

Opinnäytetyö (AMK)

Kestävän kehityksen koulutusohjelma

2012

Laura Lepistö

FERIX-3:N SOVELTUVUUS KEMIALLISEEN FOSFORINSAOSTUKSEEN MAATALOUDEN OJAVESISSÄ



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Laura Lepistö

FERIX-3:N SOVELTUVUUS KEMIALLISEEN FOSFORINSAOSTUKSEEN MAATALOUDEN OJAVESISSÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää soveltuuko Ferix-3 –kemikaali liukoisen fosforin saostamiseen maatalouden valumavesistä. Fosfori ja erityisesti sen liukoinen muoto ovat tärkeitä tekijöitä vesistöjen rehevöitymisen kannalta. Maatalous on suuri ravinne päästöjen aiheuttaja, joten uudet tehokkaat keinot ovat tervetulleita tämän maatalouden vesistöihin aiheuttaman fosforikuorman vähentämiseksi.

Tutkimus perustuu Active Wetlands –hankkeen Nautelan pilottikohteeseen ja siitä saatuihin tuloksiin vuoden 2011 mittausjaksolta. Nautelan pilottikohteeseen rakennettiin kemikaalinannostelija, pato, kosteikko sekä mittauspisteet kohteen ylä- ja alajuoksulle. Tutkimuksessa käytettiin erilaisista jatkuvatoimisista vedenlaadun mittareista sekä vesinäytteistä saatua tietoa.

Tutkimus osoittaa, että Ferix-3 –kemikaali vähentää liukoista fosforia vedestä. Samalla kemikaalin käyttö laskee veden pH arvoa. Tutkimuksessa käytetty annostelumenetelmä vaatii vielä kehittelyä, sillä annostelijan toimivuus tässä tutkimuksessa oli varsin vaihtelevaa. Lisäksi suuret pH arvojen tippumiset, varsinkin nopealla aikavälillä, voivat olla haitaksi vesieliöstölle, jos kemikaalia pääsee veteen liikaa. Kustannustehokkuudeltaan tämä fosforinsaostusmenetelmä oli varsin hyvää luokkaa.

Tämän ja muiden tutkimusten perusteella tämän tyyppistä fosforinsaostusta voidaan suositella ojiin, joissa on pienet virtaamat, mutta suuret ravinnekuormitukset.

ASIASANAT:

Kemiallinen saostus, kemikaalin annostelija, ferrisulfaatti, liukoinen fosfori

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sustainable development

Autumn 2012 | 34

Instructors: Antti Kaseva, Sirpa Halonen ja Annikka Kajanen

Laura Lepistö

FEASIBILITY OF FERIX-3 IN CHEMICAL PHOSPHORUS RETENTION IN AGRICULTURAL DITCH WATERS

The goal of this thesis is to solve whether the use of Ferix-3 chemical applies to retention dissolved phosphorus in agricultural ditch waters. Phosphorus and especially its dissolved form are important factors when talking about the eutrophication of water systems. Agriculture is a major cause of nutrient loads and therefore new efficient ways of reducing the amount of phosphorus in agricultural water systems are welcomed.

The study is based on Active Wetlands – project. The project has a pilot site in Nautela and the results from 2011 are used in this thesis. A chemical doser, a dam and a wetland were built in Nautela and measuring points were built in Nautela's upstream and downstream. Many water quality parameters and data from water samples were used in this study.

The study indicates that the use of Ferix-3 chemical does decrease the amount of dissolved phosphorus in water. It also decreases the pH value in water. Because of the variation of the chemical dosers functionality the dosing method used in the study still needs some development. Also the big variations in pH values can cause damage to micro-organisms if too much chemical is released in water in a short period of time. The study shows that the use of Ferix-3 chemical is very cost-efficient.

This and other studies show that this method can be used in streams that have small flow and big nutrient loads.

KEYWORDS:

Chemical retention, chemical doser, iron sulphate, dissolved phosphorus

SISÄLTÖ

SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 FOSFORIPÄÄSTÖT JA NIIDEN POISTOMAHDOLLISUUDET	8
2.1 Fosfori maatalouden päästönä	8
2.2 Fysikaaliset menetelmät	11
2.3 Ferix-3 –kemikaali	13
2.4 Muut tutkimukset ferrisulfaattisaostuksesta valumavesissä	13
2.5 Muita kemiallisia fosforinsaostusmenetelmiä	15
3 TUTKIMUS JA SEN TOTEUTUS	16
3.1 Opinnäytetyön tutkimusongelmat	16
3.1 Nautelan pilottikohde	16
3.2 Jatkuva toiminen vedenlaadun mittaus	19
3.3 Vesinäytteet	23
3.4 Ferix-3 –kemikaalin käytön kustannusten arviointi	23
4 TUTKIMUSTULOKSET	24
4.1 Virtaama	24
4.2 Liukoinen fosfori	25
4.3 pH:n muutokset	26
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	30
LÄHTEET	33

KUVAT

Kuva 1. Fosforikuormituksen päästölähteet Suomessa vuonna 2008 (Suomen ympäristökeskus 2009).	10
Kuva 2. Ferrisulfaattiannostelun periaatepiirros (Närvänen ym. 2008, 3.).	17

Kuva 3. Kemikaalinannostelija, pinnankorkeusmittari ja V-pato (Laura Lepistö).	18
Kuva 4. Mittauspisteiden välinen kosteikko (Laura Lepistö).	19
Kuva 5. YSI moniparametrisondi (Laura Lepistö).	20
Kuva 6. S::CAN Nitro::Lyser (Laura Lepistö).	21
Kuva 7. Keller-paineanturi (Laura Lepistö).	22

KUVIOT

Kuvio 1. Virtaama vuonna 2011.	24
Kuvio 2. Liukoisen fosforin pitoisuudet ennen ja jälkeen fosforinsaostuksen.	26
Kuvio 3. Veden happamuus tulevassa ja lähtevässä mittauspisteessä.	27

