodattimen materiaaleihin, toimintaperiaatteeseen ja toimivuuteen. Kaikki puhdistustulokset käydään läpi ja päätellään eri ilmentymien syitä. Suodattimen käytön aikana tulleita ongelmia tarkastellaan ja mietitään ennaltaehkäisyehdotuksia.

Suodattimen puhdistustulokset näyttävät hyviltä vertailtaessa muita valumavesiensiujelumenetelmiä. Johtopäätöksenä todetaan, että tutkittava suodatin toimii edelleen hyvin ja eikä sitä tarvitse vielä kunnostaa esimerkiksi vaihtamalla suodatinmateriaalit.

Avainsanat: valumavesi, maatalous, vesiensuojelu, suodatin, ravinnekuormitus, valuma-alue

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Environmental Technology

JAATINEN, MATIAS: Reducing methods of the nutrient load from runoff waters of lake Pyhäjärvi
CASE: Fosfilt- suodatin Huhkossa

Bachelor's Thesis in Environmental Engineering 53 pages, 2 appendices

Spring 2011

ABSTRACT

This thesis deals with reducing the phosphorus load from agricultural runoff waters concentrating on one particular filter and its functionality. With runoffwater treatments, the eutrophication of the lake Säkylän Pyhäjärvi can be stopped. The filter is located in Huhko at the catchment area of lake Pyhäjärvi. The filter was constructed by the Pyhäjärvi-institute in 1999 for the Pyhäjärvi LIFE project.

First the focus of this thesis is on the state of the Finnish waters and on the protection of lake Pyhäjärvi. The reasons for examining certain factors and nutrients of the runoffwaters were determined. Factors causing the nutrient loads to the runoffwaters, especially agriculture, were studied. Alternative treatment methods to reduce nutrient loads from runoffwaters in the catchment area were examined. The decreasing mechanisms of the nutrients in the catchment area treatment methods were determined.

The work focuses on the filter materials, methods and functionality of the filter at Huhko. The retention percent of nutrients and the effectiveness of the filter from the year 1999 to the year 2008 were collected to tables. The problems occurred in the functionality of the filter between years 1999 – 2008 were examined and the reasons for those problems were considered. As a conclusion there is going to be some suggestions for the future plans of the filter.

Key words: runoffwater, agriculture, water pollution control, nutrient load, catchment area treatments

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	SUOMEN VESISTÖJEN TILA	2
2.1	Suomen vesistöjen tila yleisesti	2
2.2	Pyhäjärven tila ja suojele	3
3	VEDENLAADUN MÄÄRÄÄVIÄ TEKIJÖITÄ	7
3.1	Lämpötilakerrostuneisuus	7
3.2	Happipitoisuus	7
3.3	Sameus ja kiintoaine	8
3.4	Sähkönjohtavuus	9
3.5	Happamuus (pH)	9
3.6	Alkaliteetti	10
3.7	Väri	10
3.8	Kemiallinen hapenkulutus (COD)	11
3.9	Biologinen hapenkulutus (BOD)	11
3.10	Kokonaisfosfori	12
3.11	Kokonaistyyppi	13
3.12	Klorofylli-a	14
4	VESISTÖIHIN KOHDISTUVA KUORMITUS	15
4.1	Haja-asutusalueen vedet	16
4.2	Maatalousvedet	17
4.3	Metsätalousvedet	17
5	PYHÄJÄRVEN VALUMAVESIEN RAVINTEIDEN VÄHENTÄMINEN	19
5.1	Kalkkisuodinojitus	21
5.2	Suojakaistat ja -vyöhykkeet	22
5.3	Laskeutusaltaat ja kosteikot	23
5.4	Ojanpohjasuodatus	24
5.5	Talviaikainen kasvipeitteisyys	24
5.6	Tehostettu hiekkasuodatus	24
5.7	Hiekkasuodatuskentät	25
6	VALUMAVESIEN RAVINTEIDEN PIDÄTTYMISMEKANISMIT	26
6.1	Kiintoaine	26
6.2	Kokonaisfosfori	26

6.3	Kokonaistyyppi	27
7	FOSFILT-HIEKKASUODATINJÄRJESTELMÄ HUHKOSSA	29
7.1	Materiaalit, mitat ja kustannukset	30
7.2	Toimintaperiaate	30
7.3	Suodattimen hoito ja seuranta	31
8	TUTKIMUSMENETELMÄT	32
9	NÄYTTEIDEN ANALYSOINTI JA TULOKSET	33
9.1	Tulokset	33
9.1.1	Kokonaisfosfori	33
9.1.2	Kokonaistyyppi	37
9.1.3	Kiintoaine	40
9.1.4	Sähkönjohtavuus ja pH	42
9.2	Puhdistustulosten keskiarvot	43
10	TULOSTEN TARKASTELU	44
10.1	Suodatin 1	44
10.2	Suodatin 2	44
10.3	Tulosten vertailu	45
11	JOHTOPÄÄTÖKSET	46
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	51

1 JOHDANTO

Suomen vesistöt rehevöityvät helposti, mikä johtuu valumavesien suurista ravinnemääristä ja järvien pienistä tilavuuksista. Maatalous ja metsätalous vaikuttavat suoraan vesistöjen tilaan, sillä ne aiheuttavat suurimman osan vesistöihin kohdistuvasta ulkoisesta kuormituksesta. Maatalouden osuus vesistöjen kokonaiskuormituksesta on fosforin osalta jopa 60 prosenttia ja typen osalta 50 prosenttia. Lisäksi vesistöjä kuormittavat haja- ja loma-asutuksen jätevedet, mistä on uudistunut lainsäädäntö astunut voimaan vuoden 2011 alkupuolella. Vesistöihin tulee myös ilmalaskeumana paljon ravinteita, mutta niihin ei paikallisella tasolla voida juurikaan vaikuttaa, niin kuin muihin edellä mainittuihin voidaan vaikuttaa monin eri keinoin.

Maamme kaikkien vesien hyvä tai erinomainen tila vuoteen 2015 mennessä on EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin tavoitteena. Jotta tavoitteeseen päästäisiin, tarvitaan tehokkaita menetelmiä vesistöjemme ulkoisen kuormituksen pienentämiseksi. Valtioneuvoston periaatepäätöksessä vesiensuojelun suuntaviivoista keskeisenä tavoitteena on maatalouden kuormituksen vähentäminen kolmanneksella vuosien 2001 - 2005 keskimääräisestä tasosta vuoteen 2015 mennessä. Tavoitteisiin pääsyä on helpottamassa maatalouden erityisympäristötuet, joita voi hakea oman alueen ELY-keskuksesta.

Pitkä, mutta ainoa kestävä tie rehevöitymiskehityksen pysäyttämiseen ja pysyvään vedenlaadun paranemiseen on ulkoisen ravinnekuormituksen vähentäminen. Tämän opinnäytetyön tutkittava kohde sijaitsee Pyhäjärven valuma-alueella Länsi-Suomessa, jossa maa- ja metsätalous ovat vahvasti esillä. Työssä tutkitaan, kuinka tehokkaasti voidaan valumavesistä poistaa fosforia tehostetulla hiekkasuodattimella. Pyhäjärvi-instituutti on hankkinut suodattimen valmistumisvuodesta 1999 lähtien tutkimustuloksia Huhkossa sijaitsevasta suodattimesta.

2 SUOMEN VESISTÖJEN TILA

2.1 Suomen vesistöjen tila yleisesti

Suomen sisävesiä on pinta-alaltaan 33 500 km², ja ne peittävät noin 10 % koko maan pinta-alasta. Suomessa on järviä 187 888, joista vain noin 56 000 on yli hehtaarin kokaisia järviä ja lampia. Vesivarojen merkitys Suomessa on taloudellisesti ja yhteiskunnallisesti suuri, sillä ne ovat erityisen tärkeitä matkailulle ja vapaa-ajan virkistystoiminnoille. (Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelma 2007-2013 2007, 16.)

Suomen järvet ovat usein matalia ja pieniä kooltaan, joten niiden vesitilavuus on pieni. Rannikkoalueen joissa virtaa kesäisin vähän vettä, mutta keväällä lumien sulassa ja syksyllä runsaitten syysateiden aikaan virtaamat kasvavat suuriksi ja jopa tulviakin voi esiintyä. Suomen joet laskevat Itämeren mataliin lahtiin. Ravin-nekuormituksen vaikutukset näkyvät selkeimmin Saaristomerellä, Etelä-Suomen jokivesistöissä ja Suomenlahdella. Itämeri on matala ja kylmä lähes suljettu murtovesiallas, jossa veden vaihtuminen kestää noin 30 - 50 vuotta, minkä vuoksi se on erittäin haavoittuvainen. Vakavimpana ongelmana Itämeressä on rehevöityminen. (Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelma 2007-2013 2007, 18.)

Rehevöityminen on kasvien ja vesiorganismien perustuotannon kiihtynyttä kasvua vesiympäristössä, mikä johtuu lisääntyneestä ravinteiden saatavuudesta. Erityisesti typpi ja fosfori, jotka huuhtoutuvat vesistöihin, aiheuttavat rehevöitymistä. Muun muassa jätevedet, pelloilta valuvat lannoitteet ja ilmasta tuleva laskeuma levittävät luontoon ravinteita. Rehevöityminen vesistöissä ilmenee vesikasvillisuuden lisääntymisenä, ranta-alueiden rihmalevien liiallisena kasvuna ja planktonlevien lisääntyneestä kasvusta johtuvana veden sameutena. Muita mahdollisia rehevöitymisen aiheuttamia ilmiöitä ovat leväkukintojen eli runsaiden leväesiintymien yleistyminen, happikato ja kalastomuutokset. (Valtion ympäristöhallinto 2011e.)

Rehevöitymisen myötä lisääntyvät monet epätoivotut elonmuodot, kuten tiivis rantakasvillisuus ja myrkylliset sinilevät, jotka haittaavat vesistön virkistys ja vapaa-ajan käyttöä sekä yksipuolinen kalasto, minkä vuoksi ihmiset kokevat vesien rehevöitymisen yleensä ongelmaksi. Rehevöityminen lisää kasvien määrää, mutta monimuotoisuuden kannalta tärkeät kasvit, esimerkiksi niittykasvit tarvitsevat vähäravinteista kasvualustaa. (Valtion ympäristöhallinto 2011e.)

Rehevöitymistä on vaikea hillitä, jos se kerran on päässyt alkuun. Ongelmana on se, että vuosien kuluessa ravinteet kertyvät vesien pohjasedimenttiin ja maaperään. Rehevöityminen saattaa yhä jatkua, vaikka kuormitus loppuu, koska varastoituneet ravinteet vapautuvat perustuottajien eli kasvien ja levien käyttöön. Ravinnekuormituksen vähentäminen on kuitenkin ainoa pysyvä keino vähentää rehevöitymistä. Vesiekosysteemin palautumista lähemmäksi luonnontilaa voidaan joissakin tapauksissa nopeuttaa aktiivisilla kunnostustoimilla. (Valtion ympäristöhallinto 2011e.)

2.2 Pyhäjärven tila ja suojelu

Säkylän Pyhäjärvi on Lounais-Suomen suurin järvi, jolla on suuri merkitys alueen asukkaille, kunnille ja teollisuudelle. 1980-luvulta asti Pyhäjärven vedenlaatu on ollut uhattuna ulkoisen ravinnekuormituksen aiheuttaman rehevöitymisen vuoksi. Pyhäjärvi pystyi puskuroimaan vuosikymmeniä kuormituksen vaikutuksia, vaikka jo 1950-luvulla ihmistoiminnan aiheuttama ravinnekuormitus kasvoi. 1990-luvulla järven rehevöityminen eteni voimakkaasti. (Kirkkala, Ventelä & Tarvainen 2007.)

Pyhäjärven vedenlaatu on kuitenkin edelleen luokiteltu hyväksi ympäristöhallinnon käyttökelpoisuusluokituksessa. Jotta Pyhäjärven tilanne pysyisi hyvänä, on pitkäjänteisen vesiensuojelutyön jatkaminen välttämätöntä. Vesiensuojelutyön avulla voidaan tarvittaessa nopeasti reagoida Pyhäjärven muuttuneisiin olosuhteisiin. Pyhäjärven tila on myös hyvä vesipuitedirektiivin ekologisessa luokituksessa. (Kirkkala, ym. 2007.)

Lähes 70 % Pyhäjärven valuma-alueesta muodostavat Yläneenjoen ja Pyhäjoen valuma-alueet (234 km² ja 78 km²). Runsas viidennes on peltoa ja noin puolet on metsää Pyhäjärven valuma-alueesta. Järven lähivaluma-alueella on peltoa vain vähän (14 %). Pyhäjoen valuma-alueella peltojen osuus on 23 % ja Yläneenjoen alueella 27 %. Pyhäjärven pinta-ala on 154 km² ja sen valuma-alueen pinta-ala on 461 km². Veden viipymä on noin 4 vuotta. Kuviosta 1 voidaan nähdä, kuinka paljon Pyhäjärven valuma-alueella on peltoa. (Kirkkala, ym. 2007.)



KUVIO 1. Karttaan on merkitty punaisella Pyhäjärven valuma-alueet (Ympäristö 2011)

Valuma-alueilta, ranta-alueilta ja ilmasta tuleva ulkoinen kuormitus on Pyhäjärven rehevöitymiskehitystä edistävä. Ravinnekuormitus tulee Pyhäjärveen voimakkaana piikkeinä rankkasateiden ja talvikuukausien aikana. Pyhäjärveen päätyvät ravinteet tulevat pääosin hajakuormituksena eli huuhtoutumana pelloilta, karjan suojis-

ta ja jaloittelualueilta sekä metsistä. Haja- ja loma-asutuksen vedet myös kuormittavat Pyhäjärveä. Pyhäjärven pohjaan on myös vuosien myötä kertynyt paljon ravinteita, jotka voivat vapautua eliöiden käyttöön näin lisäten kuormitusta. 2000-luvulla yleistyneet lauhat talvet vaikuttavat kielteisesti järven tilaan. Lauhat talvet voivat selvästi lisätä vuoden fosfori- ja kiintoainekuormitusta. Fosforia poistuu Pyhäjärvestä kalastuksen avulla kaloihin sitoutuneena sekä Eurajoesta lähtevän veden mukana. (Kirkkala, ym. 2007.)

Järven lähivaluma-alueilla ja jokien varsilla toteutettavat vesiensuojelutoimenpiteet ovat avainasemassa ulkoisen kuormituksen vähentämisessä, koska noin 66 % Pyhäjärven fosforikuormituksesta tulee jokien, Yläneenjoen ja Pyhäjoen, mukana valuma-alueelta. Kosteikot ja suojavyöhykkeet toimivat hyvin vesiensuojelutoimenpiteinä kasvukauden aikana, mutta leutoina talvina runsaat sateet aiheuttavat voimakasta eroosiota kasvipeitteettömään maahan ja näin voi muodostua ennätysmäisiä fosfori- ja kiintoainepitoisuuksia veteen. Ilmastonmuutoksen myötä leutojen ja vähälumisten talvien ennustetaan yleistyvän, joten talviaikaisen kuormituksen hallintaan on kehitettävä uusia menetelmiä. Tällä hetkellä tärkein olemassa oleva keino talviaikaisen kuormituksen pidättämiseksi on talviaikainen kasvipeitteisyys. Suorakylvö on tehokas vesiensuojelukeino Pyhäjärven valuma-alueella. (Kirkkala, ym. 2007.)

Pyhäjärven suojelurahasto on perustettu vuonna 1995, jotta voitiin turvata Pyhäjärven suojelutoimet ja niiden tarvitsema rahoitus. Rahaston jäseniä ovat alueen kunnat, suurimmat teollisuuslaitokset ja yhdistykset. Pyhäjärveen varastoituvan fosforin määrä ja sisäisen kuormituksen riski on pienentynyt selvästi Pyhäjärven suojelutyön edetessä. (Kirkkala & Ventelä 2002.)

Pyhäjärven tilan heikkenemistä pyritään estämään hoitokalastuksella, sillä järvi-veden fosforista yli puolet voi olla kaloissa. Hoitokalastus on kohdennettua kalastusta ja sillä pyritään voimistamaan petokalakantoja ja poistamaan rehevöitymisen kannalta merkityksellistä kalalajistoa. (Pyhäjärvensuojelu 2011.)

Pyhäjärven valuma-alueella pellot ovat keskittyneet Pyhäjoen ja Yläneenjoen varsille ja nämä joet muodostivat lähes 70 % koko Pyhäjärven valuma-alueesta.

Valuma-alueen maalajit ja kallioperä määräävät valumavesien perusominaisuudet. Pyhäjoen valuma-alueen maaperä on hiekkavoittoinen ja siellä on myös harju-
muodostumia. Yläneenjoen valuma-alueella on kallioista ja alueen jokivarsilla on
paljon eroosioherkkiä, hienojakoisia maalajeja, lähinnä savea ja hiesua, mutta
kauempana Yläneenjoenuomasta maaperä on pääosin moreenia ja turvetta. Soilta
ja metsistä tuleva humus on esillä erityisesti Yläneenjoen alueen sekä useiden
suoraan Pyhäjärveen laskevien ojien vedenlaadussa, mutta Pyhäjoen alueen vesis-
sä on vähemmän humusta. Molempien jokien latvoilla eroosio on voimakasta,
mikä ilmenee ojien korkeampina kiintoainepitoisuuksina ja sameusarvoina. Voi-
makkaat sateet sellaisina vuodenaikoina, jolloin pelloilla ei ole kasvipeitettä nos-
tavat kiintoaine- ja ravinnepitoisuudet erityisen korkeiksi. (Kirkkala & Ventelä
2002.)