SANASTO

Kosteikko	Vesistökuormituksen vähentämiseksi perustettu ojan, puron, joen tai muun vesistön osa ja sen ranta-alue, joka on suuren osan vuodesta veden peitossa ja muunkin ajan pysyy kosteana. Kosteikossa on tyypillisesti vesi- ja kosteikkokasvillisuutta (Hagelberg ym. 2010, 4)
Oja	Vesiuoma, jonka valuma-alue on alle 10 km ² (Vesilaki)
pH-arvo	pH eli happamuusaste kuvaa vedessä olevien vapaiden vetyionien määrää. Vetyionit aiheuttavat veden happamuuden. Neutraalin veden pH-arvo on 7. Luonnontilaisten pintavesien pH-arvo on yleensä lievästi hapan, pH 6-7. (Suomen ympäristökeskus 2011b)
Valuma-alue	Maa-alue, jolta sadevesi ja sulamisvesi luonnostaan kulkeutuu yhteen ja samaan vesistöön (SuomiSanakirja 2012a)
Valunta	Maa-alueilta vesistöihin kulkeutuva vesi (Penttinen & Niinimäki 2010, 106)
Virtaama	Väylässä, putkessa tms. virtaavan nesteen, kaasun tms. määrä aikayksikköä kohti (SuomiSanakirja 2012b)

1 JOHDANTO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää soveltuuko Ferix-3 –kemikaali kemialliseen fosforinsaostukseen maatalouden ojavesissä. Maatalouden fosforipäästöt ovat vakava ongelma ja uudet kustannustehokkaat keinot tämän kuormituksen vähentämiseksi ovat tervetulleita, sillä niin kansallisella tasolla kuin Euroopan Unioninkin tasolla olemme sitoutuneet parantamaan vesistöjemme tilaa.

Fosforia on pitkään saostettu kemiallisesti jätevedenpuhdistamoissa. Fosforin saostusta on käytetty myös yhtenä keinona järvien kunnostuksessa korkeiden ravinnepitoisuuksien, hapettomuuden ja voimakkaiden sinileväkukintojen vuoksi (Äystö 1997, 43). Virtavesissä fosforin saostus on kuitenkin vasta kokeiluasteella.

Tämä tutkimus on tehty Turun ammattikorkeakoulun Active Wetlands- hankkeen suorittamasta kemikaalinsaostuksen pilottikokeesta ja erityisesti sen vuoden 2011 mittausjaksosta. Tutkimuksessa selvitettiin jatkuvatoimisten vedenlaadunmittareiden ja vesinäytteiden avulla, vähensikö Ferix-3 –kemikaalin käyttö liukoisen fosforin pitoisuutta vedessä. Samalla selvitettiin myös tämän menetelmän käyttökustannukset.

2 FOSFORIPÄÄSTÖT JA NIIDEN POISTOMAHDOLLISUUDET

2.1 Fosfori maatalouden päästönä

Makeassa vedessä, kuten myös vähäsuolaisessa Itämeressä, ovat fosfori ja typpi perustuotantoa rajoittavia tekijöitä. Näistä ravinteista fosfori on etenkin loppukesästä tärkeä sinilevien tuotannon rajoittajana. (Penttinen & Niinimäki 2010, 130–131.) Itämeri on rakenteellisten ominaisuuksiensa vuoksi erittäin herkkä ja rehevöityminen on sen vakavin ongelma. Suomenlahden kuormitukseen vaikuttavat oleellisesti myös naapurimaiden päästöt, mutta sisävesien ja rannikkovesien tilaan vaikuttavat suurimmaksi osaksi alueen omat kuormituslähteet. Maataloudesta aiheutuvan kuormituksen vaikutukset näkyvät selvimmin Saaristomerellä, Etelä-Suomen jokivesistöissä sekä Suomenlahdella. Itämeren rehevöityminen alkoi viime vuosisadalla kaupungistumisen ja teollistumisen sekä maatalouden kemiallisten lannoitteiden laajan käytön myötä (Knuutila 2007, 1409 – 1410). Haja-asutuksen ja maatalouden aiheuttaman ravinnekuormituksen vähentäminen on lähivuosien suurin haaste (Maa- ja metsätalousministeriö 2007).

Fosfori (P) pidättyy helposti maaperään ja vesien pohjalietteeeseen, joten se kiertää luonnon ekosysteemeissä melko paikallisesti. Kasvit ottavat sen käyttöönsä fosfaattina. Fosfaattifosfori ($\text{PO}_4\text{-P}$) on kokonaisfosforin liennut, epäorgaaninen osa, joka on sellaisenaan levästäölle käyttökelpoinen (Suomen ympäristökeskus 2011a). Kun fosfaattia on vedessä runsaasti, ovat edellytykset runsaiden leväsiintymien syntymiseen olemassa. Monissa ekosysteemeissä fosfori on minimitekijä, joten hajottajien vapauttamat fosfaatit päätyvät yleensä nopeasti uuteen ravintoketjuun. (Valste ym. 2002, 122.) Osa fosforista on sellaisessa muodossa, jota levät ja muut perustuottajat eivät kykene käyttämään hyväkseen, joten kaikki fosfori ei aiheuta rehevöitymistä. Kustannustehokkaita vesiensuojelutoimia suunniteltaessa olisikin tärkeää kohdentaa päästöväh-

nystoimet leville käyttökelpoiseen fosforiin eli liukoiseen fosforiin (Suomen ympäristökeskus 2011d).

Suomen ympäristökeskuksen Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015 – ohjelmassa (Ympäristöministeriö 2007) ilmaistaan huoli korkeista ravinnekuormituksista ja niiden aiheuttamista laajoista levähaitoista ja happikadoista. Ohjelman mukaan fosfori- ja typpikuormituksen vähentäminen on edelleen vesiensuojelun keskeisin tavoite niin sisävesillä kuin merialueilla. Ohjelman mukaan ravinnekuormituksia pitäisi vähentää kaikilta sektoreilta, mutta erityisesti maatalouden osuutta painotetaan. Ilmastomuutoksen on myös arvioitu lisäävän maaperästä tulevia huuhtoumia vesiin. Vesiensuojelutoimien kohdentamisessa tulisi ottaa huomioon alueiden erilaisuus rehevöitymistilanteen ja siihen vaikuttavien tekijöiden vaihtelevuuden mukaan.

Vaikka paljon hyvää onkin tehty, ovat toimenpiteet maatalouden ravinnekuormituksen vähentämiseksi olleet toistaiseksi riittämättömiä. Suomenlahden, Saaristomerren, useiden rannikon jokivesistöjen ja hajakuormitettujen järvien tilan paraneminen edellyttää maatalouden päästöjen merkittävää vähentämistä. Nyt olisi löydettävä aiempaa tehokkaampia toimia ja keinoja maatalouden ravinnekuormituksen vähentämiseksi.