3 VEDENLAADUN MÄÄRÄÄVIÄ TEKIJÖITÄ

3.1 Lämpötilakerrostuneisuus

Jotta voidaan laskea happikyllästysaste, tarvitaan veden lämpötila-arvo. Tämän vuoksi lämpötilan mittaaminen on yksi vesistötarkkailujen perusmäärittämisistä. Lämpötila-arvoa tarvitaan myös selvittäessä järven kerrostuneisuustilannetta, joka on tärkeä tieto alusveden ja happitalouden analyysiarvojen tulkinnassa. (Oravainen 1999.)

Suomen järvissä tapahtuu syys- ja kevättäyskierto eli Suomen järvet ovat dimiktisiä. Täyskierron tapahtuessa järven koko vesimassa on saman lämpöistä ja kerrostumatonta. Täyskierron aikana järven happitilanne on todella hyvä, sillä tuulet sekoittavat koko vesimassan. Kesällä, kun veden lämpötila ylittää yli 10 °C, ei tuuli enää voi sekoittaa koko vesimassa, koska kylmä alusvesi pysyy pohjalla. Kun järvissä vallitsee terminen kerrostuneisuus kesäisin ja talvisin, tarkoittaa tämä, että kesällä lämpimämpi vesi on pinnalla ja kylmempi pohjalla ja talvella päinvastoin. Tämä johtuu veden fysikaalisista ominaisuuksista, sillä vesi on raskainta 4 °C:ssa (tiheys 1,00 kg/l). Tätä kylmemmässä tai lämpimämmässä vedessä tiheys pienenee, ja siten vesi kevenee. (Oravainen 1999.)

3.2 Happipitoisuus

Jos vesistössä on korkea happipitoisuus, on se osoitus vesistön hyvästä kunnosta. Happipitoisuusmittaukseen vaikuttaa suuresti mittauksen ajankohta, sillä Suomen järvet ovat ns. dimiktisiä järviä, joten täyskiertojen aikaan happitilanne on aina hyvä, vaikka vesistö olisi voimakkaastikin kuormitettu eli kiertoajat eivät ole siten soveliaita happitilanteen tarkastelulle. (Oravainen 1999.)

Järviin happea tulee liukenemalla ilmasta ja yhteyttävistä kasveista. Bakteerien eloperäisen aineen hajotustoiminta kuluttaa hengityksen ohella järvien happea.

Kylmään veteen happi liukenee helpommin kuin lämpimään veteen. Heikko happitilanne on enemmän matalien järvien ongelma kuin syvien järvien.

Talvisin happi voi loppua, koska jääpeite estää ilman hapen liukenemisen ja kasvit eivät yhteytä, mutta eloperäisen aineen hajoaminen jatkuu. (Valtion ympäristöhallinto 2011a.)

Järven morfologiset ominaisuudet määräävät happivajeen suuruutta rehevyyden ohella. Jos pohjalietteessä on alhainen happipitoisuus, voi tämä johtaa raudan, mangaanin ja ravinteiden vapautumiseen alusveteen. Järvien happipitoisuus on heikoimmillaan juuri ennen täyskiertojen alkamisajankohtaa. Tällöin olisi hyvä ottaa happinäytteet, jotta saa oikean ymmärryksen järven happitilanteesta. (Oravainen, R. 1999.)

3.3 Sameus ja kiintoaine

Sameusarvo kuvaa vedessä esiintyvää sameutta. Sameus mitataan sameusmittarilla, ja sameuden yksikkö on FTU (Formazin Turbidity Units). Jos veden sameuden arvo on alle 1 FTU, tällöin vesi on kirkasta. Lievästi samean veden sameus on 1 ja 5 FTU:n välillä, mutta sameus ei ole vielä selvästi silminnähtävää. Lievästi samean veden arvot ovat tyypillisiä lievästi reheville järvivesille. Kesäisin veden sameutta lisää päänlyvedessä esiintyvä levä, joten kesällä sameus on suurempi kuin talvella. Jokivesissä eroosio on voimakkaampaa kuin järvivesissä, joten jokivedet ovat yleensä selvästi järvivesiä sameampia. Vuodenaika ja sadannan määrä aiheuttavat voimakasta vaihtelua jokivesissä. (Oravainen 1999.)

Vedessä olevan hiukkaismaisen aineen määrää kuvaa kiintoaine. Kiintoaineen määrittäminen tapahtuu suodattamalla tietty vesimäärä tiheän kalvon läpi, joka kuivataan ja punnitaan, täten tulos ilmoitetaan mg/l. Jätevesikuormitus, eroosion kuljetama aines ja runsas biomassa (levät) näytteessä lisäävät veden kiintoainepitoisuutta. Jokivesien kiintoainepitoisuudet vaihtelevat voimakkaasti riippuen vuoden ajasta, sadannasta ja jokivarsien maaperästä. Jos veden kiintoainepitoisuus on alle 1,0 mg/l luokitellaan vesi kirkkaaksi. Kesäisin levien lisääntyessä kiintoainesta voi olla 1-3 mg/l. (Oravainen 1999.)

3.4 Sähkönjohtavuus

Sähkönjohtavuus kertoo veden liuenneiden suolojen määrän eli suuri sähkönjohtavuusarvo kertoo korkeasta suolapitoisuudesta. Suomen vedet ovat yleisesti ottaen vähäsuolaisia, koska kallioperä on heikosti rapautuvaa ja vähäsuolaisuudesta johtuen vesillä on huono puskurikyky. Sisävesissä ilmaantuvia suolojen kationeja ovat natrium, kalium, kalsium, magnesium sekä anioneja kloridit ja sulfaatit. (Oravainen 1999.)

Sisävesissä sähkönjohtavuutta lisäävät lähinnä natrium, kalium, kalsium, magnesium (kationeja) sekä kloridit ja sulfaatit (anioneja). Jätevedet ovat yksi suolojen määrää lisäävä tekijä (jäteveden sähkönjohtavuus 50-100 mS/m) ja toinen suolojen määrää lisäävä tekijä on peltolannoitus. Sähkönjohtavuus voi olla luokkaa 15-20 mS/m voimakkaasti viljellyillä alueilla. Sähkönjohtavuus kasvaa järvissä mitä lähemmäksi mennään pohjaa, koska orgaanisen aineen hajotessa vapautuu ravinteita veteen, jotka lisäävät suoloja veteen. Koska jätevesi näkyy sähkönjohtavuuden nousuna voidaan siten selvittää jätevesien liikkumista ja kulkeutumista vesistöissä. (Oravainen 1999.)

3.5 Happamuus (pH)

Veden happamuus on normaalisti lähellä neutraalia (pH=7,0), mutta Suomen vesistöissä pH on yleensä lievästi hapanta (pH yleensä 6,5-6,8) johtuen vesien luontaisesta humuskuormituksesta. Kesäisin pH-taso on korkeammalla kuin talvisin, koska levätuotanto kohottaa pH-arvoa. Sinileväkukintojen aikaan on tyypillistä, että on korkeat pH-arvot. Alusveden pH on alhaisempi kuin päällysveden, koska alusveteen vapautuu hiilidioksia hajotustoiminnan tuloksena, jonka jälkeen hiilidioksidi reagoi veden kanssa muodostaen hiilihappoa, joka laskee pH-arvoa. Hiilihapon eri olomuodot ja eräät suolat (kalsium ja magnesium) vahvistavat vesistön puskurisysteemiä, joka vastustaa pH:n muutoksia. Suomen vesistöjen puskurikyky on huono, joten vähäinenkin happokuorma riittää vesien happamoitumiseen (hapan laskeuma). Kun veden pH laskee alle 6,0, alkaa happamoituminen tuntua eliöstössä. Jos pH on 5,0, ovat simpukat, kotilot ja ravut kadonneet ja särjen ja

lohikalojen lisääntyminen on häiriintynyt. Merivesien pH on lähellä 8,0:aa, ja ne ovat voimakkaasti puskuroituja. (Oravainen 1999.)

3.6 Alkaliteetti

Alkaliteetti kertoo, kuinka hyvin vesi voi vastustaa pH:n muutosta siihen happoa lisätessä. Sen mittayksikkö on mmol/l. Vedet luokitellaan seuraavanlaisesti puskurikykyänsä mukaan: 1. hyvä, alkaliteetti >0,2 mmol/l, 2. tyydyttävä, alkaliteetti 0,1-0,2 mmol/l, 3. välttävä, alkaliteetti 0,05-0,1 mmol/l, 4. huono, alkaliteetti 0,01-0,05 mmol/l, 5. loppunut, alkaliteetti <0,01 mmol/l. Ryhmän 4 ja 5 kaltaiset vedet voivat helposti happamoitua esimerkiksi kevään sulamisvaluman aikana.

Järven valuma-alueen laatu kertoo, kuinka hyvä puskurikyky järvellä on. Jos valuma-alueella on peltoa paljon, tarkoittaa tämä, että järvi ei happamoidu niin helposti. Jos valuma-alue on karua, kallioista tai ohuen moreenikerroksen omaavaa maata, niin järvi happamoituu helposti. Veden alkaliteetin muutosten tarkkailu on tärkeää, jos haluaa seurata happamuuden kehitystä. (Oravainen 1999.)

3.7 Väri

Veden väri kertoo, kuinka ruskeaa vesi on eli Suomessa lähinnä veden humusleimana. Humusleima tarkoittaa, kuinka paljon vedessä on suolta irronnutta ja tullutta humusta ja maa-ainesta. Vesi voidaan luokitella värillisiksi tai värittömiksi. Väriarvoon vaikuttaa valuma-alueella olevan suonmäärä. Mitä enemmän on suota valuma-alueella sitä enemmän on humusta vedessä eli sitä ruskeampaa vesi on. Väriarvon yksikkönä on mgPt/l eli platina-asteikko. Tutkittavaa vettä verrataan platina-asteikkoon värikiekon avulla, mistä saadaan veden väriarvo. Värittömät vedet ovat väriarvoltaan 5-15 mgPt/l. Lievän humusleiman omaava vesi on väriarvoltaan 20-40 mgPt/l ja erittäin ruskeissa vesissä väri voi olla 100-200 mgPt/l (suovedet).

(Oravainen 1999.)

3.8 Kemiallinen hapenkulutus (COD)

Kemiallinen hapenkulutus mittaa vedessä olevien orgaanisten aineiden määrää, jotka kemiallisesti hapettuvat. Tämä orgaaninen aines voi olla jätevettä, humusta, karjatalouden päästöjä tai luonnonhuuhtoumaa. Metsätaloudesta tulevat päästöt aiheuttavat COD_{Mn}-arvojen nousua vesissä. Valuma-alue vaikuttaa paljon kemiallisen hapenkulutuksen arvoihin etenkin, jos valuma-alueella on paljon suopinta-alaa. Hapettimena käytetään vahvaa hapetinta permangaatti-iona (MnO_4^-). Tulos on suhteellinen, koska kaikki orgaaninen aines ei hapetu. Hapettuneen orgaanisen aineen määrä ilmoitetaan mg O₂/l ja hapetuskemikaalin kulutusta kuvaava arvo ilmoitetaan Kaliumpermangaattilukuna. (Oravainen 1999.)

3.9 Biologinen hapenkulutus (BOD)

Biologinen hapenkulutus kertoo, kuinka paljon vedessä oleva orgaaninen aines aiheuttaa hapen kulumista. Se on kehitetty jokivesien ja likaantuneiden luonnonvesien hapentarpeen arvioimiseksi. Biologisella hapenkulutuksella tarkoitetaan sitä happimäärää, joka kuluu tietyssä aikana (yleensä 5 tai 7 vrk +25°C lämpötilassa) ja määrättyissä oloissa näytteessä olevien orgaanisten aineiden biologiseen hajotukseen happipitoisessa tilassa. Orgaanisia aineita hajottavat hajottajaorganismit, pääasiassa bakteerit, jotka vaativat happea hajottamiseen. Bakteerit käyttävät hajotettua orgaanista ainesta energianlähteenään. Biologisessa hapenkulutuksessa vesinäyte on suljetussa tilassa, jotta voidaan hapen kulutus mitata. Kokeen alussa näytteen happipitoisuus mitataan ja sitten 5 tai 7 vuorokauden päästä mitataan toisen kerran. Jätevedet lisäävät hapenkulutusta, koska niiden BOD₇-arvo on suuri. Puhtaissa vesissä BOD₇-arvo on alle 2 mg/l, jolloin sillä ei ole vaikutusta vesistön happitasapainoon. Jos alkupitoisuus on 5-15 mg/l alkaa vesistön happitasapaino häiriintyä. Jätevesien purkualueella voi syntyä happikato, jos alkupitoisuus on yli 20 mg/l. Biologinen hapenkulutus tapahtuu järvissä talvella paljon hitaammin kuin kesällä, koska hajottajabakteerien aktiivisuus on lämpötilasta riippuvainen. (Oravainen 1999.)

3.10 Kokonaisfosfori

Kokonaisfosforipitoisuus ilmoittaa veden sisältämän fosforin eri muotojen kokonaisuutta. Fosforipitoisuudella arvioidaan rehevyyttä, sillä se on perustuotannon minimitekijä. Fosforipitoisuuden mittayksikkö on $\mu\text{gP/l}$.

Kokonaisfosforipitoisuus luonnontilaisissa karuissa vesissä on alle $10 \mu\text{gP/l}$.

Lievästi rehevässä vedessä kokonaisfosforipitoisuus on $10 - 20 \mu\text{gP/l}$.

Levätuotanto lisääntyy selvästi karuihin järviin verrattuna, kun kokonaisfosforipitoisuus lähenee 20 :tä $\mu\text{gP/l}$. Kun tuotanto lisääntyy, se näkyy alusveden happivaheen kasvuna ja veden lievästä samentumisena. Järvi luokitellaan reheväksi, jos sen fosforipitoisuus on yli $30 \mu\text{gP/l}$. Jos fosforipitoisuus saavuttaa tason $50 \mu\text{gP/l}$, on leväkukinta todennäköistä, ja jos fosforipitoisuus ylittää $50 \mu\text{gP/l}$, luokitellaan vedet jo erittäin reheviksi.

Jos fosforipitoisuus nousee yli $100 \mu\text{gP/l}$, luokitellaan vedet ylireheviksi. (Oravainen 1999.)

Järvissä fosforipitoisuudet vaihtelevat vertikaalisesti siten, että alusvedessä on korkeampi pitoisuustaso kuin pintavedessä, sillä sedimentoitava aine vie fosforia alusveteen. Terveessä järvessä fosfori pidättyy pohjalietteeseen eikä alusveden pitoisuustaso nouse kovin voimakkaasti, koska alusvedessä ei ole happiongelmiä. Fosforipitoisuudet kohoavat voimakkaasti, jos happi loppuu syvänteistä. Pitoisuudet voivat olla jopa kymmenkertaisia päällysveteen verrattuna. Jos halutaan tietää, kuinka suuri rehevöittävä vaikutus lietteestä vapautuvalla fosforilla on koko järven kannalta pitää tietää happikadon mittasuhteet. Jos levätuotanto on päällysvedessä voimakasta ja siitä seuraa pH-tason nousu alueelle $9-10$, tällöin fosforia vapautuu myös ylemmistä sedimenteistä ja järven fosforisisältö voi lyhyessä ajassa $2-3$ kertaistua. Talvella on alhaisemmat fosforitasot kuin kesällä, koska talvella päällysvedessä ei ole juurikaan kasviplanktonia, joten fosfori sedimentoituu pohjalle. Kesäisin fosfori sitoutuu kasviplanktonin avulla tuottavaan kerrokseen. (Oravainen 1999.)

Fosfaattifosfori on liuennutta epäorgaanista fosforia, ja se on pääasiainen levien käyttämä fosforiyhdiste. Fosfaattifosforia ei juuri päällysvedestä löydy, koska levät käyttävät sen välittömästi hyödykseen, vaikka järvessä olisi muuten korkea

kokonaisfosforipitoisuus. Talvella fosfaattifosforia voi esiintyä 5-10 $\mu\text{gPO}_4\text{-P/l}$ ja rehevissä jos 20-50 $\mu\text{gPO}_4\text{-P/l}$, koska tuotanto on silloin vähäistä. Fosfaattifosforiarvoja tarvitaan ravinnesuhteiden laskemisessa ja minimiravinteiden arvioinnissa. (Oravainen 1999.)

3.11 Kokonaistyyppi

Kokonaistypellä tarkoitetaan veden sisältämän typen kokonaismäärää. Siihen lasketaan mukaan kaikki typen eri olomuodot eli orgaaninen typpi ja epäorgaaniset tyypet. Erikseen typen olomuodoista mitataan nitraatti, nitriitti ja ammonium. Mittayksikkönä on luonnonvesissä $\mu\text{gN/l}$ ja jätevesissä pitoisuudet ilmoitetaan $\text{mg/l} = 1000 \mu\text{g/l}$. Typeä tulee vesistöihin jätevesien, sadevesien ja valumavesien mukana. Mitä enemmän on peltopinta-alaa valuma-alueella, sitä suurempi on typpi-kuormitus vesistölle. Luonnontilaisissa kirkkaissa vesissä typpipitoisuus on 200-500 $\mu\text{gN/l}$. Humuspitoisissa vesissä taso on 400-800 $\mu\text{gN/l}$. Typpipitoisuudet voivat olla 2000-4000 $\mu\text{gN/l}$, joskus jopa yli 5000 $\mu\text{gN/l}$ joki- ja ojavesissä, jos alue on runsaasti viljelty. Typen maksimipitoisuudet ilmaantuvat kevätyli valuman aikaan ja runsassateisina kausina. Typeä on kesäisin vähän, koska vedessä olevat tuottajat kuluttavat melkein kaiken. Talvisin tuottajat eivät ole aktiivisia, niin typpipitoisuudet ovat korkeat. Järvissä typpipitoisuudet kasvavat syvemmälle siirtyessä, koska alusvedeen vapautuu mineralisaation seurauksena typpiyhdisteitä. Jos vesi on hapetonta, silloin typpi esiintyy ammoniumina. Nitriittiä luonnonvesissä on vähän (alle 10 $\mu\text{g/l}$). Kokonaistyyppiarvoja käytetään vesistöjen rehevyyden arvioinnissa. (Oravainen 1999.)

Yksi typen olomuodoista on nitraatti, joka muodostaa suuren osan kokonaistypestä tuotantokauden ulkopuolella. Kesäisin levät käyttävät melkein kaiken nitraatin ja sen pitoisuus loppukesällä voi olla alle 5 $\mu\text{g/l}$. Talvisin nitraattipitoisuus voi olla 500-1000 $\mu\text{gNO}_3\text{-N/l}$. Järven aktiivisen levätuotannon voi tunnistaa nitraatin loppumisesta. Alusvedessä nitraattia esiintyy melkein aina, paitsi jos olosuhteet ovat hapettomat. (Oravainen 1999.)

Nitriitti on yksi typen olomuodoista. Se ei ole pysyvä yhdiste, joten pitoisuudet ovat yleensä hyvin pieniä. Yleensä nitriittiä ei kannata analysoida. (Oravainen 1999.)

Ammoniumtyppeä on kokonaistypestä vain pieni osa luonnonvesissä, mutta se on tuotannon kannalta keskeinen ravinne. Päällysveden pitoisuudet ovat yleensä <10-30 $\mu\text{gNH}_4\text{-N/l}$ ja alusveden pitoisuustasot hieman korkeammat. Ammoniumtyypen pitoisuudet voivat nousta yli 100 $\mu\text{gNH}_4\text{-N/l}$, jos olosuhteet ovat vähähappiset tai vedessä on korkea jätevesikuormitus. Ammoniumtyppeä tulee vesistöön yhdyskuntien jäteveden mukana. Ammoniumtyppi voi aiheuttaa hapen kulutusta vesistöissä, mutta alle 100 $\mu\text{gNH}_4\text{-N/l}$ pitoisuus ei aiheuta suuria vaikutuksia. Ammoniumtyppi muuttuu myrkylliseen ammoniakkimuotoon, jos pH-arvo kohoaa yli 8,5. Ammoniakki on kaloille myrkyllistä, mutta Suomessa ei tästä aiheudu kalakuolemia alhaisten pH-arvojen takia. (Oravainen 1999.)

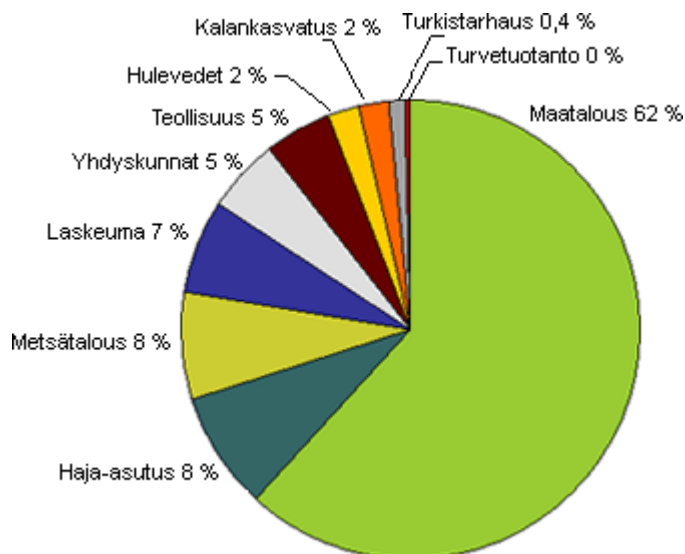
3.12 Klorofylli-a

Klorofylli-a kertoo, kuinka paljon lehtivihreällisiä planktonleviä on vedessä. Sen tulosta voi verrata suoraan levämäärään ja siten järven rehevyystasoon. Vedet ovat karuja, jos klorofylli-a:n määrä on alle 4 $\mu\text{g/l}$. Lievästi reheviksi vesiksi sanotaan vesiä, joissa on klorofylli-a:n määrä 4-10 $\mu\text{g/l}$. Rehevissä järvissä on 10-20 $\mu\text{g/l}$. Erittäin rehevissä 20-50 $\mu\text{g/l}$ ja yli 50 $\mu\text{g/l}$ menevät arvot on ylirehevien järvien luokitusraja. Avovesikaudella tehdään kaikki klorofyllimääritykset. Leväbiomassa vaihtelee paljon säätekijöistä johtuen, joten määrittelyksiä tulee tehdä useita avovesikauden aikana. Klorofylli näyte otetaan kokoomanäytteenä siihen tarkoitettulla näytteenottimella 0-2 metrin vesipatsaasta. (Oravainen 1999.)

4 VESISTÖIHIN KOHDISTUVA KUORMITUS

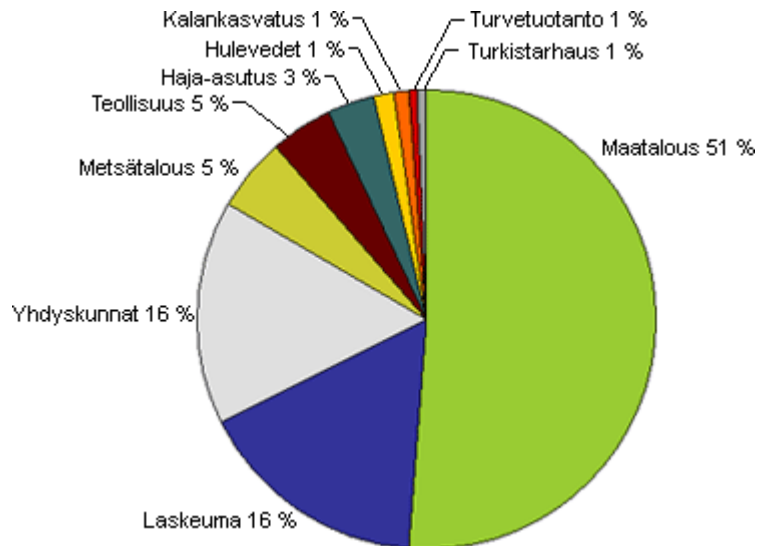
Hajakuormitus on lähtöisin useista pienistä lähteistä. Maatalous on yksi suurimmista hajakuormittajista, koska vesistöihin valuu ravinteita useista pienistä lähteistä. Haja- ja loma-asutus ovat tehokkaasti hajakuormittavia, koska ne usein sijoittuvat jokien ja vesistöjen läheisyyteen. Metsätalous luokitellaan hajakuormitukseksi, kuten myös liikenteen typpi- ja fosforipäästöt, eli hajakuormitusta tulee ilman ja veden mukana. Hajakuormituksen vähentäminen on vaikeaa, koska sen valvominen sen hajanaisuuden vuoksi on hankalaa. Toinen kuormitustapa on pistekuormitus, joka eroaa hajakuormituksesta siten, että pistekuormitus on helposti paikallistettava. Pistekuormitusta on helppo vähentää, koska kuormitus tulee pistemäisestä päästölähteestä, joita on muun muassa kalankasvatuslaitokset, teollisuuslaitokset ja yhdyskuntajätteen puhdistuslaitokset. Kuvioista 1 ja 2 nähdään, kuinka paljon maatalous aiheuttaa fosforipäästöjä ja typpipäästöjä vesistöihin. (Valtion ympäristöhallinto 2009.)

Fosforipäästölähteet:



KUVIO 2. Noin 60 prosenttia ihmistoiminnan aiheuttamasta Suomen vesistöjen kokonaisfosforikuormituksesta oli peräisin maataloudesta vuonna 2004 (Valtion ympäristöhallinto 2011c)

Typipäästölähteet:



KUVIO 3. Noin 50 prosenttia ihmistoiminnan aiheuttamasta Suomen vesistöjen kokonaistyyppikuormituksesta oli peräisin maatalouden toimista vuonna 2004 (Valtion ympäristöhallinto 2011c)

4.1 Haja-asutusalueen vedet

Haja-asutusalueen jätevedessä on mm. orgaanisia aineita, patogeenejä ja ravinteita. Vesistöissä jätevesien orgaaniset aineet kuluttavat happea, ja jos jätevedet johdetaan väärin, niin sen patogeenit muodostavat terveysvaara ja voivat pilata uimaran tai kaivon. Jätevettä voidaan myös hyödyntää, jos sitä käsitellään oikein, sillä siinä on paljon kasveille hyödyllisiä ravinteita.

Haja-asutusalueen talousjätevesiä on kahta eri lajia: mustaa vettä ja harmaata vettä. Mustavesi on käymäläjätevettä ja harmaat vedet tulevat suihkusta ja tiskialtaasta. Mustan veden koostumus on aivan erilainen kuin harmaan veden, sillä se koostuu ulosteesta ja virtsasta, joten se sisältää valtaosan ravinteista.

Virtsa aiheuttaa suurimman osan talousjäteveden ravinteista, vaikka se muodostaa vain 1 % koko jäteveden määrästä. Talousjätevedessä 80-90 % kokonaistypestä on virtsan tuomaa. Virtsa sisältää myös suurimman osan talousjäteveden kaliumista (90 %) ja fosforista (50 %). (Holmberg, Juva, Virta & Flink 2004, 8.)

4.2 Maatalousvedet

Maatalous on yksi suurimmista kuormittajista, sillä vuonna 2004 maatalouden fosforikuormituksen osuus vesien kokonaisravinnekuormituksesta oli noin 63 % ja typpikuormituksesta 51 %. Maatalouden kuormituksesta pelloilta tuleva kuormitus on hajakuormitusta, mutta karjataloudesta tuleva kuormitus on pistekuormitusta, koska ne tulevat lantaloista tai karjasuojista. Lantaloista voi tulla kuormitusta, jos ne ovat huonokuntoisia, vuotavia tai alimitoitettuja. (Valtion ympäristöhallinto 2011c.)

Fosforin huuhtoutumisen määrä riippuu, kuinka paljon kiintoainetta huuhtoutuu, sillä fosfori on yleensä sitoutunut kiintoaineeseen. Tällainen kiintoaineeseen sitoutunut fosfori ei ole suoraan rehevöitymistä aiheuttavien levien käytössä, koska levät käyttävät liukoista fosfori. Kiintoaineeseen sitoutunut fosfori voi kuitenkin muuttua liukoiseen muotoon hapettomissa olosuhteissa. Maatalouden kokonaisfosforikuormituksesta 28 % on liukoista fosforia, joten maatalouden vesistökuormituksen pienentämisessä on hyvä maaperän eroosion estämisen lisäksi estää liukoisen fosforin huuhtoutuminen. (Valtion ympäristöhallinto 2011d.)

Suurimmat kuormitukset maataloudesta aiheutuvat keväällä sulamisvesien aikana sekä syksyllä syyssateiden aikana. Säilörehun puristusnesteen tai lannan levityksen vuoksi voi myös kesäisin syntyä kuormitusta. Lannoitteiden typen ja fosforin hävikki tapahtuu sekä pohjavesiin että pintavaluntana. Fosforin huuhtoutumisalttiutta lisää, jos maa on kyllästynyt fosforilla. (Valtion ympäristöhallinto 2011d.)

4.3 Metsätalousvedet

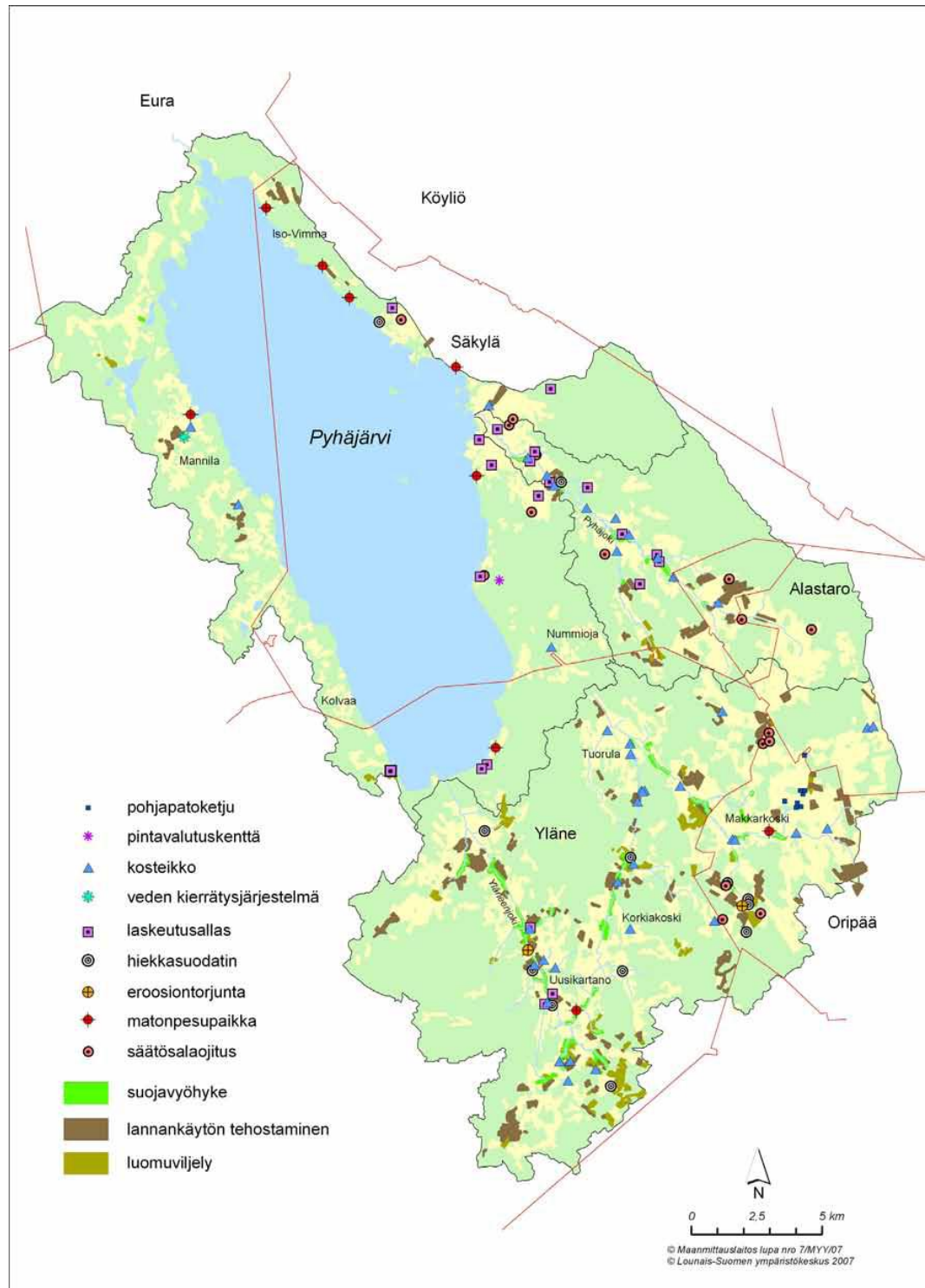
Vuonna 2004 metsätalouden fosforikuormituksen osuus vesien kokonaisravinnekuormituksesta oli 8 % ja typpikuormituksen osuus 5 %. Metsätaloustoimenpiteet eli hakkuut, ojitukset ja maanpinnan muokkaus aiheuttavat ravinnekuormitusta ja kiintoaineen, humuksen ja metallien huuhtoutumista vesistöihin. Metsätaloustoimenpiteet aiheuttavat suurimmat vaikutukset vesistöön ensimmäisen kymmenen vuoden ajan. Joillakin metsätaloustoimenpiteillä voi olla jopa pysyviä vaikutuksia vesistökuormitukseen esimerkiksi ojituksella, koska tulvavedet purkautuvat nopeammin ojitetuilta alueilta. Ojitus aiheuttaa myös soille toiminnallisia muutoksia, sillä suot eivät pidätä enää ravinteita ojituksen jälkeen vaan ne alkavat päinvastoin luovuttamaan ravinteita. (Valtion ympäristöhallinto 2011d.)

Hakkuiden vesistökuormitus aiheutuu hakkuiden yhteydessä maahan tippuneista kuolleista oksista, neulasista ja lehdistä, joissa on suurin osa ravinteista. Hakkuun ajankohta, pohjavesipinnan ja vesistön läheisyys sekä maanpinnan kaltevuus vaikuttavat ravinteiden vesistökuormitukseen. Ravinteita pääsee vesistöön vähemmän, jos hakkuu alueella on hyvin vettä läpäisevä kivennäismaa ja runsas pintakasvillisuus. Maanmuokkauksessa tärkein vesistökuormitukseen liittyvä tekijä on, että mitä enemmän paljastetaan kivennäismaata sitä suurempi riski on, että maaperä syöpyy ja ravinteita huuhtoutuu vesistöön. (Joensuu & Silver 2011.)