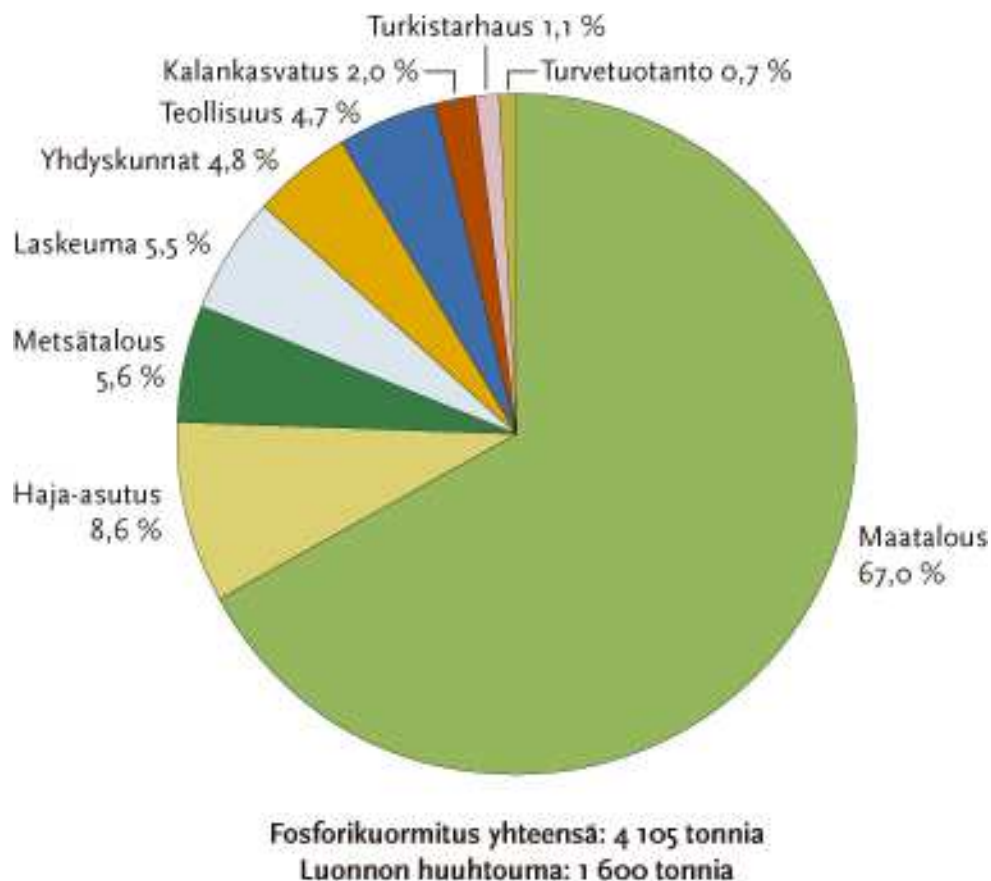
Vesiensuojelun tavoitteeksi on asetettu rehevöitymiskehityksen pysäyttäminen vesistöissä, joissa maatalouden kuormituksella on keskeinen merkitys rehevöitymisen aiheuttajana ja vähentää rehevöitymistä ja siitä johtuvia haittoja osassa näitä vesistöjä vuoteen 2015 mennessä. Tavoitteen toteuttamiseksi kehitetään edelleen kustannustehokkaiden vesiensuojelutoimien tutkimusta sekä niistä saatujen tulosten käytäntöön viemistä. Tärkeää on myös maatalouden vesistövaikutusten seurannan kehittäminen ja toimenpiteiden tehokkuuden arvioiminen. (Ympäristöministeriö 2007, 10–11.)

Valtioneuvoston periaatepäätöksen mukaan rehevöityminen pyritään pysäyttämään vesistöissä, joissa maatalous on sen keskeinen aiheuttaja. Tavoitteena on maatalouden ravinnekuormituksen vähentäminen vuoteen 2015 mennessä

vähintään kolmanneksella vuosien 2001–2005 tasosta. (Närvänen & Jansson 2007a, 14.)

Suomen Itämeren suojeluohjelmassa vuonna 2002 arvioitiin, että vesiensuojelun tavoiteohjelman vuoteen 2005 asettamiin vähennystavoitteisiin tuskin tultaisiin pääsemään aikataulussa. Kuitenkin näiden vähennystavoitteiden saavuttaminen pidemmällä aikavälillä nähtiin mahdolliseksi lisäämällä ravinteiden poistoa edistäviä toimia ja kohdistamalla ne maantieteellisesti oikeille alueille. (Ympäristöministeriö 2002, 9)

Myös Euroopan Unionin vesipolitiikan puitedirektiivi asettaa tavoitteiksi muun muassa vesiekosysteemien tilan parantamisen. Direktiivin mukaan vuoteen 2015 mennessä tulisi saavuttaa pintavesien hyvä ekologinen taso. (Vesipuitedirektiivi)



Kuva 1. Fosforikuormituksen päästölähteet Suomessa vuonna 2008 (Suomen ympäristökeskus 2009).

Kuten kuvasta 1 selviää, on maatalous erittäin suuri ulkoisen fosforikuormituksen aiheuttaja. Erityisen voimakasta maatalouden kuormitus on Etelä-, Lounais- ja Länsi-Suomessa. Maatalouden kuormitus jakautuu peltoviljelyn hajakuormitukseen ja kotieläintuotannon pistemäiseen kuormitukseen. Tässä työssä tarkastellaan erityisesti peltoviljelystä aiheutuvaa valumaa vesistöihin. Peltoviljelyssä vesistöihin kohdistuvaan ravinnekuormitukseen vaikuttavat peltojen määrä valuma-alueella, sijainti vesistöihin nähden, pellon kaltevuus, maalaji, pellon käyttö, viljelytekniikka ja tietysti lannoitteiden käyttömäärä ja levitystapa (Penttinen & Niinimäki 2010, 173–174). Hajakuormituksen aiheuttamia huuhtoumia vesistöihin on vaikea arvioida, mutta ojiin ja jokiin asennettavat jatkuvatoimiset mittalaitteet mahdollistavat totuudenmukaisten tietojen saamisen myös hajakuormitusalueilta (Ympäristöministeriö 2007, 10).

Maatalouden vesiensuojelulle tärkeää olisi tietysti pitää ravinteet pelloilla kasvien käytettävänä ja estää niiden valuminen vesistöihin. Käytännössä tämä on kuitenkin vaikeaa ja ravinteitä pääsee valumaan vesistöihin kaiken aikaa. Erityisesti liukoisessa muodossa oleva fosfori aiheuttaa rehevöitymistä, sillä se on helposti kasvien käytettävissä. Tätä liukoista fosforia pystytään kuitenkin poistamaan vedestä saostamalla sitä alumiinisulfaattilla tai ferrisulfaattilla. Tällainen valumavesien kemiallinen käsittely on nopea ja tehokas keino verrattuna pelkkään kosteikkokäsittelyyn kuten Närvänen ja Jansson toteavat Ferrisulfaatti saostaa maatalouden fosforit –artikkelissaan (2007a, 14).