5 PYHÄJÄRVEN VALUMAVESIEN RAVINTEIDEN VÄHENTÄMINEN

Maatalouden vesiensuojelumenetelmät voidaan jakaa kahteen eri strategiaan. Ensimmäinen ja toivotuin strategia on toteuttaa maatalouden harjotteita, jotka minimoisivat eroosiota, maaperän irtoamista ja sedimentin liikkumista pois pellolta. Sadon jäännösten tai kasvillisuuspeitteen säilymisen maassa takaavat menetelmät ovat tehokkaita, koska ne parantavat maaperän laatua, vähentävät kaltevuutta ja vähentävät tehokkaasti veden virtaamaa. (EPA 2003.)

Toinen strategia on ohjata pelloilta tulevat valumavedet eri menetelmien läpi. Näitä ovat esimerkiksi suodattimet, laskeutusaltaat, pengerrykset ja kosteikot. Sopivan valumavesien puhdistusmenetelmän määrää paikan olosuhteet. Kuviosta 4 nähdään Pyhäjärven valuma-alueilla toteutetut vesiensuojelumenetelmät. Seuraavana kuvataan näitä Pyhäjärvenkin valuma-alueella käytettyjä valumavesien käsittelymenetelmiä. (EPA 2003.)

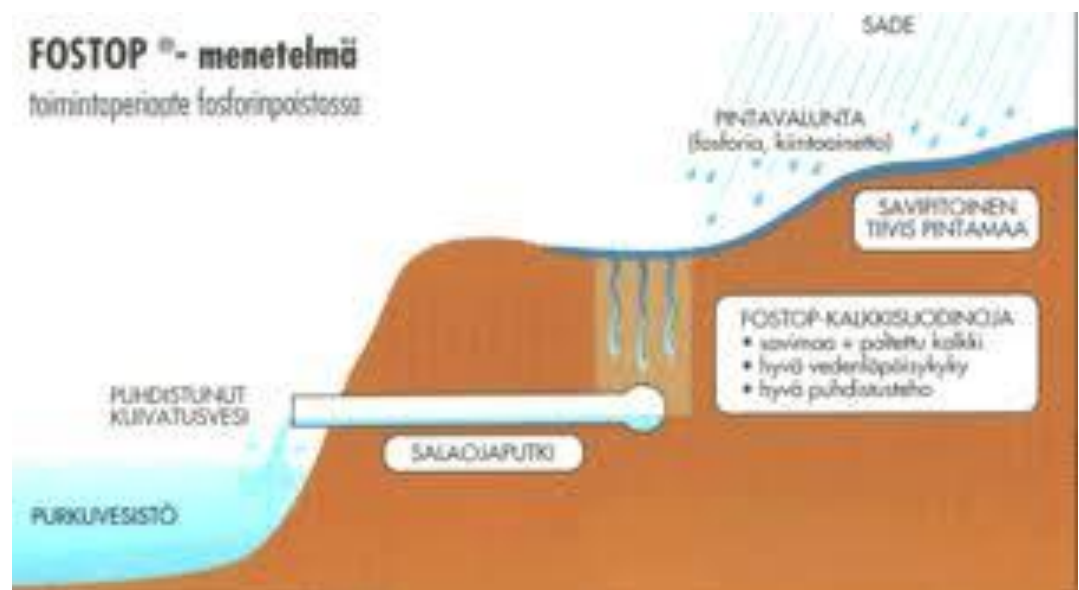


KUVIO 4. Pyhäjärven valuma-alueen kartta, jossa on merkittynä eri vesiensuojelutoimet (Pyhäjärvi-instituutti 2007)

5.1 Kalkkisuodinojitus

Kalkkisuodinojituksen peruseriaate on, että salaojan kaivannon täyttömaahan on sekoitettu poltettua kalkkia, jonka ansiosta ojakaivannon vedenläpäisevyys paranuu ja valumavedet suodattuvat rakenteen läpi, jolloin veden mukana liikkuvaa fosforia sitoutuu ojakaivantoon. Kalkki vähentää myös valumavesien happamuutta. Kalkkisuodinmenetelmällä on Life-Lestijoki-projektissa saatu liukoista fosforia pois vedestä jopa 80 %. Kuviosta 5 nähdään kalkkisuodinojituksen toimintaperiaate. (Valtion ympäristöhallinto 2011b.)

Pyhäjärven valuma-alueelle Pyhäjoen ja Yläneenjoen jyrkimmille rantapelloille on rakennettu yhteensä kuuden kilometrin edestä kalkkisuodinojia. Ne ovat 0,8-1 metriä syviä ja 0,4-0,5 metriä leveitä oja, joiden pohjalle on asennettu salaojaputket. Ne ovat jokiuoman suuntaisia, pellon ja suojakaistan rajaan rakennettuja. Pyhäjärven valuma-alueella kalkkisuodinojituksiin on pidättynyt fosforia keskimäärin 40 %. (Kirkkala & Ventelä 2002.) Kalkkisuodinojituksen hinta koostuu kuljetuksista, kalkin sekoittamisesta kaivumaahan ja poltetun kalkin hinnasta. Vuonna 1996 kalkkisuodinoja metrin kokonaishinta oli 2,18-4 euroa. (Valtion ympäristöhallinto 2011b.)



KUVIO 5. Kalkkisuodinojitus menetelmä Life-Lestijoki -projekti (Valtion ympäristöhallinto 2011a)

5.2 Suojakaistat ja -vyöhykkeet

Suojakaista tai -vyöhyke on pellon ja vesistön välissä oleva monivuotisen kasvillisuuden peittämä alue, jota ei viljellä, lannoiteta eikä käsitellä kasvinsuojelua-aineilla. Suojakaista tai -vyöhyke suojaa ranta-alueita eroosiolta sekä ravinnepuhuttumilta monivuotisen kasvillisuuden avulla. Kasvillisuus voi olla nurmea, viherkesantoa, puita, pensaita tai suojaviljaa. Suojavyöhykkeen keskileveyden on oltava vähintään 15 metriä ja suojakaistan leveyden on oltava vähintään keskimäärin kolme metriä maatalouden ympäristötuen ohjeiden mukaisesti. (Paasonen-Kivekäs, Peltomaa, Vakkilainen, & Äijö 2009, 256.)

Suojakaistan ja -vyöhykkeen kasvillisuus hidastaa pintavaluntaa ja siten vähentää pelloilta tulevaa kiintoaines- ja ravinnekuormitusta. Pintavaluntaan vaikuttaa suuresti suoja-alueen leveys ja kasvillisuus. (Paasonen-Kivekäs ym. 2009, 259.)

Jos pellot ovat jyrkästi vesistöön tai valtaojaan viettäviä tai rantapellon maalaji on helposti veden mukana liikkuvaa, silloin suojakaistoista ja -vyöhykkeistä on hyötyä vesiensuojelulle. Tulva-alueilla suoja-alueista on myös suuri hyöty. Suoja-alueet lisäävät myös maaseutu ympäristön monimuotoisuutta ja elävöittävät maisemaa. (Valtion ympäristöhallinto 2011b.)

Suoja-alueen kasvillisuutta on vuosittain niitettävä ja kasvijäte korjattava pois, jotta se pystyisi vielä vähentämään liukoisia ravinnepuhuttumia edelleen. Suoja-alueita voi myös laiduntaa, mutta sen on sallittua vain, jos se ei lisää eroosiota eikä vaikuta veden hygieeniseen laatuun heikentävästi. (Paasonen-Kivekäs ym. 2009, 259.)

5.3 Laskeutusaltaat ja kosteikot

Laskeutusallas on ojan tai puron yhteyteen kaivamalla tai patoamalla tehty allas. Sen avulla pyritään poistamaan pelloilta veden mukana liikkeelle lähtenyttä kiintoainesta ja sen mukana kulkeutuvia ravinteita. Laskeutusaltaan avulla vedessä oleva maa-aines laskeutuu altaan pohjalle, koska allas hidastaa veden virtausnopeutta sekä pyörteisyyttä. Laskeutusaltaat edistävät maaseudun luonnon monimuotoisuutta ja elävöittävät maalaismaisemaa. (Paasonen-Kivekäs ym. 2009, 259.)

Kosteikko on rakennettu tai luontaisesti syntynyt vesiallas ja sen ranta-alue. Kosteikkojen avulla pystytään vähentämään ravinteiden ja kiintoaineen lisäksi myös raudan ja torjunta-aineiden pitoisuuksia vedessä. Kosteikko toimii hyvin vain, jos siinä on paljon vesikasvillisuutta, sillä kasvillisuus sitoo itseensä ravinteita sekä vaikuttaa pohjasedimentin ja veden happiolosuhteisiin ja sitä kautta kosteikon puhdistusprosesseihin. Kosteikossa maa-ainesta poistuu sedimentoitumalla eli laskeutumalla pohjalle. Tärkeimmät kosteikon puhdistusprosessit ovat ravinteiden pidättyminen kasvustoon ja vapautuminen kasvustosta sekä liukoisten ravinteiden reaktiot. (Paasonen-Kivekäs ym. 2009, 259.)

Pyhäjärven valuma-alueella on noin 60 kosteikkoa tai laskeutusallasta. Vuosina 1996-2000 Pyhäjärvi-LIFE-projektissa yritettiin löytää edullisimpia tapoja toteuttaa kosteikkoja ja laskeutusaltaita, jotka olisivat hyviä pidättämään ravinteita ja niiden kunnossapito olisi helppoa. Valuma-alueella on yksittäisten altaiden lisäksi rakennettu pienten patoaltaiden ketju sekä laskeutusaltaan ja kosteikon yhdistelmiä. Jotta altaat ja kosteikot toimisivat tehokkaasti kiintoaineen ja ravinteiden pidättäjinä niiden pitäisi olla vähintään 1-2 % yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta. (Kirkkala & Ventelä 2002.)

5.4 Ojanpohjasuodatus

Ojanpohjasuodattimia on Pyhäjärven alueen ojavesissä kahdeksassa eri kohteessa. Ojanpohjasuodatus toimii siten, että vesi pakotetaan patoamalla suodattumaan kalkki-hiekka- tai Fosfilt-hiekkakerroksen ja ojan pohjalle laitetun 5-15 cm sala-ojatorakerroksen läpi, jonka jälkeen vesi menee salaojaputkeen. Ojanpohjasuodattimien avulla on saatu ojien fosforipitoisuutta vähennettyä keskimäärin 30 %. (Kirkkala & Ventelä 2002.)

5.5 Talviaikainen kasvipeitteisyys

Talviaikaisella kasvipeitteisyydellä ehkäistään maa-ainekseen sitoutuneiden ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin suojaamalla maapintaa sulamis-, sade- ja valumavesien sekä tuulen aiheuttamalta eroosiolta. Kasvipeitteisyys parantaa myös maan vesitaloutta ja rakennetta. Pellon talviaikaisena kasvipeitteisyytenä pidetään monivuotista kasvillisuutta. Syksyllä jätetty sänki talviaikaisen kasvillisuuden lisäksi auttaa vähentämään ravinteita. (Ympäristö 2011f.)

5.6 Tehostettu hiekkasuodatus

Tehostetun hiekkasuodattimen toiminta perustuu kemialliseen ja mekaaniseen suodattumiseen. Valumavesien, joiden fosforipitoisuudet ovat pieniä, fosfori sitoutuu maa-ainekseen lähinnä adsorboitumalla alumiini-, rauta- ja kalsiumpitoisten mineraalien pinnalle. Valumavesien ravinteita on tehostetulla hiekkasuodattimella vaikeampi poistaa kuin jätevesien ravinteita, koska valumavesissä on liian vähän ravinteita ja valumaveden laatu vaihtelee huomattavasti riippuen säästä. Hiekkasuodattimissa alkaa tapahtua myös biologista hajoamista, kun aikaa on kulunut tarpeeksi. Hiekkasuodattimia on tehostettu sitomaan fosforia lisäämällä suodatinkerrokseen kalkkia tai Fosfilt -materiaalia. (Kirkkala & Ventelä 2002.)

5.7 Hiekkasuodatuskentät

Hiekkasuodatinkenttä muodostuu noin metrin syvyysestä imeytyskentästä, mikä on täytetty hiekalla, johon on sekoitettu jotakin fosforia sitovaa materiaalia kuten kalkkia, Fosfilt -materiaalia, kipsiä tai näitä kaikkia yhdessä. Pyhäjärven valuma-alueella näitä kenttiä on kuudessa eri paikassa. Toimintaperiaate on, että kentän yläpuolella olevasta laskeutusaltaasta vesi johdetaan hiekkasuodatuskenttään, jonka jälkeen vesi suodattuu korkeuserosta johtuvan paineen vuoksi kentässä alhaalta ylöspäin ja poistuu kentän pinnasta kokoojaputkia pitkin vesistöön. Vuosina 1997-2001 Pyhäjärven valuma-alueella olevien kalkkiehiekkasuodattimet ovat poistaneet kokonaisfosforia keskimäärin 75 %, joten ne ovat tehokkaita ja toimivia fosforin poistajia, mutta tyypeä ne eivät ole pidättäneet. Fosfilt-massaa sisältävät hiekkasuodatuskentät ovat poistaneet fosforia keskimäärin 30 %, mutta ne ovat myös pidättäneet ammoniumtyyppiä hyvin. Hiekkasuodattimilla pystytään vähentämään valumavesien ravinnekuormitusta erityisesti korkea ravinteisissa kohteissa, sillä oikein mitotetuilla ja rakennetuilla voidaan vähentää maatalouden aiheuttamaa kiintoaine- ja fosforikuormitusta. (Kirkkala & Ventelä 2002.)

6 VALUMAVESIEN RAVINTEIDEN PIDÄTTYMISMEKANISMIT

6.1 Kiintoaine

Valumavesissä voi olla runsaasti kiintoainesta, jonka poistaminen valumavedestä on helpointa hidastamalla virtausta, siten että kiintoaines ehtii laskeutua esimerkiksi kosteikon pohjalle. Tätä kutsutaan myös sedimentoitumiseksi. Pelloilta tulevissa vesissä on kiintoaineeseen sitoutunutta fosforia, joka kiintoaineen sedimentoituessa pidättyy pohjaan. Veden viipymällä on sedimentaation kannalta suuri merkitys, nimittäin mitä pidempi viipymä, sitä enemmän ja hienojakoisempia kiintoaineita laskeutuu pohjalle. Laskeutumisen teho riippu laskeutusaltan koosta, kiintoaineen määrästä ja sen ominaisuuksista. Jos altaan virtaama on nopea, eivät ehdi kuin karkeat kiintoaineet laskeutumaan. Kosteikossa kiintoainesta pidättyy myös tarttumalla kasvillisuuteen. Kasvillisuuteen tarttunut kiintoainemäärä kasvaa suuremmiksi murusiksi, jotka painavimpina painuvat kosteikon pohjaan. Kosteikkojen kasvillisuus toimii hyvin virtaaman hidastajana. Lyhyillä viipymillä esimerkiksi ylivirtaamatilanteissa on suuri riski, että tapahtuu sedimentoitumiselle vastakkainen ilmiö niin sanottu resuspensio eli kiintoaine lähtee pohjasta uudelleen liikkeelle. (Puustinen, Koskiaho, Gran, Jormola, Maijala, Mikkola-Roos, Puumala, Riihimäki, Rätty ja Sammalkorpi 2001, 7.)

6.2 Kokonaisfosfori

Fosfori pidättyy kemiallisesti hyvin vain sellaisiin maakerroksiin, missä on runsaasti rauta- ja alumiinioksiedeja ja -hydroksiedeja. Tällaista maata on podsoli- maannoksen rikastumiskerroksessa. Kemiallinen pidättyminen on sidoksissa raudan ja alumiinin pitoisuuksiin, joten humukseen fosforia pidättyy erittäin heikosti. (Väänänen 2008.)

Veden happamuus (pH alle 7) sekä hapelliset olosuhteet tehostavat fosforin kemiallista pidättymistä. Fosfori pidättäytyy helpommin maa-ainekseen, jos maa-aineksessa on alhainen fosforipitoisuus. Kosteikot voivat toimia fosforin kuormituslähteenä, jos kosteikkoon tulevan veden fosforipitoisuus on hyvin alhainen. (Puustinen, ym. 2001, 8-9.)

Suurin osa (75 %) maatalouden valumavesien fosforista on kiintoaineeseen sitoutunutta, joten fosforin pidättymisessä tärkeä mekanismi on kiintoaineen laskeutuminen. Tämänlainen fosforin pidättyminen ei vähennä vesistöjen rehevöitymistä, sillä levät käyttävät liuennta fosforia. Liuennta fosfori sitoutuu kemiallisesti kosteikossa oleviin maahiukkasiin. Suuri osa partikkelimaisesta fosforista on sitoutunut saviainekseen, joka on todella hitaasti laskeutuva. Tämän vuoksi on hyvä tehdä laskeutusaltaista ja kosteikosta tarpeeksi suuria, jotta viipymä olisi tarpeeksi pitkä. (Puustinen, ym. 2001, 9.)

Kasvillisuus toimii fosforin pidättäjänä koko kasvukauden, mutta syksyllä kasvin kuollessa fosforit vapautuvat uudelleen veteen. Kasvien fosforin tarve loppuu nopeasti, joten kasvillisuus ei hyödynnä tehokkaasti valumaveden ravinteita. Mikrobit käyttävät fosforia energian tarpeeseensa. Mikrobiaktiivisuus kasvaa turvemaalla ravinteiden lisääntyessä. Fosfori pidättyy mikrobeihin tehokkaimmin turpeen hapellisessa pintakerroksessa, jossa hajotus on tehokkainta ja mikrobitiheys on suurin. (Hynninen, Saari, Nieminen, Alm 2010.)

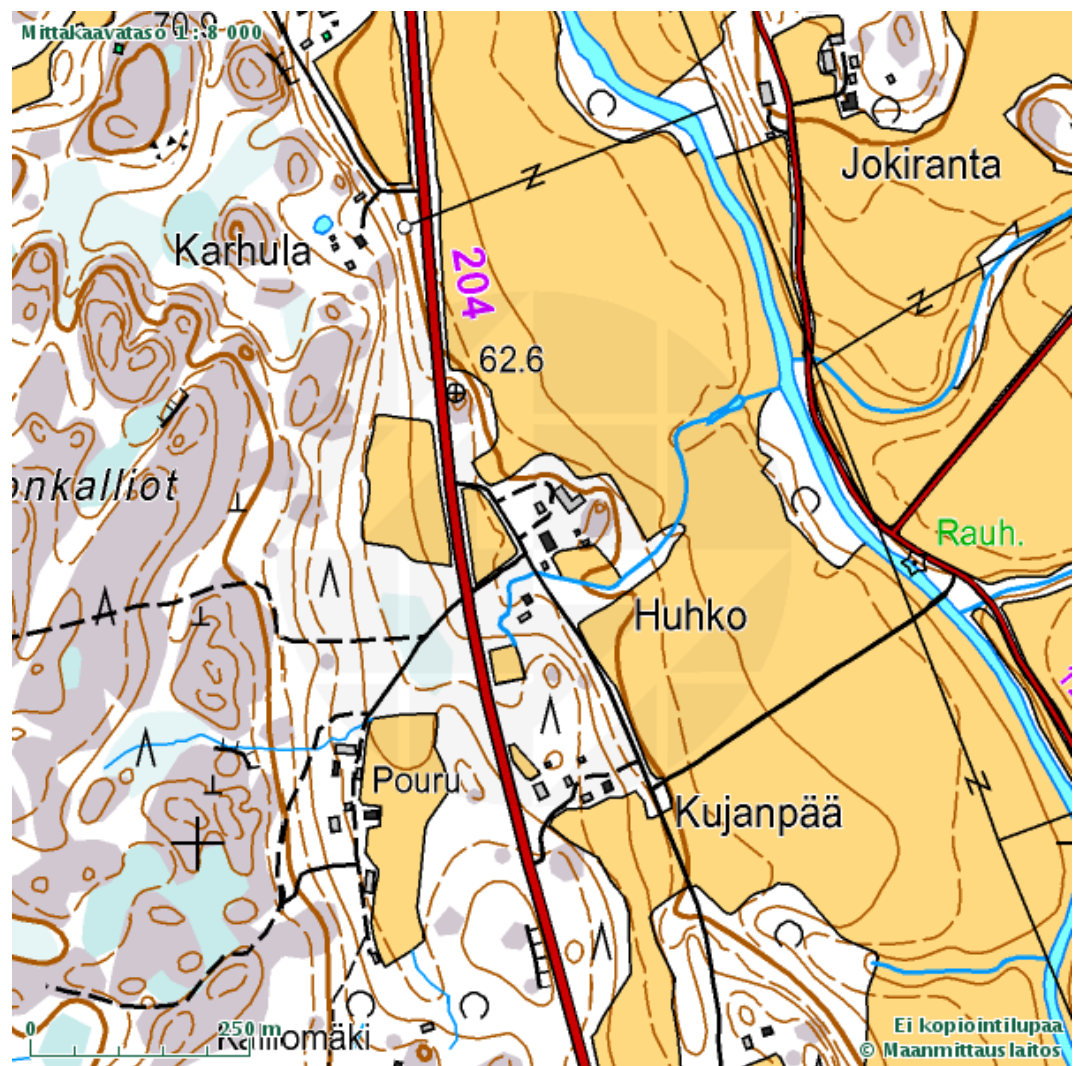
6.3 Kokonaistyyppi

Merkittävin typenpoistoprosessi on denitrifikaatio, jossa mikrobitoiminnan seurauksena nitraattityppi pelkistyy kaasumaiseen muotoon ja poistuu ilmakehään. Kosteikko-olosuhteet ovat yleensä hyvä denitrifikaatiolle. Denitrifikaation aktiivisuuden vaikuttavat orgaanisen aineen määrä kosteikossa, happiolot, lämpötila, tulevan veden nitraattipitoisuus, pH ja veden viipymä kosteikossa. Mitä korkeampi nitraattipitoisuus ja lämpötila, mitä enemmän orgaanista ainetta sekä mitä pidempi viipymä kosteikossa, sitä tehokkaammin typpeä poistuu. Valtaosa maatalouden valumavesien typestä on liuenneessa muodossa, joten kiintoaineen laskeutuminen ei pidätä typpeä merkittävästi. Kasvillisuus vaikuttaa monin tavoin typen pidättymiseen kosteikossa. Kasvillisuuden avulla virtaama hidastuu ja sen vuoksi viipymä kasvaa, mikroympäristöjä muodostuu kasvien pinnoille ja pohjaan sekä juuristo hapettaa pohjaa. Nämä kaikki tehostavat typen poistumista denitrifikaation kautta. (Puustinen, ym. 2001, 9.)

Kasvillisuus voi sitoa kasvukauden aikana melko paljon ravinteita, mutta siitä ei ole hyötyä, jos kasvien annetaan lakastua ja hajota veteen kasvukauden lopussa, vaan ne kuuluvat niittää ja poistaa säännöllisesti. Juuristot ja puumaiset ainekset pidättävät ravinteita hyvin, koska ne eivät lähde liikkeelle vuosittain. Pajut ovat todetusti hyviä ravinteiden sitoja kosteikoissa. Kosteikoissa ja laskeutusaltaissa pitkä viipymä on tärkeä tekijä, koska pääosa kuormituksesta ajoittuu Suomen olosuhteissa, silloin kun vesikasveja ei ole hidastamassa veden virtausta eli kylminä ajanjaksoina. (Puustinen, ym. 2001, 10.)

7 FOSFILT-HIEKKASUODATINJÄRJESTELMÄ HUHKOSSA

Huhkon suodatin on rakennettu pieneen ojaan, joka on 3 metriä laaja kaivanto kahden pellon välissä, ja siinä virtaa viljapelloilta ja talousmetsästä tuleva vesi. Alueen, jossa Huhkon suodatin sijaitsee, omistaja on hyötynyt peltoalan lisääntymisestä. Kohteen alapuolella on laskeutusallas/kosteikko. Suodatin on toiminut hyvin, veden johtavuus ja ravinteiden pidätyskyky ovat hyvät. Suodatin on ojassa Pöytyän kunnan alueella, jossa Pyhäjärven valumavedet kertyvät. Kuviosta 6 voidaan katsoa tarkemmin, minkälaisesta alueesta on kyse. Suodattimen tavoitteena on vähentää Pyhäjärven fosforikuormaa, joka on järven rehevöitymisen syytä. Ari Sallmen on suunnitellut kyseisen suodattimen.



KUVIO 6. Huhkon alueesta maastokartta (Karttapaikka 2011).

7.1 Materiaalit, mitat ja kustannukset

Huhkon suodattimessa on 0,1 metrin paksuinen suodatinkerros, jossa on Fosfilt-massan, kipsin, kalkin ja hiekan seosta. Fosfilt on kaupallinen tuotenimi titaanioksidin valmistuksessa syntyvälle rautapitoiselle sivutuotteelle, jonka on havaittu sitovan itseensä tehokkaasti fosforia. Fosfilt on alumiini- ja rautahydroksidia sisältävää sedimenttisakkaa ferrosulfaattiin sekoitettuna.

Kustannukset ovat syntyneet suunnittelusta, materiaaleista, suodatinmassasta ja tehdystä työstä. Huhkon suodatin on 1999 vuonna maksanut 8000 euroa.

(Kirkkala, ym. 2007.)

Suodattimen yläkerroksessa, joka on sepeliä ja soraa, on vedenjakoputki ja alakerroksessa, joka koostuu salaojasorasta, on kaksi kokoojaputkea.

Hulevedet suodattuvat alaspäin suodatinta ja sen suodatuskapasiteetti on optimaalinen. Typenpoistotehokkuus vaihtelee, mutta suodatin on kyennyt tehokkaasti pienentämään veden fosforipitoisuutta. (Kirkkala, ym. 2007.)

Jotta fosfori ehtisi sitoutua Fosfilt-käsittelyssä, tulee veden viipymän olla selvästi pidempi kuin kalkkikäsittelyssä. Ennen suodattimeen johtamista veden kiintoaineet tulee laskeuttaa mahdollisimman hyvin, jotta vesi on puhdasta eikä suodattimeen tule tukkeumia, jotka aiheuttavat suodattimeen ohivirtaamia. Suurin hyöty suodattimista saadaan, kun yläpuolella on laskeutusallas (kiintoaineen kiinnittämiseksi) ja alapuolella kosteikko (typen poistamiseksi). Suodattimeen tulevan veden laatu ratkaisee suodattimen tehon ja sen eliniän. Liitteinä ovat Huhkon suodattimen poikkileikkauskuva (liite 1) ja pituusleikkauskuva (liite 2). (Kirkkala, ym. 2007.)

7.2 Toimintaperiaate

Ennen suodatinta on pato, joka hidastaa ojan veden virtausta ja näin ollen kiintoaineet saavat enemmän aikaa laskeutuakseen pohjaan. Pato on hyvä, koska kiintoaineiden vähenemisen johdosta suodatin ei mene niin herkästi tukkoon. Vesi suotautuu alaspäin suodattimessa Fosfilt -massan, kalkin, kipsin ja hiekan läpi. Suodattimessa käytetyt massat ovat hyviä fosforinpidättäjiä.

7.3 Suodattimen hoito ja seuranta

Suodatin ei ole tarvinnut hoitoa paljonkaan. Rakentamisen jälkeen seuranta aloitettiin ja otettiin näytteitä suodattimen yläpuolisesta vedestä ja alapuolisesta vedestä useita kertoja vuodessa muutaman vuoden ajan. Sen jälkeen seuranta on ollut melkein joka vuosi muutaman kerran vuodessa.

Suodattimen massa on joko vaihdettava tai siihen on sekoitettava uutta materiaalia, kun sen puhdistusteho loppuu. Puhdistustehon seuraamiseksi suodattimien toimintaa on seurattava etenkin runsaiden virtaamien aikana. Kun massa on vaihdettava, se voidaan levittää esimerkiksi pellolle, sillä se ei ole myrkyllistä.

8 TUTKIMUSMENETELMÄT

Vesinäytteet otettiin suodattimen ylä- ja alajuoksulta. Tavoitteena oli ottaa näytteitä aikana, jolloin virtaus oli suurta, mutta näytteitä otettiin myös pienen virtaamaan aikana. Näytteet otettiin suoraan sterilisoituihin muovipulloihin, jotka säilytettiin kylmälaukussa ja jääkaapissa ennen analysointia. Analysointi aloitettiin 24 tunnin sisällä näytteidenottoajankohdasta. Vesinäytteet analysoitiin Lounais-Suomen ympäristökeskuksessa vuoteen 2001 asti, minkä jälkeen analysointi siirtyi Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:lle. Suomen kansallinen akkreditointielin eli FINAS on hyväksynyt laboratorioissa käytettyjen toimenpiteiden menetelmät. (Kirkkala 2011.)

Kiintoaineet (SS), kokonaisfosfori (PTOT), liuennut reaktiivinen fosfori (DRP), kokonaistyyppi (NTOT), ammoniumtyppi ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitraatti- ja nitriittityppi ($\text{NO}_{2+3}\text{-N}$) analysoitiin eri näytteistä. Kokonaisfosfori ja kokonaistyyppi $\text{NO}_3\text{-N}$:nä mitattuna analysoitiin ammonium molybdaatilla, mutta sitä ennen näytteisiin lisättiin $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ eli kaliumpersulfaattia. $\text{NH}_4\text{-N}$ analysoitiin kolorimetrisesti hypokloriitilla ja fenolilla, ja $\text{NO}_3\text{-N}$ ja $\text{NO}_2\text{-N}$ summa pääteltiin reduktiomenetelmällä. (Kirkkala 2011.)

Sähkönjohtavuus (EC) pääteltiin konduktometrisellä menetelmällä (25 °C) ja pH elektrometrisesti. Toiset näytteet valutettiin 0,4 µm paksun polykarbonaattifiltterin läpi, minkä avulla kiintoaineet (SS) pääteltiin gravimetrisesti filtteristä. Suodoksesta analysoitiin DRP eli liuennut reaktiivinen tyyppi ammoniummolybdaattimetodilla askorbinen happo pelkistimenä. (Kirkkala 2011.)

Suodattimen virtaaman ulostulonopeus mitattiin aina, kun vesinäytteet otettiin. Ämpäri, jonka tilavuus tiedettiin, täytettiin suodattimesta ulostulevalla vedellä ja otettiin aikaa, kuinka kauan tietyn tilavuuden täyttyminen kesti. Kokonaisvirtaama-, sisään- ja ulosvirtaamamittausten perusteella laskettiin sisään ja ulos virtaavan kiintoaineen (SS) ja ravinteiden ja niiden prosentuaalinen väheneminen. Mitattujen sisäänvirtaaman ja reduktion tarkoituksena oli arvioida suodatinmateriaalin fosforinpoistokykyä. (Kirkkala 2011.)

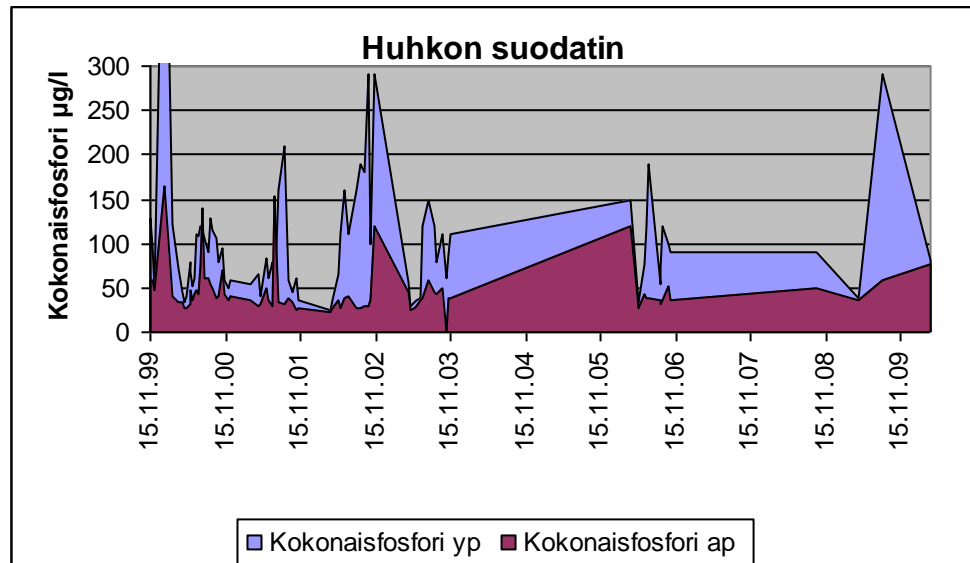
9 NÄYTTEIDEN ANALYSOINTI JA TULOKSET

Kuvioista näkee suodattimen yläpuolisen (yp) ja alapuolisen (ap) veden arvoja. Näiden arvoja vertailemalla saadaan selville tutkittavan suodattimen puhdistusteho kunkin ravintoaineen ja kiintoaineen kohdalla. Reduktioarvojen korrelaatiokerrotoimien suhde verrattuna kiintoaineen (SS), kokonaisfosforin (PTOT), liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) ja kokonaistypen (NTOT) konsentraatiot sisäänvirtaamassa laskettiin, kuten myös reduktioarvojen riippuvuussuhde verrattuna ulosvirtaaman arvoihin. (Pyhäjärvi-instituutti 2011.)