2.2 Fysikaaliset menetelmät

Tässä työssä tarkastellaan pääosin kemiallista fosforinpoistoa, mutta on myös olemassa erilaisia fysikaalisia menetelmiä, joilla pyritään estämään fosforin pääsy pelloilta vesistöihin. Tällaisia ovat lannoituksen vähentäminen, kevenne-
tyt muokkausmenetelmät, viherkesannointi, salaojitus, kalkkisuodinojitus, suoja-
kaistat ja –vyöhykkeet, laskeutusaltaat sekä kosteikot (Suomen ympäristökes-
kus 2011c). Näistäkin pääosin fysikaalisista menetelmistä osa perustuu myös
kemiallisiin prosesseihin.

Lannoituksen sopiva määrä ja oikea ajoittaminen on tärkeää, jotta ravinteiden huuhtoutuminen pelloista vähenee. Kevennytyjen muokkausmenetelmien tarkoituksena on jättää pellot osittain kasvipeitteellisiksi kasvukausien väliseksi ajaksi. Näin eroosio ja ravinnehuuhtoumat pelloilta saattavat vähentyä. Viherkesannoinnin tarkoituksena on parantaa maan kasvukykyä. Toisaalta se myös vähentää tuotantoa. Sen tavoitteena voi myös olla maan pinnan suojaaminen eroosiolta. Merkittävä osa pelloilta vesistöihin tulevasta ravinnekuormasta johdetaan ojituksen huonosta toimivuudesta. Salaojitus vähentää pintavaluntaa ja siten kiintoaineen ja fosforin huuhtoutuminen on vähäisempää. Kalkkisuodinoja on sellainen salaoja, jonka kaivannon täyttömaahan on sekoitettu poltettua kalkkia eli kalsiumoksidia (CaO) (Kalsiumoksidin kansainvälinen kemikaalikortti). Kalkin ansiosta ojakaivannon vedenläpäisevyys paranee ja veden mukana liikkuvaa fosforia sitoutuu ojakaivantoon. Suojavyöhykkeet ovat peltojen ja vesistöjen välistä viljelemätöntä aluetta. Niiden kasvillisuus suojaa ranta-alueita eroosiolta ja muun muassa ravinteiden huuhtoutumiselta. Laskeutusaltaat ovat ojiin tai puroihin tehtyjä altaita, joiden avulla pyritään poistamaan maatalouden valumavesistä kiintoainetta ja ravinteita. Veden mukana kulkeutuvat partikkelit laskeutuvat altaan pohjalle, kun veden virtausnopeus pienenee. Kosteikoilla pyritään myös vähentämään veden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksia. Kiintoainetta ja fosforia poistuu vedestä sedimentoitumalla kuten laskeutusaltaassakin, mutta fosforia poistuu myös liukoisessa muodossa sitoutumalla kasveihin ja maaperään. (Suomen ympäristökeskus 2011c.)

Itämeren alueen maanviljelijöille tehdyn kyselyn mukaan maataloilla on käytössä monia erilaisia fysikaalisia menetelmiä. Suurin osa maanviljelijöistä oli tutkimuksen mukaan sitä mieltä, että maatalouden ravinnepäästöjen pienentämisen menetelmien pitäisi olla pakollisia (Kaasinen & Kulmala 2011, 14-15). Tämän kyselytutkimuksen perusteella voisi olettaa, että maanviljelijät ovat halukkaita käyttämään maataloillaan erilaisia fosforinpoistomenetelmiä. Fysikaaliset menetelmät ovat ainakin toistaiseksi olleet suuremmissa osassa, mutta jos ne ovat maanviljelijöiden keskuudessa hyväksytyjä, niin ehkä kemiallisiakin menetelmiä suostutaan ottamaan käyttöön.

2.3 Ferix-3 –kemikaali

Suomalainen kemianteollisuuden yritys Kemira tarjoaa yhtenä jätevedenpuhdistustuotteenaan Ferix-3 –kemikaalia. Ferix-3 eli ferrisulfaatti on kemialliselta kaavaltaan $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Ferrisulfaatti sisältää aktiivisia kolmiarvoisia rautayhdisteitä ja on veteen liukeneva saostusaine. Ferix-3 kemikaali on rakeisessa muodossa. Ferix-3:a käytetään sekä jätevesien että teollisuuden prosessivesien puhdistukseen. (Kemira 2011.) Ferrisulfaatti saostaa vedestä epäpuhtauksia ja fosforia kuten Närvänen ja Jansson (2007a, 14) toteavat.

2.4 Muut tutkimukset ferrisulfaattisaostuksesta valumavesissä

MTT eli Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus on tutkinut pelto- ja hevosalueiden valumavesien saostusta ferrisulfaatin avulla vuodesta 1998 lähtien (Närvänen & Jansson 2007a, 14).

Hevostarhojen valumavesien fosforinsaostusta testattiin Ypäjän Hevosopistolla syksystä 2003 vuoteen 2007 asti. Tutkimuksessa testattiin kahta eri systeemiä fosforin saostamiseksi Ferix-3 –kemikaalia käyttäen. B-pihaton tarhassa kemikaalin annostelu virtaavaan veteen tapahtui liotussuppilosta. Tässä menetelmässä käytettiin apuna myös hiekkasuodatusta. D-pihaton tarhojen vesiin kemikaali liukeni verkkosuppilosta ojaveteen V-padon yhteydessä. D-pihaton puhdistamo on samanlainen kuin tässä työssä tarkasteltu puhdistamo. Hevostarhojen liukoisen fosforin tämä puhdistamo poisti keskimäärin 45 %:sti. Näiden kokeilujen perusteella voidaan sanoa, että ferrisulfaatti on osoittautunut kustannustehokkaaksi menetelmäksi hevosten tarhavesien puhdistuksessa. Tutkimuksessa kerrotaan myös, että vastaavanlainen annosteluautomaatti on toiminut lupaavasti myös peltovesien saostuksessa. (Närvänen ym. 2008, 1.)