9.1 Tulokset

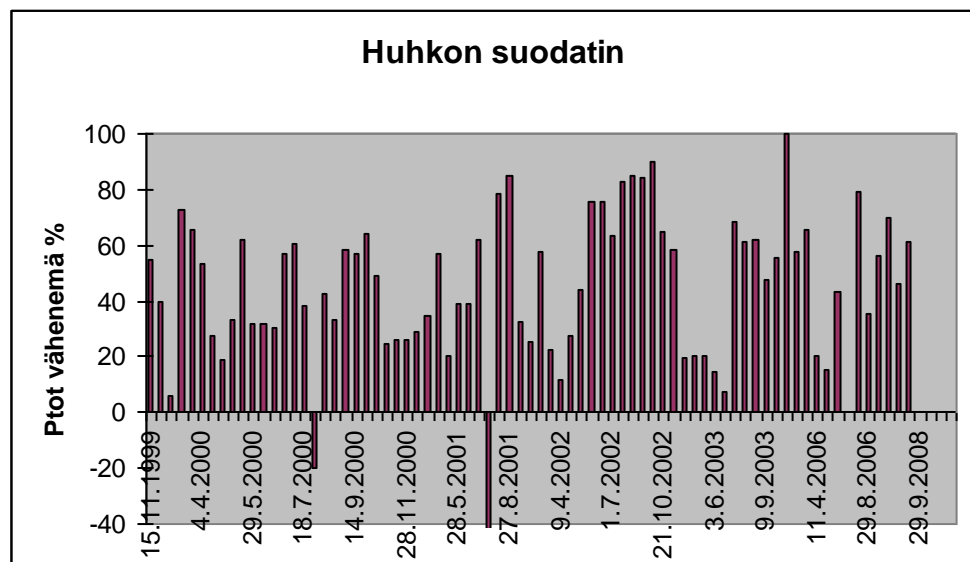
9.1.1 Kokonaisfosfori

Suodattimen päällimmäisenä tarkoituksena on ollut poistaa fosforia, koska ojan, jossa suodatin sijaitsee, ravinteet päätyvät lopulta Pyhäjärveen, jonka rehevöitymisen aiheuttavat korkeat fosforipitoisuudet. Fosfori on vesistöjen perustuotannon minimitekijä, joten sitä vähentämällä on paras tapa taistella rehevöitymistä vastaan. Kuviosta 7 voi vertailla suodattimen yläpuolisen veden fosforipitoisuutta alapuolisen veden fosforipitoisuuteen. Vaikka välillä tulevan veden kokonaisfosforimäärä on ollut todella korkea, on suodatin pystynyt poistamaan suurimman osan. Kymmenen vuoden ajan suodatin on pystynyt hyvin vähentämään veden kokonaisfosforipitoisuutta. Veden fosforipitoisuus on laskenut 41 prosentilla vuosien 1999-2010 keskiarvona.



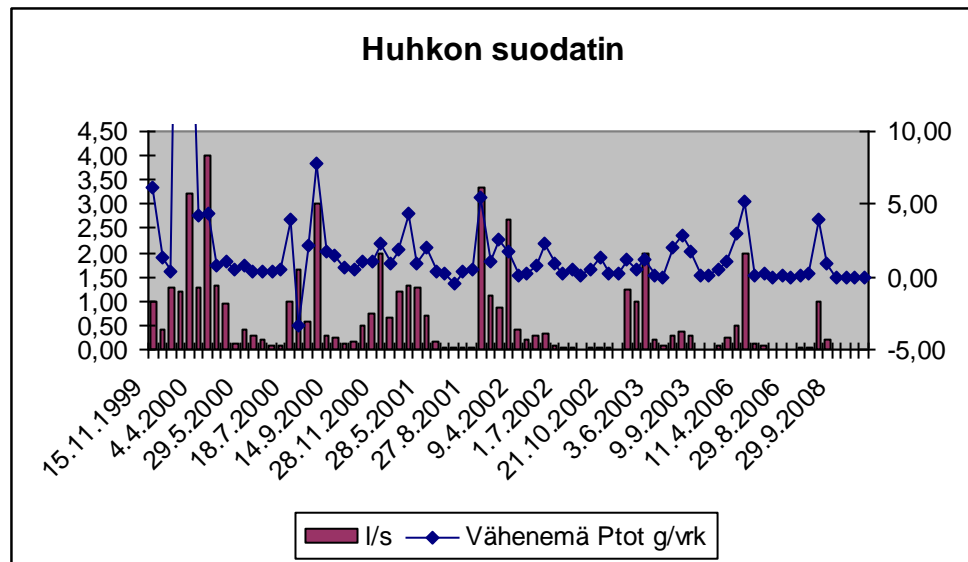
KUVIO 7. Kokonaisfosforipitoisuuden väheneminen kymmenen vuoden aikana.

Kuviossa 8 näkyvät poikkeukset kokonaisfosforin poistotehossa voivat johtua runsaista sateista, jolloin suodatin on ollut liian kovalla koitoksella ja näin ollen päästänyt veden ravinteet suodattimen läpi ilman kunnollista kontaktia fosforinpi-dätys materiaalin kanssa. Välillä fosforia on poistunut jopa 80 prosenttia. Näin hyvä tulos on voinut syntyä, jos virtaama on ollut niin hidas, että fosfori on ehti-nyt reagoida kunnolla suodatinmateriaalin kanssa.



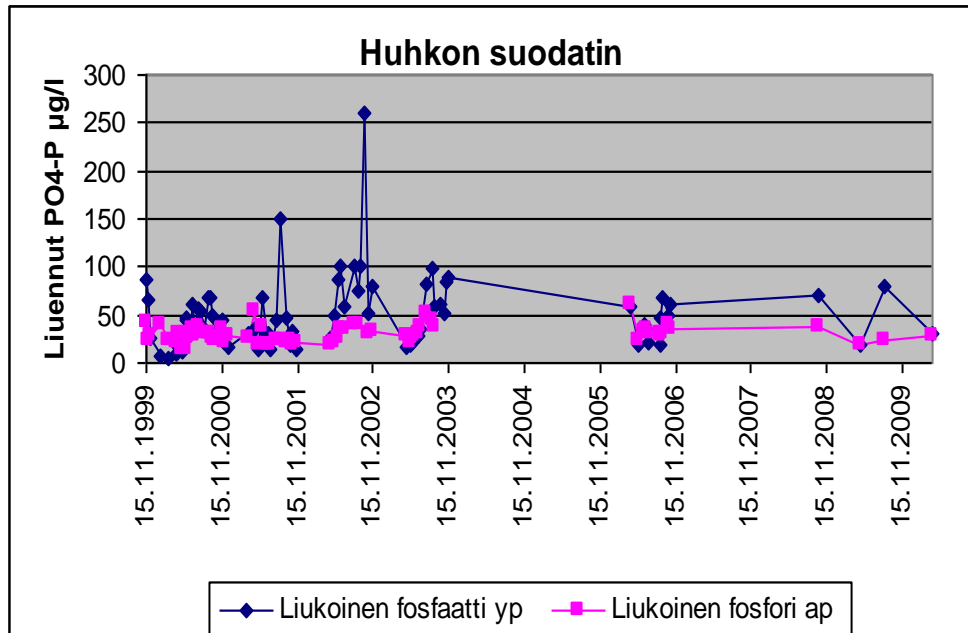
KUVIO 8. Kokonaisfosforin väheneminen prosentteina.

Kuviossa 9 ei näy vuoden 2010 tuloksia, koska virtaamaa ei ole mitattu vuoden 2006 jälkeen. Keskiarvona kokonaisfosforia poistui noin kymmenen vuoden ajan 1,3 grammaa per päivä. Kuvasta näkyy, että kovillakin virtaamilla on fosforia poistunut suhteellisen paljon. Fosforia pidättyi suodattimeen eniten silloin, kun tulevassa vedessä oli korkea fosforipitoisuus ja virtaama oli sopivan pieni.



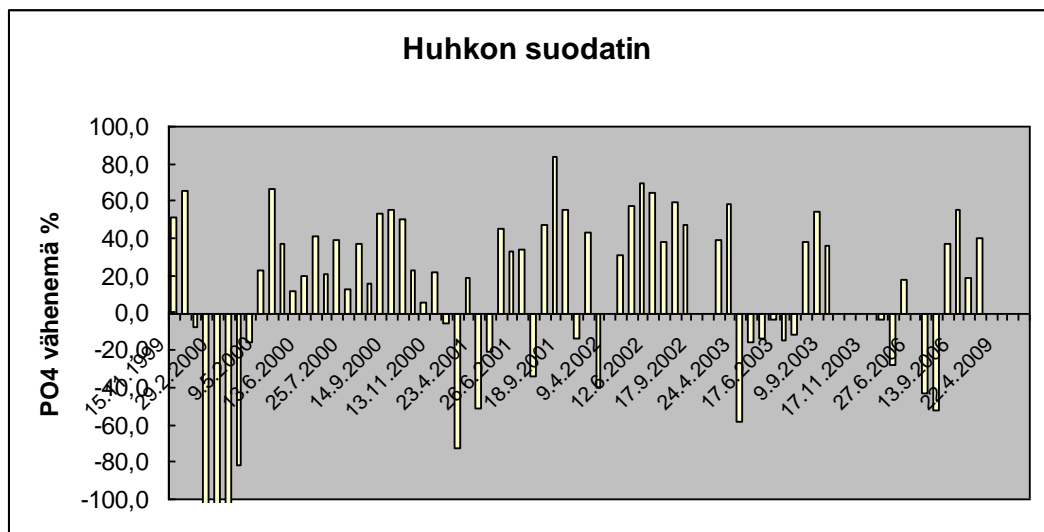
KUVIO 9. Virtaaman vaihtelun ja kokonaisfosforin pidättymisen tulokset.

Kuviossa 10 näkyy liuenneen fosforin pitoisuuden vaihtelut. Liuennut fosfori on levien suoraan käytettävissä. Kuviossa näkyy, että suodatin on saanut liuenneen fosforin pitoisuudet vähenemään. Liuennut fosfori ei pidäty suodattimeen mekaanisesti, vaan kemiallisesti. Fosfilit-massan alumiini- ja rautahydroksidi pidättävät liuenneen fosforin.

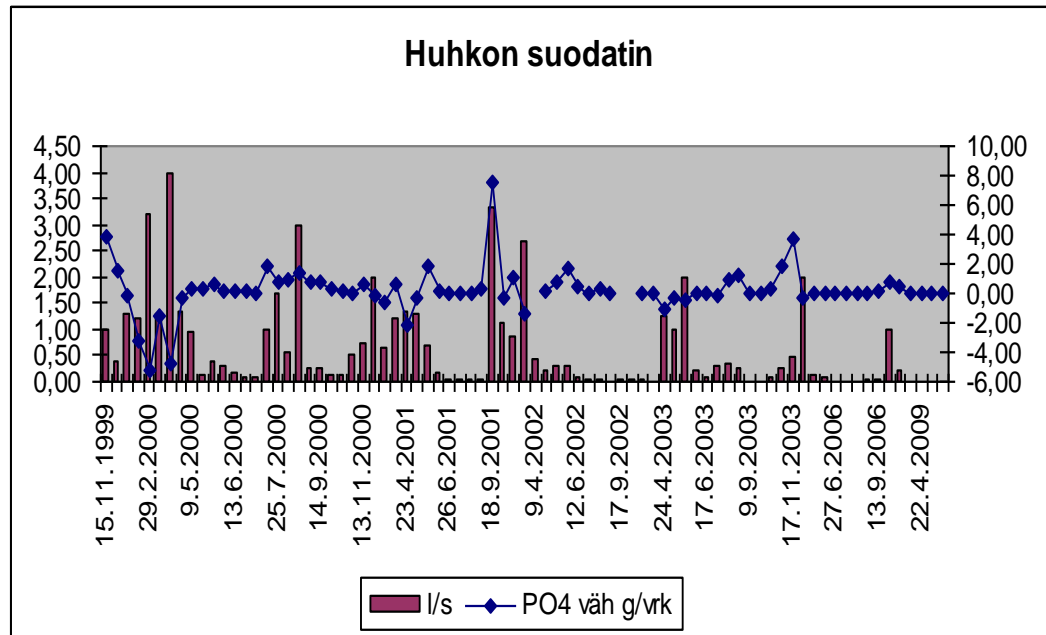


KUVIO 10. Liuenneen fosforin pitoisuudet.

Kuvion 11 alkuosassa liuennutta fosforia ei ole poistunut tehokkaasti, koska suodatin ei ollut lähtenyt käyntiin vielä. Kuten kuvasta huomaa, kestää noin puoli vuotta, jotta suodatin alkaa pidättämään fosforia. Muut vaihtelut kuvassa johtuvat runsaista sateista tai lumen sulamisvesistä. Suurimmat miinusmerkkiset tulokset ovat tulleet silloin, kun suodattimeen on tullut vettä, jolla on pieni liuennut fosforipitoisuus. Kuviossa 12 ei näy tiettyä trendiä virtaaman määrässä ja liuenneen fosforin poistumistehossa. Pystynyt poistamaan liuennutta fosforia suuremmilla-kin virtaamilla.



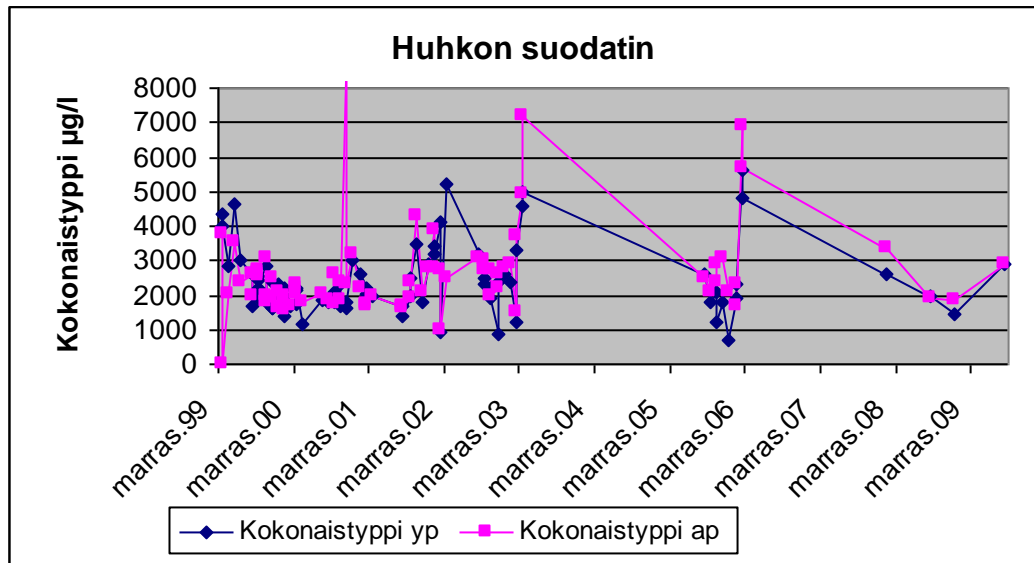
KUVIO 11. Liuenneen fosforin poistoteho prosentteina.



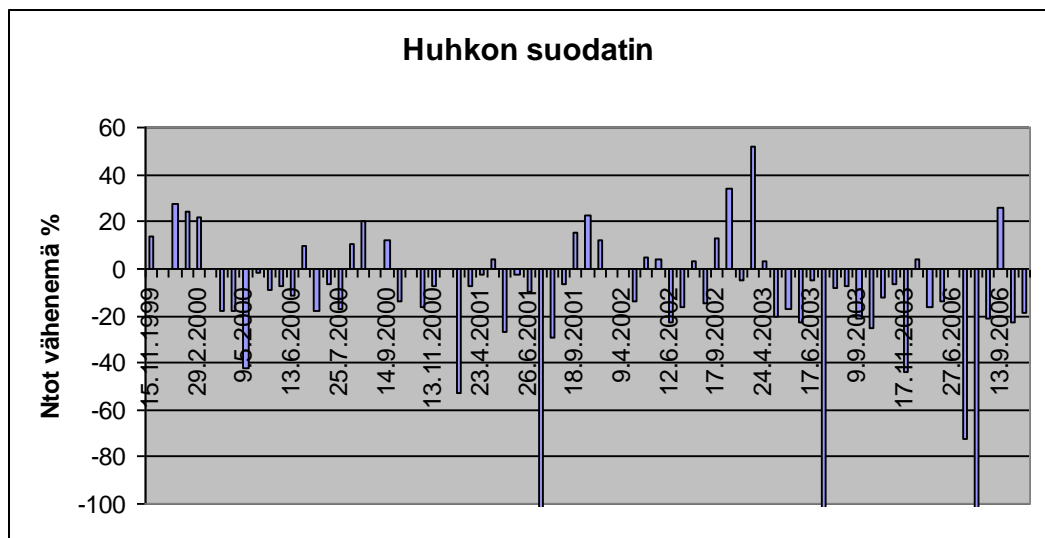
KUVIO 12. Virtaaman määrä ja liuenneen fosforin pidättymisteho.

9.1.2 Kokonaistyyppi

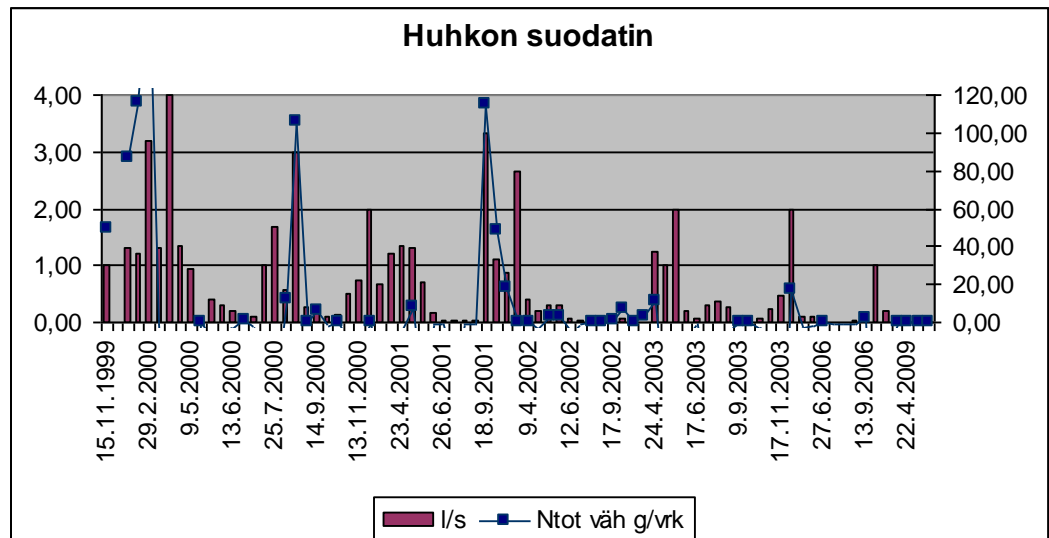
Kuviosta 13 näkee, että välillä suodatin on poistanut tyyppiä hieman ja välillä tyyppipitoisuudet ovat nousseet suodattimen käsittelyn jälkeen. Näihinkin tuloksiin vaikuttaa suodattimeen virtaavan veden määrä. Kuviosta 15 nähdään virtaaman vaihtelu ja kokonaistyyppien väheneminen grammaa/päivä. Paras tulos oli tullut, kun virtaama oli pieni ja tulleen veden tyyppipitoisuus korkea. Kuviossa 14 näkee, että veden kokonaistyyppipitoisuudet ovat hieman nousseet suodattimen käsittelyn yhteydessä. Seitsemän vuoden keskiarvona suodatin on päästänyt kokonaistyyppiä 0,65 grammaa/päivä Suodattimen tarkoituksena ei olekaan tyyppien poistaminen, vaan kokonaisfosforin poistaminen.



KUVIO 13. Kokonaistyyppien poistuminen.

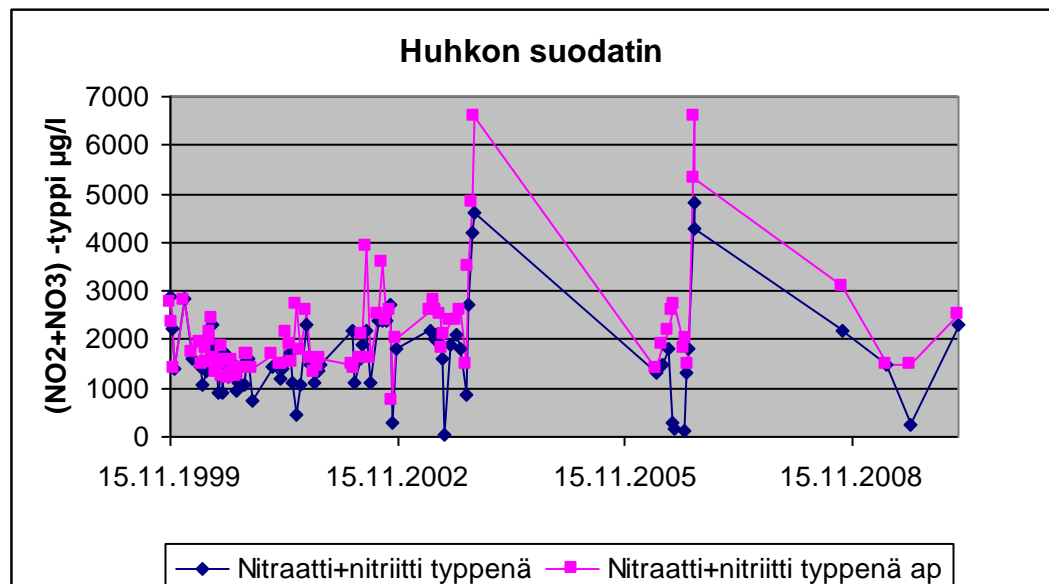


KUVIO 14. Kokonaistyyppipitoisuuden väheneminen prosentteina.



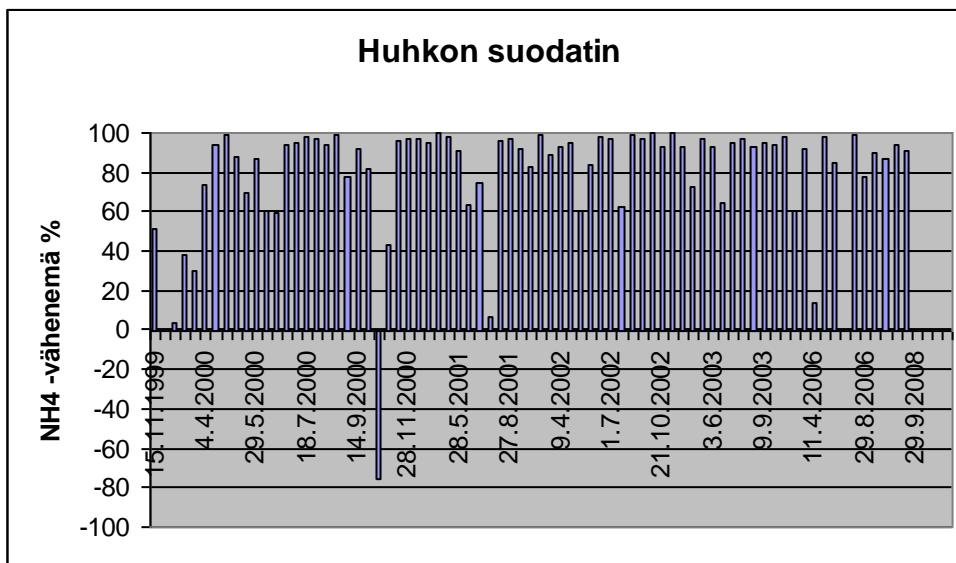
KUVIO 15. Virtaaman vaihtelu ja kokonaistypen väheneminen.

Kuviossa 16 voi nähdä, että nitraatti+nitriitti typpinä on lisääntynyt suodattimen käsittelyssä, mutta määrät ovat niin pienet, etteivät ne aiheuta veteen mitään näkyviä muutoksia. Tuloksia tarkastellessa ei esiintynyt mitään tiettyä trendiä nitraatti+nitriitti typpien poistumistehossa.



KUVIO 16. Nitraatti+nitriitti typpinä.

Kuviossa 17 voi nähdä, että ammoniumtyppi on muuttunut suodattimessa nitrifikaation myötä nitraatti+nitriitti tyypeksi, joka on paljon parempi typen muoto kuin ammoniumtyppi. Koska suodattimessa tapahtuu nitrifikaatiota, tarkoittaa tämä, että suodattimessa on hapelliset olot. Jos suodattimessa ei olisi happea, alkaisi se päästämään fosforia veteen. Vesistöissä ammoniumtyppi kuluttaisi happea.



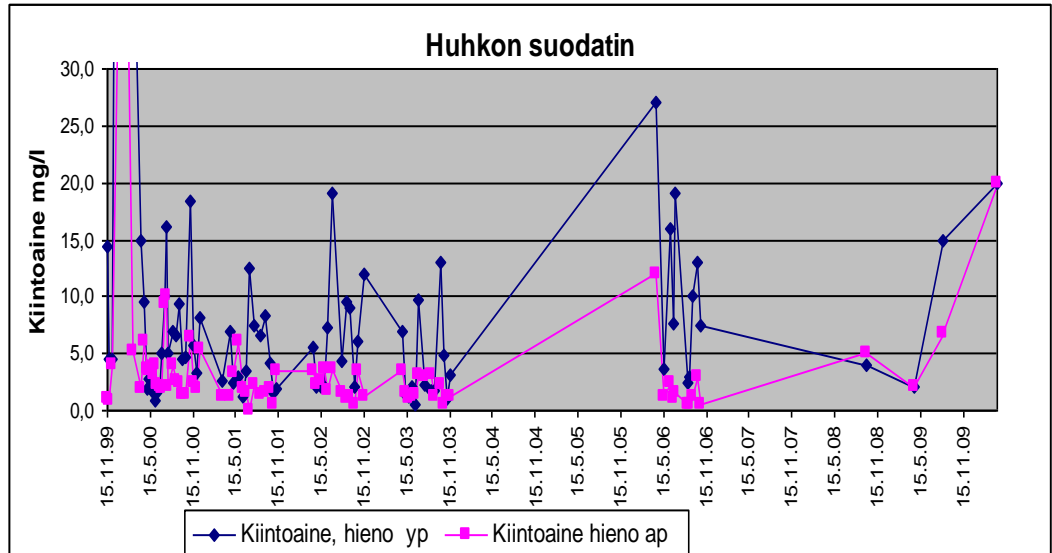
KUVIO 17. Ammoniumtyppi väheneminen prosentteina.

9.1.3 Kiintoaine

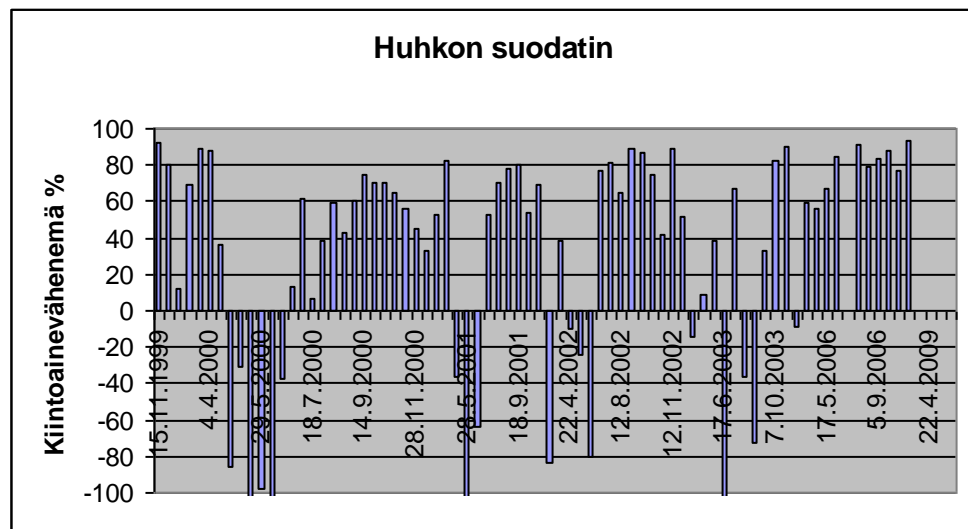
Kuviossa 18 voi nähdä, että kiintoainepitoisuudet ovat vähentyneet selvästi. Kiintoainetta on pidättynyt jo ennen suodattimeen menoa, koska ennen suodatinta ojassa on pato hidastamassa virtausta. Vuosien 1999-2006 keskiarvona kiintoainetta on tullut suodattimeen 0,85 kg/vrk ja suodatin on pystynyt poistamaan siitä noin 0,55 kg/vrk.

Kuviossa 19 miinusmerkkiset arvot ovat aiheutuneet kovista virtaamista yleensä keväisin, koska kasvipeitteettömänä aikana tulevat runsaat sateet ja leuto sää aiheuttavat voimakasta eroosiota. Useaan otteeseen satava ja jälleen sulava lumipeite yhdessä sulana pysyvän maan kanssa huuhtoivat vesiin ennätysmäisiä kuormituk-

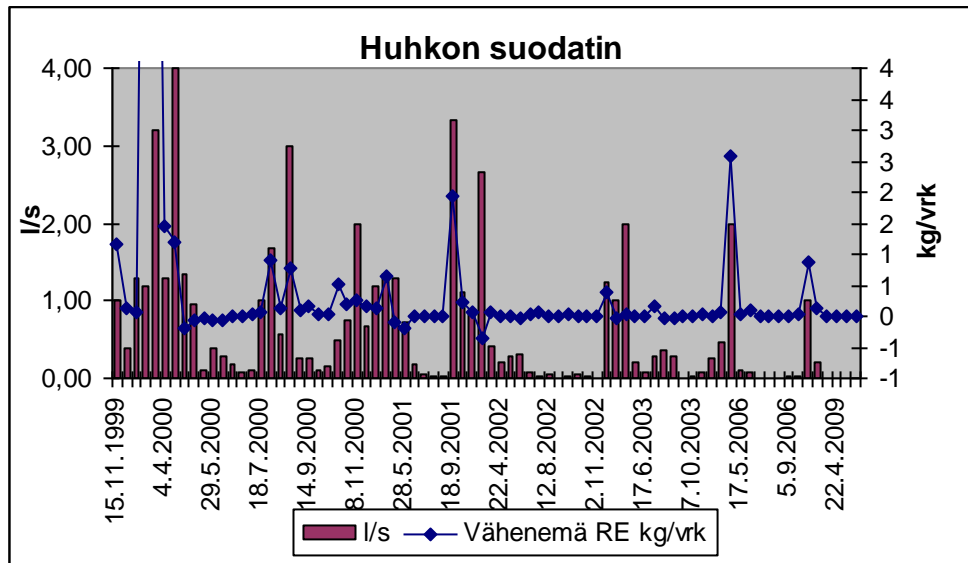
sia, joita perinteiset kosteikat ja suojavyöhykkeet eivät pysäytä. Kuviossa 20 voi nähdä, että jopa kovilla virtaamilla kiintoainetta on vähentynyt.



KUVIO 18. Kiintoaineen väheneminen.



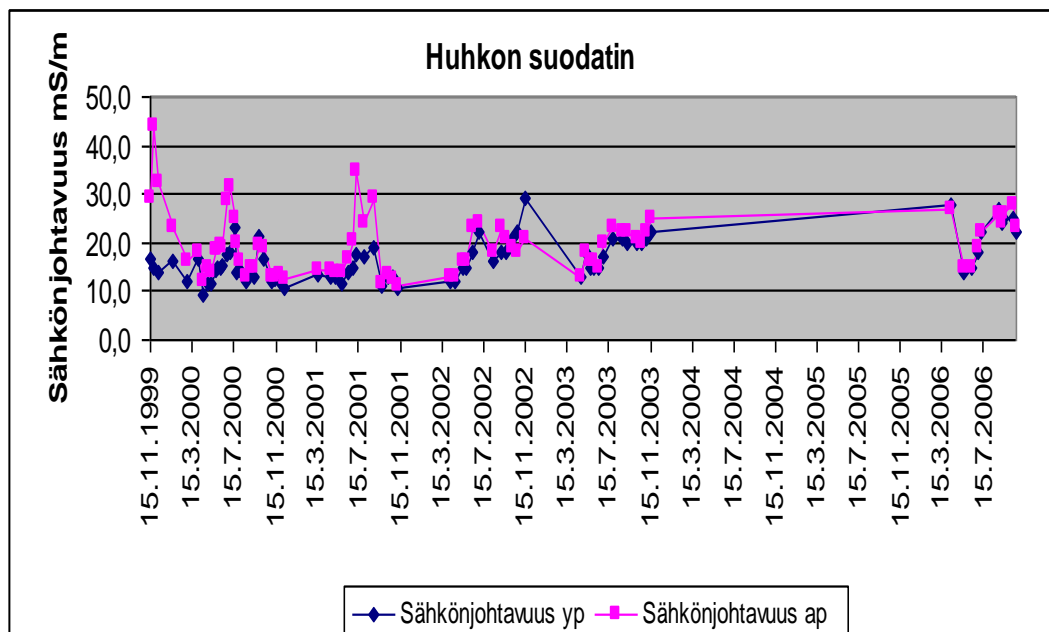
KUVIO 19. Kiintoainevähennelmä prosentteina.



KUVIO 20. Virtaaman vaihtelu ja kiintoaineen väheneminen.

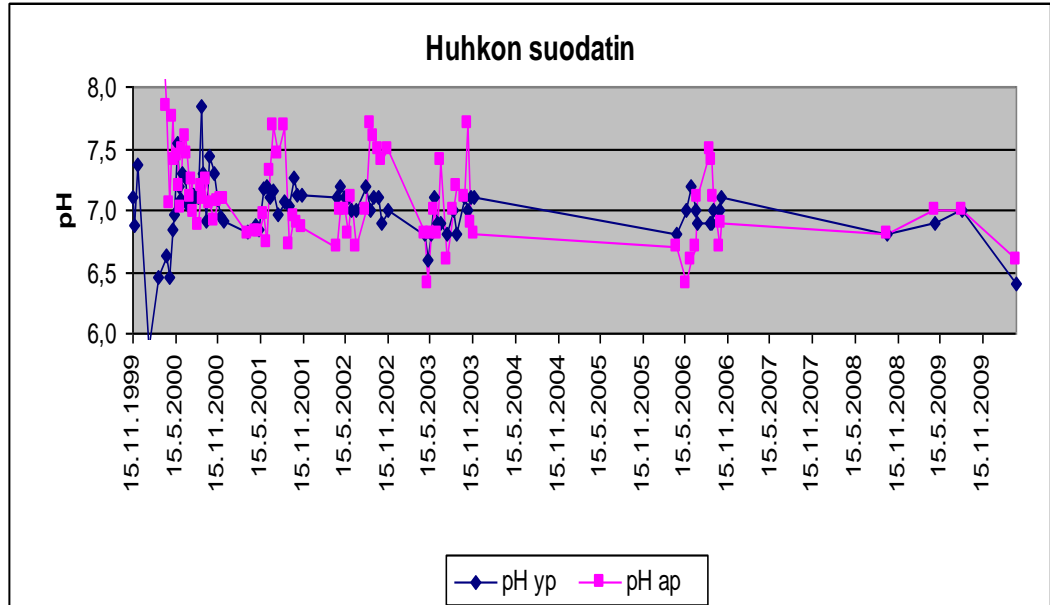
9.1.4 Sähkönjohtavuus ja pH

Kuviossa 21 voidaan nähdä, että suodattimen käsittelyn jälkeen koholla oleva sähkönjohtavuus johtuu suodattimen mineraaleista ja suodatinmateriaaleista. Kalkki on yksi tehokkain sähkönjohtavuuden lisääjä.