MTT:n tutkimuksissa on todettu, että pienilläkin kemikaaliannoksilla kuten 1 kilogramma kemikaalia 30 000 litraa vettä kohti, liennut fosfori saostuu lähes kokonaan. Näissä käsittelyissä pH on laskenut vain alle 0,5 yksikköä. Vuonna 2006 kokeiltiin fosforinsaostusta ferrisulfaatilla maatalouden kuormittaman Nuu-

tajärven valuma-alueella. Tässä kokeilussa ferrisulfaattia levitettiin lumen sekaan tulvan alle jäävälle suojavyyhykkeelle, hevostarhojen ympäristöön, lehmi- en jaloittelutarhaan ja laitumien reunalle. Vuonna 2006 ferrisulfaattia levitettiin yhteensä noin 1700 kiloa ja vuonna 2007 keväällä 1000 kiloa. Tässä kokeilussa todettiin, että karjatarhan ja karjakujan Ferix-käsittelyllä valumaveden liuenneen fosforin pitoisuus väheni 88 %. Tässä tutkimuksessa todettiin myös, että mitä enemmän vedessä on liuennutta fosforia, niin sitä kannattavampaa on kemiallinen saostus. (Närvänen & Jansson 2007a, 14-15.)

Tehoa maatalouden vesiensuojeluun (TEHO) on hanke, jossa on etsitty, pohdittu ja kokeiltu erilaisia toimintatapoja maatalouden vesiensuojelun tehostamiseksi. Hanke toimi vuosina 2008–2011 ja rahoittajana olivat maa- ja metsätalousministeriö sekä ympäristöministeriö. TEHO-hankkeessa kokeiltiin Jokioisissa Rehtijärven valuma-alueella samankaltaista ferrisulfaattisaostusta kuin tässä työssä. Rehtijärvellä aluksi ojavettä käsiteltiin 14 000 m³ ja ferrisulfaatin annostelusuhteena käytettiin 1:35 000. Kemikaalia kului 400 kilogrammaa ja ojaveden liuenneesta fosforista saatiin saostumaan 91 %. Veden pH laski 7,6:sta 5,7:ään. Sen jälkeen ojavettä käsiteltiin 45 000 m³ ja annostelusuhte oli 1:45 000. Kemikaalia kului 560 kilogrammaa ja liuenneesta fosforista saatiin saostumaan 66 %. Veden pH laski 7,2:sta 6,6:een (Kulmala 2011, 1, 61, Närvänen ja Jansson 2007b). TEHO -hankkeen loppuraportissa todetaan tutkimusten perusteella, että valumavesien kemiallinen puhdistus soveltuu kohteisiin, joissa käsiteltävät vesimäärät ovat pieniä, mutta niiden ravinnemäärät korkeita (Lillunen ym. 2011, 79).

Yhteenvedona näistä tutkimuksista voisi todeta, että ferrisulfaatti on saostanut liukoista fosforia vedestä tehokkaasti, mutta sen käyttö alentaa samalla veden pH:ta vaihtelevasti. Lisätutkimukset ja menetelmän kehittäminen ovat tarpeen, mutta jo näiden tutkimusten perusteella voi sanoa, että ferrisulfaattisaostuksessa voisi olla potentiaalia.

2.5 Muita kemiallisia fosforinsaostusmenetelmiä

Alumiinihydroksipolymeerisaostusta kokeiltiin MTT:n 17 hehtaarin koelohkolla Jokioisissa vuosina 1999 ja 2000. Tämän puhdistusmenetelmän toimintaperiaate perustuu vedessä olevan maa-aineksen murustamiseen alumiinihydroksipolymeerien avulla. Nämä alumiinihydroksipolymeerit liimaavat tehokkaasti savihiukkasia toisiinsa ja näin muodostuvien maamurujen sisässä oleviin oksideihin sitoutuu vesiliukoista fosforia. Näin fosfori muuttuu leville käyttökeltomaan muotoon ja savihiukkaset laskeutuvat laskeutusaltaan pohjalle. Jokioisissa tehdyssä kokeilussa tämä menetelmä poisti tehokkaasti sekä veteen liunneen että hiukkasiin sitoutuneen fosforin. Menetelmää kokeiltiin myös vuosina 2002–2004 Lehtimäellä turkistarhalla ja Pieksämäen Heiniönjärvellä 40 hehtaarin valuma-alueella. Heiniönjärvellä vesiliukoisen fosforin pitoisuudet alenivat tehokkaasti ja turkistarhalla sekä liukoisen että kokonaisfosforin pitoisuudet alentuivat selvästi. Tähän menetelmään perustuva laitteisto on käytössä myös Turussa Kaksikerranjärven ojavedenpuhdistamokokeilussa. (Kulmala 2011, 58–59.)

Alumiinisulfaattisaostusta kokeiltiin useissa MTT:n kohteissa vuosina 2002–2004. Tämä menetelmä perustuu fosforin saostamiseen ojavedestä kyllästetyn alumiinisulfaattiliuoksen avulla. Vihdin Lemmoossa puhdistamo alensi selvästi sekä liukoisen fosforin että kokonaisfosforin pitoisuuksia. Rymättylän Riittiöjärvellä laitteisto alensi huomattavasti vesiliukoisen fosforin pitoisuutta, mikäli laitteistoon tulevan veden liukoisen fosforin pitoisuus ylitti selvästi luonnon vesien liukoisen fosforin pitoisuuden. (Kulmala 2011, 59–60.)

3 TUTKIMUS JA SEN TOTEUTUS

3.1 Opinnäytetyön tutkimusongelmat

Opinnäytetyön tutkimusongelmana on pohtia ennen kaikkea sitä, soveltuuko Ferix-3 –kemikaali kemialliseen fosforinsaostukseen maatalouden ojavesissä maatalouden kuormituksen vähentämiseksi. Tämän voi jakaa pienempiin kysymyksiin, jotka pyrkivät etsimään vastauksia tähän varsinaiseen tutkimusongelmaan. Näitä ovat:

1. Poistaako Ferix-3 –kemikaali liukoista fosforia ojavedestä? Mitä ongelmia sen käytössä voi olla?
2. Minkälaisia pH:n muutoksia fosforinsaostus on aiheuttanut ojavedessä?
3. Onko Ferix-3 –kemikaali kustannustehokas? Kuinka paljon sen käyttö maksaa?

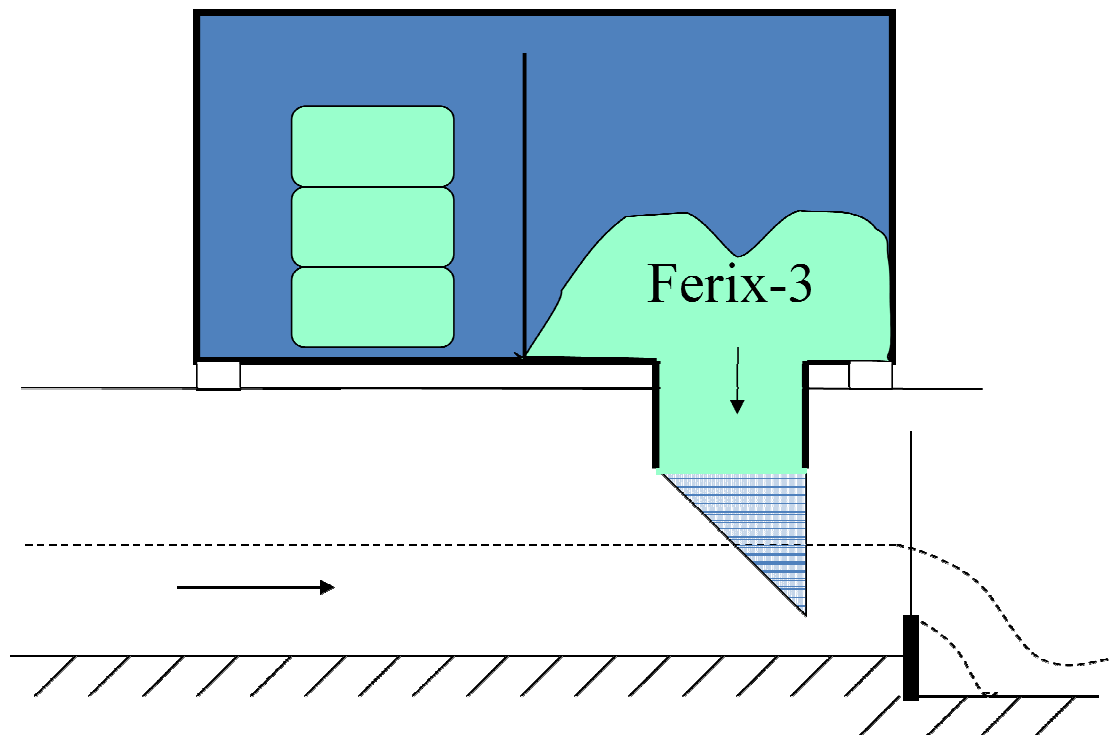
3.1 Nautelan pilottikohde

EU:n Interreg IV A ohjelmasta rahoitetussa Active Wetlands -projektissa tutkitaan aktiivisia toimenpiteitä kosteikkoalueilla Itämereen kulkeutuvan ravinnekuorman vähentämiseksi. Hankkeen koko nimi on Active measures on wetlands for decreasing nutrient load in the Baltic Sea. Projekti tähtää ravinteiden sitouttamiseen kosteikkoalueilla käytettävien keinojen ja tekniikoiden työstämiseen ja tukemiseen. Turun ammattikorkeakoulu on projektin yksi yhteistyökumppani ja se on aloittanut vuonna 2010 pilottitutkimuksen ferrisulfaattisaostuksesta.

Tutkimuksen pilottikohteena on pieni pelto-oja Liedon Nautelassa. Oja saa alkunsa pelloilta ja laskee lopulta Nautelankosken kohdalla Aurajokeen. Ojan valuma-alueen koko on noin 67 hehtaaria ja peltoalaa siitä on noin 38 hehtaaria. Kohteessa tutkitaan mekaanisesti toimivan fosforin saostuskemikaalin annostelulaitteen toimivuutta ojavesien puhdistusmenetelmänä.

Ojaan on aiemmin rakennettu kaksi pientä kosteikkoallasta, joista alimmaista hyödynnetään fosforinsaostuskokeilussa. Ennen tätä alimmaista kosteikkoa

sijaitsee ensimmäinen mittauspiste ja sen alapuolelle on sijoitettu kemikaalinannostelulaite. Kuvassa 2 on periaatepiirros annostelulaitteesta. Annostelulaitteen jälkeen on uomaan rakennettu pato, joka on 120 asteisen V:n muotoinen. Padoon yhteydessä on pinnankorkeusmittari, joka mahdollistaa pinnankorkeustietojen seurannan ja siten ojan virtaamien laskemisen. Padoon aiheuttama pieni tiputus myös edesauttaa kemikaalin kunnollista sekoittumista veteen. Kuvassa 3 näkyvät Nautelassa sijaitsevat annostelija, pato ja pinnankorkeusmittari.



Kuva 2. Ferrisulfaattiannostelun periaatepiirros (Närvänen ym. 2008, 3.).



Kuva 3. Kemikaalinannostelija, pinnankorkeusmittari ja V-pato (Laura Lepistö).

Muutaman kymmenen metrin päässä kemikaalinannostelulaitteesta ja V-padosta eteenpäin alkaa kosteikko (kuva 4). Kosteikon kohdalla veden virtausnopeus laskee ja ainakin osa rautakemikaalista, yhdessä siihen sitoutuneen liukoisen fosforin kanssa, painuu pohjaan. Kosteikon alapuolella sijaitsee toinen mittauspiste. Näin saadaan mitattua vedenlaatua ennen ja jälkeen fosforinsaostuksen.



Kuva 4. Mittauspisteiden välinen kosteikko (Laura Lepistö).

Kokeiluajan ja sen lähistön kasvillisuutta seurattiin valokuvaamalla aluetta huoltokäynneillä. Näin saatiin kuvattua kasvillisuuden muutoksia eri vuodenaikoina sekä ennen kemikaalinsaostuskokeilua että sen jälkeen.

3.2 Jatkuva toimiva vedenlaadun mittaus

Jatkuva toimivissa mittauksissa käytettiin mittalaitteina kahta 6000-sarjan YSI moniparametrisondia (Kuva 5), kahta S::CAN Nitro::Lyser:iä (Kuva 6) ja kolmea Keller-paineanturia, joista kaksi oli kuitenkin vain varmistuksena (Kuva 7). Mittalaitteiden mittausintervalleiksi asennettiin puoli tuntia. Laitteet puhdistettiin ja kalibroitiin säännöllisesti jatkuvan ja luotettavan mittausdatan saamisen varmistamiseksi. Kalibroinnit suoritettiin sisätiloissa ja laitevalmistajan antamien suositusten mukaisesti (YSI Incorporated 2010). YSI moniparametrisondin kanssa käytettiin laitevalmistajan standardiliuoksia pH:n, sähkönjohtavuuden ja sameuden kalibrointiin.