KUVIO 21. Sähkönjohtavuusarvot yp ja ap.

Kuviossa 22 voi nähdä, että veden pH -arvot nousivat huomasti suodattimen rakennuksen jälkeen, mutta sen jälkeen vaihtelu ollut pientä ja tasaista puolin ja toisin. Suodatin ei vaikuta merkittävästi pH -arvoihin.



KUVIO 22. Veden pH -arvot yp ja ap.

9.2 Puhdistustulosten keskiarvot

Keskiarvot on laskettu vuosien 1999-2006 aikana saaduista tuloksista. Keskiarvojen avulla pystytään käsittämään selvemmin, kuinka tehokas kyseinen suodatin on poistamaan kokonaisfosforia.

TAULUKKO 1. Ravinteiden vähenemisen prosenttikeskiarvot vuosilta 1999-2006.

Ptot	Ntot	PO4	Kiintoaine
41	-17	9,3	28

Kokonaistypen lisääntyminen on prosenteissa huomattavaa, mutta vuorokaudessa suodatin päästää typpeä vähän alle gramma päivässä. Ammoniumtyppeä poistui vuosien 1999- 2006 keskiarvona 81 %.

10 TULOSTEN TARKASTELO

Suodattimen tehokkuuden saa selville, kun sitä vertaillaan muihin samantapaisiin suodattimiin. Vertailtavia suodattimia on kaksi, ja molemmat suodattimet ovat Pyhäjärven valuma-alueella ja niistä läpisuodattuvat vedet ovat ravinnepitoisuuksiltaan tyypillisiä valumavesiä, kuten myös tarkastelemani Huhkon suodattimeen virtaava vesi.

10.1 Suodatin 1

Suodatin 1 sijaitsee Imponojassa, ja se on rakennettu vuonna 1997 pieneen ojaan, johon valuvat metsä- ja maatalousvedet. Ennen suodatinta ylävirrassa on kosteikko, josta vesi johdatetaan suodattimeen. Ylin suodatinkerros koostuu sepelistä, jonka jälkeen tulee keskisuodatinkerros, joka koostuu hiekasta ja Fosfilt - massasta, jotka ovat eri kerroksina. Alin kerros koostuu sorasta, ja siinä kerroksessa sijaitsevat kookojaputket. Vesi liikkuu suodattimessa ylhäältä alaspäin. Suodatin 1 sepelikerros tukkiutui alussa muutaman kuukauden aikana, joten jouduttiin korjaustoimenpiteisiin. Kunnostuksen jälkeen suodatin toimi vuoden verran, jonka jälkeen Fosfilt-kerros tukkiutui. (Kirkkala, Ventelä & Tarvainen 2011.)

10.2 Suodatin 2

Suodatin 2 (Mylly) on rakennettu vuonna 1999 vähentämään 12 hehtaarin kokoisien pellon salaojavesien ravinnepitoisuutta. Nämä salaojavedet valuvat Pyhäjärven johtavaan Pyhäjokeen. Pellon salaojavedet johdetaan suodattimen jakeluputkeen ja sepelikerroksen läpi. Suodattimen ylin ja alin kerros muodostuvat 0-8 mm kokoisesta hiekasta. Suodattimen lisäsuodatinmateriaali Fosfilt on erillisenä kerroksena suodattimen keskikerroksessa eikä siihen ole sekoitettu hiekkaa. Suoda-

tettu vesi johdatetaan kokoojakerroksen putken avulla jokeen. (Kirkkala, ym. 2011.)

10.3 Tulosten vertailu

Suodatinta 1 (Imponoja) seurattiin 4,5 vuotta ja suodatinta 2 (Mylly) seurattiin 3.5 vuotta. Imponojan suodatin toimi aluksi vain muutaman kuukauden ja kunnostuksen jälkeen noin vuoden. Suodatin lisäsi seurantajakson lopussa vedenkiintoainepitoisuutta (SS) keskimäärin 36 % ja liukoisen fosforin pitoisuutta (DRP) 19 %. Veden kokonaisfosforipitoisuus ei muuttunut suodattimen käsittelyssä, joten Pyhäjärven ulkoisen kuormituksen vähentäjänä suodatin toimi kehnosti. Suodatin 2 eli Myllyn suodatin toimi selvästi paremmin. Se vähensi veden kiintoainepitoisuutta 61 %:lla, 37 %:lla kokonaisfosforipitoisuutta ja 45 %:lla liuenneen fosforin pitoisuutta. (Kirkkala, ym. 2011.)

Huhkon suodatin on toiminut melko hyvin yli kymmenen vuotta ja se on vähentänyt keskimääräisesti 41 % veden kokonaisfosforipitoisuutta eli parhaiten tässä vertailuryhmässä. Kiintoainetta se on poistanut 28 % ja liuennutta fosforia noin 9 %. Liuenneen fosforin poistoteho vedestä on ollut tehokas, mutta muutamalla seurantakerralla suodatin on lisännyt veden liuennutta fosforipitoisuutta jopa 400 %:lla, mitkä laskevat yhdeksän vuoden keskiarvoa jopa 15 prosentilla. Suodatin 2 eli Myllyn suodatin on vähentänyt selvästi paremmin kiintoainetta ja liuennutta fosforia kuin Huhkon suodatin. Suodattimien tarkoituksena on kuitenkin kokonaisfosforipitoisuuden vähentäminen valumavesissä, joten Huhkon suodatin on tässä tarkoituksessa vertailuryhmän paras suodatin.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Viimeisin tulos on vuoden 2010 keväältä, ja näyttää siltä, että suodatin toimii vielä hyvin kiintoaineen ja fosforin poistajana. Suodattimeen ei ole tarpeen vaihtaa uusia suodatinmassoja, mutta tilannetta tulisi seurata ja näytteitä pitäisi ottaa noin muutaman kerran vuodessa, jotta tiedetään, että suodatin poistaa fosforia ja kiintoainetta edes jonkin verran. Kun suodatin ei enää pysty poistamaan fosforia, tulee suodatinmassa vaihtaa. Suodattimen ohivirtaamaa olisi myös hyvä seurata, jotta kaikki mahdollinen vesi saataisiin kulkemaan suodattimen läpi. Huhkon Fosfilsuodattimen toimintavarmuutta voidaan parantaa lisäämällä laskeutusaltan kokoa ennen suodatinta, jotta kaikki veden kiintoaineet laskeutuisivat ennen suodattimen menoa. Tämä myös ehkäisisi suodattimen tukkeutumista ja pidentäisi suodattimen ikää. Koko ajan kehitellään uusia suodatinmateriaaleja suodattimiin, jotta saadaan tehokkaammin fosfori pidättymään suodattimeen.

LÄHTEET

EPA. 2003. National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Agriculture [viitattu 13.6.2011]

Saatavissa:

http://water.epa.gov/polwaste/nps/agriculture/upload/2003_09_24_NPS_agmm_c_hap4a.pdf

Holmberg, K., Juva, I., Virta, M. & Flink, P. 2004. Kiinteistökohtainen jätevesien käsittely. Uudenmaan ympäristökeskus

Hynninen, A., Saari, P., Nieminen, M. & Alm, J. 2010. Pintavalutus metsätalous toimien puhdistamisessa [viitattu 27.9.2011]

Saatavissa:

http://www.suoseura.fi/suo/pdf/Suo61_Hynninen.pdf

Joensuu, S. & Silver, T. 2011. Luonnonhoitohankeraportti [viitattu 18.10.2011]

Saatavissa:

http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/9C154033-B915-4571-9F56-D5DFB93F9FD4/0/final_valumaalueloppuraportti.pdf

Karttapaikka. 2011. [viitattu 18.10.2011]

Saatavissa:

<http://kansalaisen.karttapaikka.fi/kartanhaku/osoitehaku.html?map.x=254&map.y=138&e=252533&n=6752542&scale=16000&tool=suurena&styles=normal&lang=fi&tool=suurena&lang=fi>

Kirkkala, T., Ventelä, A-M. & Tarvainen, M. 2011. Pyhäjärvi-instituutti intranet.

Kirkkala, T., Ventelä, A-M. & Tarvainen, M. 2007. Pyhäjärvi-instituutti. Pyhäjärven suojelutyö 2000-2006

Kirkkala, T. & Ventelä, A-M. 2002. Vesitalous. Vesistöjen kunnostus [viitattu 13.6.2011]

Saatavissa:

http://www.vesitalous.fi/upload/lehtiarkisto/2002/6_2002.pdf

Kirkkala, T. 2011. Tutkimusmenetelmät. Pyhäjärvi-instituutti intranet.

Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma 2007-2013. 2007 [viitattu 21.6.2011]

Saatavissa:

https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/www/Hankkeet/Ruukki/InnoNauta/Manner-Suomen_maaseudun_kehittämisohjelma_140408_FL.pdf

Oravainen, R. 1999. Kvvv. Opasvihkonen vesistötulosten tulkitsemiseksi [viitattu 13.6.2011]

Saatavissa:

<http://www.kvvv.fi/opasvihkonen.pdf>

Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. 2009. Maan vesi- ja ravinnetalous.

Salaojayhdistys ry

Puustinen, M., Koskiaho, J., Gran, V., Jormola, J., Maijala, T., Mikkola-Roos, M., Puumala, M., Riihimäki, J., Rätty, M. & Sammalkorpi, I. 2001. Maatalouden vesiensuojelukosteikot

Suomen ympäristökeskus

Pyhäjärvensuojelu. Hoitokalastus. [viitattu 15.7.2011]

Saatavissa:

http://www.pyhajarvensuojelu.net/default4.asp?active_page_id=163

Pyhäjärvi-instituutti. 2011. Näytteiden analysointi. Pyhäjärvi-instituutti intranet.

Riitta Väänänen. 2008. Phosphorus retention in forest soils and the functionin of buffer zones used in forestry [viitattu 27.9.2011]

Saatavissa:

<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/37287/phosphor.pdf?sequence=1>

Valtion ympäristöhallinto. 2009. Kuormitus ja rehevöityminen [viitattu 10.10.2011]

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=302741>

Valtion ympäristöhallinto. 2011a. Happipitoisuus [viitattu 10.10.2011]

Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=12082&lan=fi>

Valtion ympäristöhallinto. 2011b. Maatalouden vesiensuojelumenetelmät [viitattu 10.10.2011]

Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=12948&lan=fi>

Valtion ympäristöhallinto. 2011c. Maatalouden vesistökuormitus [viitattu 12.10.2011]

Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=98548&lan=fi>

Valtion ympäristöhallinto. 2011d. Hajakuormitus [viitattu 10.10.2011]

Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=11750&lan=fi>

Valtion Ympäristöhallinto. 2011e. Rehevöityminen [viitattu 13.6.2011]

Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=398>

Valtion ympäristöhallinto. 2011f. Talviaikainen kasvipeitteisyys [viitattu 11.10.2011]

Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=65186&lan=fi>

Ventelä, A-M. Pyhäjärven suojeluohjelma. 2011. Hoitokalastus [viitattu

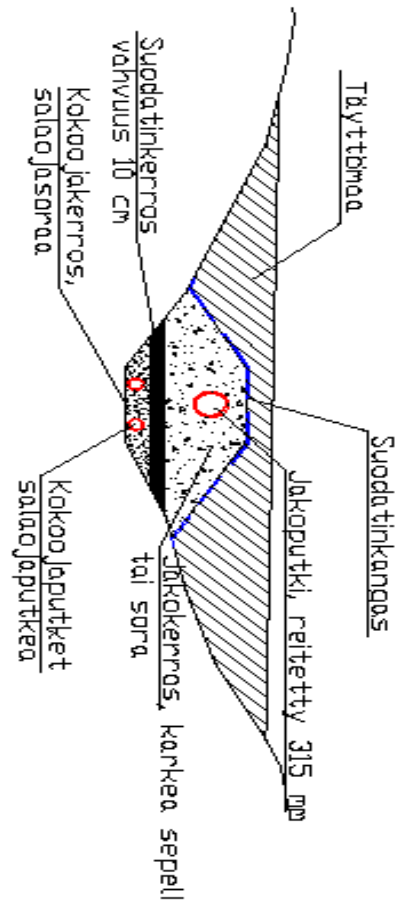
11.11.2011]

Saatavissa:

http://www.pyhajarvensuojelu.net/default4.asp?active_page_id=163

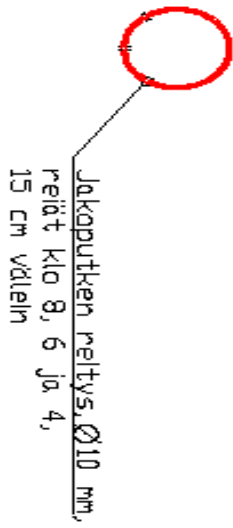
LIITTEET


LIITE 1. Huhkon suodattimen poikkileikkauskuva (Pyhäjärvi-instituutti 2011)



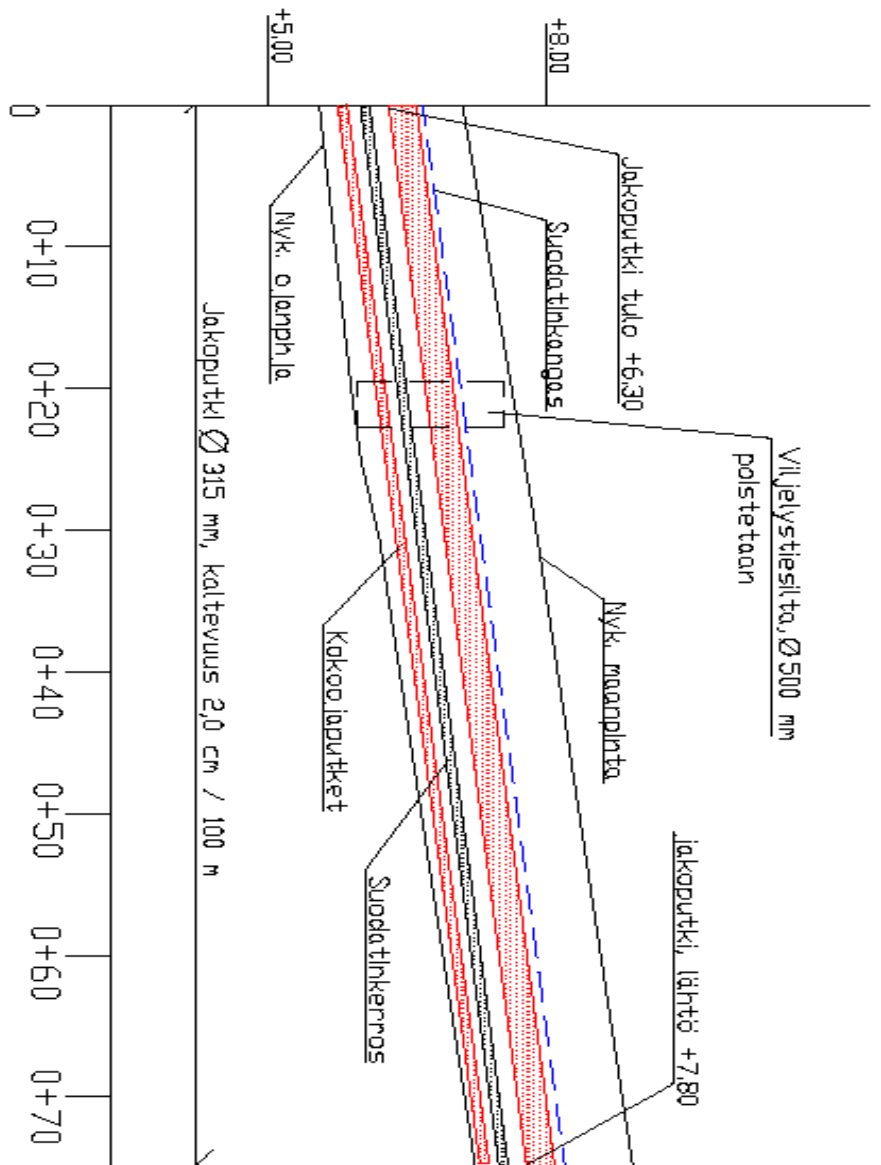
Suodatinkerrokset tehdään Fosfiitin, kipsin, kalkin ja hiekan seoksesta 0,1 metrinä vahvana kerroksena.


Det 1.



Tyyppi, mää. laatu		Pieniteollisuus		Mittaus	
Huhkon suodatin					
Tilavuus					
 LOUHIVA-SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS KIVIKALLIONKIVITIE 10 01400 VANTAA		Pieniteollisuus		Käyttö	
Pm		Pm		Pm	
Käyttö		Käyttö		Käyttö	

LIITE 2. Huhkon suodattimen pituusleikkauskuva (Pyhäjärvi-instituutti 2011)



Työn rek. numero		Hankkeen nimi		Hankkeen alku		Hankkeen loppu	
Yhteinen		Suodattimen pituusleikkauskuva					
 LOUISA-INSTITUUTTI YMPÄRISTÖTUTKIMUS RYÖVÄNTIE 11 FINLAND 01100 HELSINKI		Hankkeen numero		2		Mittaus	
Pvm	Seuraava	Rek. nro	Tehtävä				
05/09/2011	05/09/2011	105	105				