Kuva 5. YSI moniparametrisondi (Laura Lepistö).

YSI moniparametrisondiin on saatavilla erilaisia anturipäitä sen mukaan, mitä arvoja halutaan mitata. Tähän tutkimukseen käytettiin vedenlaadun parametreista lämpötilaa, sähkönjohtavuutta, happamuutta, sameutta ja happipitoisuutta.



Kuva 6. S::CAN Nitro::Lyser (Laura Lepistö).

S::CAN Nitro::Lyser mittaa veden sameutta ja nitraattipitoisuutta. S::CAN:in optisen mittausikkunan puhdistaminen toimii paineilmalla. Tätä varten kohteeseen asennettiin paineilmapullot, jotka puhalsivat paineilmaa laitteiden mittausikkunoihin niiden puhtaana pitämiseksi. Jokaisella maastokäynnillä mittausikkunoita puhdistettiin myös manuaalisesti laitevalmistajan kyseiseen käyttöön tarkoitetulla puhdistusharjalla.



Kuva 7. Keller-paineanturi (Laura Lepistö).

Keller-paineanturi mittaa pinnankorkeutta puolen tunnin välein. Yhdessä sen mittaaman pinnankorkeusdatan ja V-padon laskukaavan kanssa voidaan laskea veden virtaama koko mittausajalle puolen tunnin välein.

Kumpaankin mittauspisteeseen asennettiin myös Luodeloggerit. Nämä lähetysyksiköt lähettävät kahdesti vuorokaudessa mittalaitteiden mittaustulokset langattomasti ammattikorkeakoulun palvelimelle. Tältä palvelimelta mittaustulokset latautuvat salasanalla suojatulle nettisivulle, josta sitä voi helposti seurata ja näin pystytään nopeasti reagoimaan datan erikoisiin muutoksiin.

Vuoden 2011 tutkimusjakson aikana käytiin tutkimuskohteessa huoltokäynneillä vähintään kerran viikossa. Tämä huoltoväli oli pääosin mittalaitteiden määrittelyä. Usein näillä huoltokäynneillä huomattiin, että kemikaalisukka oli mennyt tukkoon, joten kemikaalia ei ollutkaan liennut veteen tarvittavaa määrää. Su-

kan tukkeutuminen johtui siitä, että veden ja kostean ilman kanssa tekemisiin joutunut kemikaali oli paakkuuntunut ja jähmettynyt annostelijasukkaan.

3.3 Vesinäytteet

Tutkimuksessa käytössä olevat jatkuvatoimiset mittalaitteet eivät mittaa suoraan kokonaisfosforin tai liukoisen fosforin pitoisuuksia, joten jatkuvatoimisen mittausdatan lisäksi tarvitaan vesinäytteitä laboratorioanalysejä varten. Yhdessä vesinäytetulosten ja jatkuvatoimisen mittausdatan kanssa pyrittiin laskemaan muun muassa fosforikuormitukset. Vesinäytteiden tulosten avulla pystyttiin myös varmistamaan jatkuvatoimisten mittalaitteiden tulosten todenmukaisuus. Vesinäytteitä pyrittiin saamaan erilaisista virtaamatilanteista ja ne otettiin aina samoista kohdista. Vesinäytteet analysoitiin Ramboll Finland Oy:ssä. Vesinäytteistä tutkittuja parametreja olivat sameus, pH, sähkönjohtavuus, kiintoaine, kokonaistyyppi, nitraattityppi, ammoniumtyppi, kokonaisfosfori ja liukoinen fosfori.

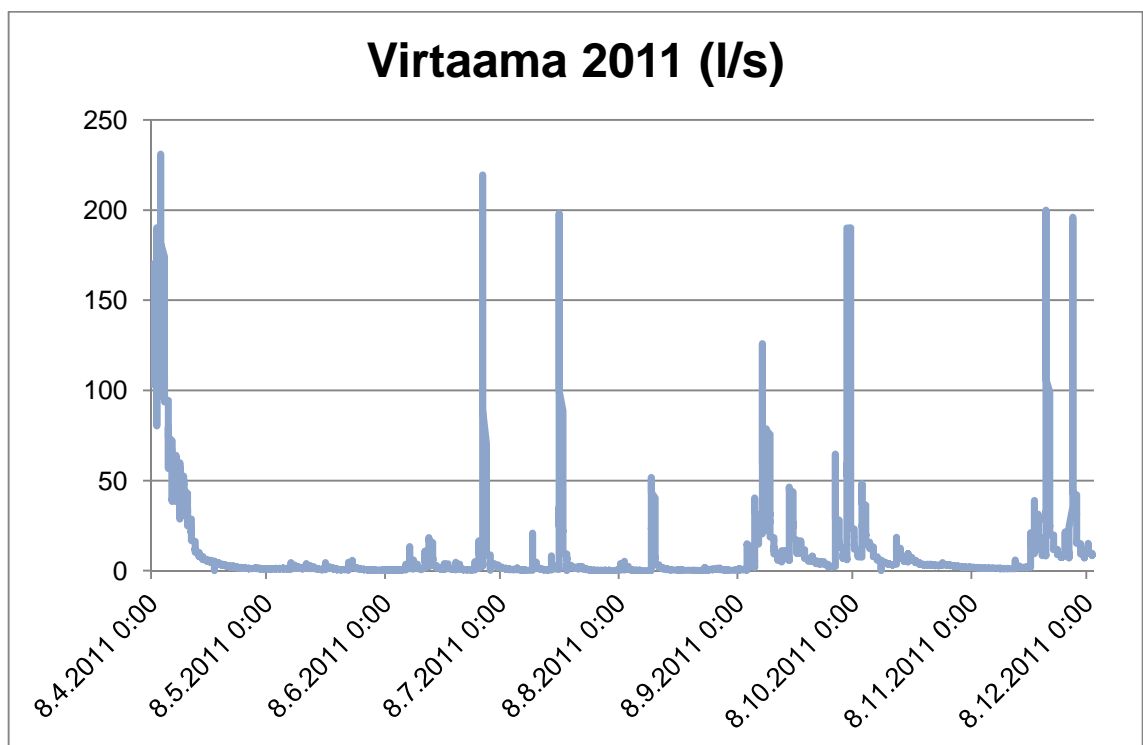
3.4 Ferix-3 –kemikaalin käytön kustannusten arviointi

Ferix-3 –kemikaalin käytön kustannukset arvioitiin laskemalla käytetyn kemikaalin määrä ja sen hinta. Tutkimuksessa laskettiin myös kemikaalin sitoman liukoisen fosforin määrä ja näin saatiin laskettua kokonaishinta yhdelle poistetulle fosforikilolle. Kustannuksiin ei laskettu mukaan aloituskustannuksia, työkustannuksia tai rahteja.

4 TUTKIMUSTULOKSET

4.1 Virtaama

Vuoden 2011 mittausjaksolla pinnankorkeustietoja mitattiin yhteensä 11 761 kappaletta. 120 asteisen V-padon laskukaavan $(2,47 \cdot H^{2,5}) \cdot 1000$ ja suorakulmion muotoisen padon laskukaavan $Q = 1,84(L - 0,2H)H^{3/2}$ mukaan saatiin nämä tiedot muutettua virtaamatiedoiksi. Kaavoissa Q = virtaama (m^3/s), H = pinnan korkeus (m) ja L = patouoman leveys (m). Suorakulmion muotoisen padon laskukaavaa tarvittiin laskuissa sen vuoksi, että padon V-aukko oli mitoitettu liian pieneksi ja suurimpien virtaamien aikana veden korkeus oli padon suorien seinämien kohdalla.



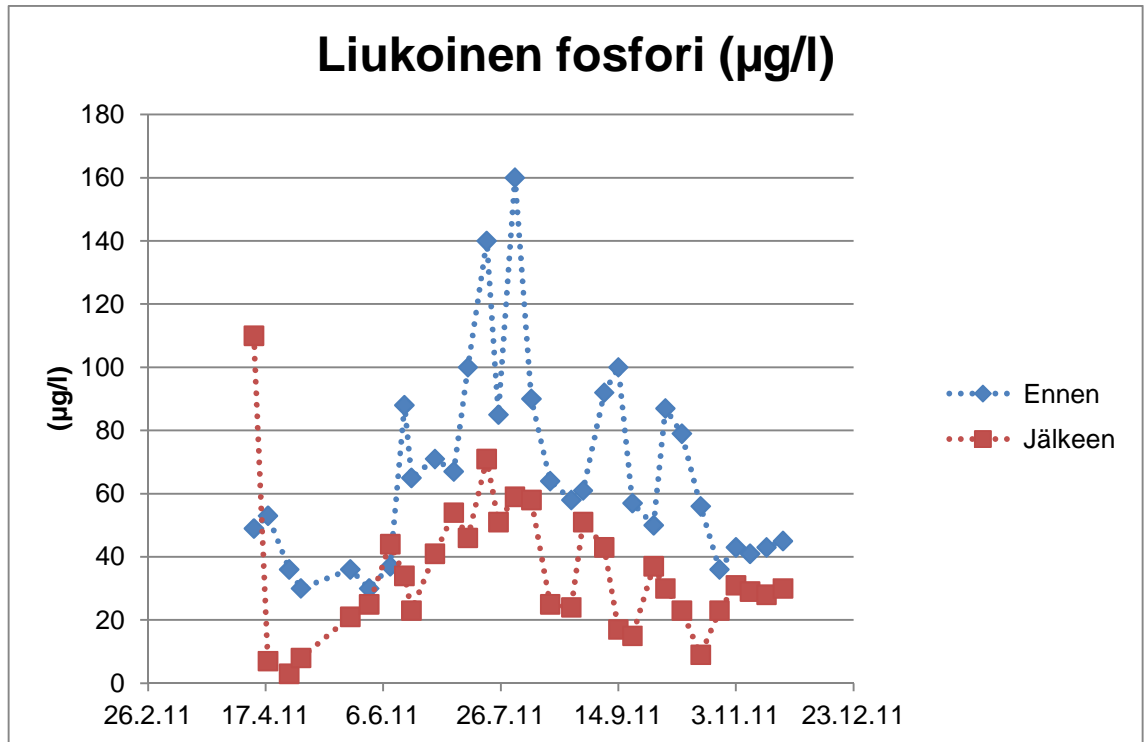
Kuvio 1. Virtaama vuonna 2011.

Kuviossa 1 näkyy useita selkeästi erottuvia tulvahuippuja. Ensimmäinen kuvaa lumien sulamisesta aiheutuvia kevättulvia. Loput piikit kuvaavat useamman päivän rankkoja sateita.

4.2 Liukoinen fosfori

Riippuvuuksia liukoisen fosforin laskemiselle pyrittiin saamaan yhdistelemällä vesinäytetuloksia ja mittalaitteiden mittaamia tuloksia. Erityisesti toivottiin, että saataisiin hyvä riippuvuussuhde vesinäytteistä mitatulle liukoiselle fosforille ja jollekin mittalaitteista mitatulle parametrille. Näin oltaisiin pystytty laskemaan liukoisen fosforin pitoisuuksia puolen tunnin välein koko mittauskaudelle. Riippuvuussuhteet eivät olleet kuitenkaan tarpeeksi hyviä, jotta niiden avulla olisi pystynyt laskemaan luotettavia tuloksia. Niinpä liukoisen fosforin poistuma laskettiin vesinäytteiden perusteella. Vesinäytteitä otettiin mittausjaksolla 31 kappaletta sekä tulevasta että lähtevästä mittauspisteestä. Vesinäytteistä määritettiin laboratorioissa liukoisen fosforin pitoisuus. Näin vesinäytteiden perusteella pystyttiin laskemaan keskiarvo ja vaihteluväli sille, kuinka paljon liukoista fosforia oli poistunut vedestä mittauspisteiden välillä. Keskiarvo oli n. 31,58 $\mu\text{g/l}$ eli 0,03158 g/m^3 . Prosentuaalisesti mittauspisteiden välillä liukoisen fosforin pitoisuus vedessä laski keskimäärin 48 %. Vaihteluväli oli kuitenkin melko suuri, vaihdellen 61 $\mu\text{g/l}$ lisäyksestä 101 $\mu\text{g/l}$ poistoon.

Vuoden 2011 mittausjakso jaettiin 40:en lyhyempään jaksoon, joiden kemikaalinkulutus tiedettiin. Näille jaksoille laskettiin myös kokonaisvirtaamat. Kokonaisvirtaaman ja poistetun liukoisen fosforin keskiarvon avulla saatiin laskettua jaksosten liukoisen fosforin poistuma. Yhteensä mittausjaksoilla saatiin poistettua liukoista fosforia n. 3,47 kg ja tähän kului Ferix-3 kemikaalia 2560 kg. Kuviossa 2 näkyy liukoisen fosforin pitoisuudet vesinäytteissä ennen ja jälkeen fosforinsaostuksen.

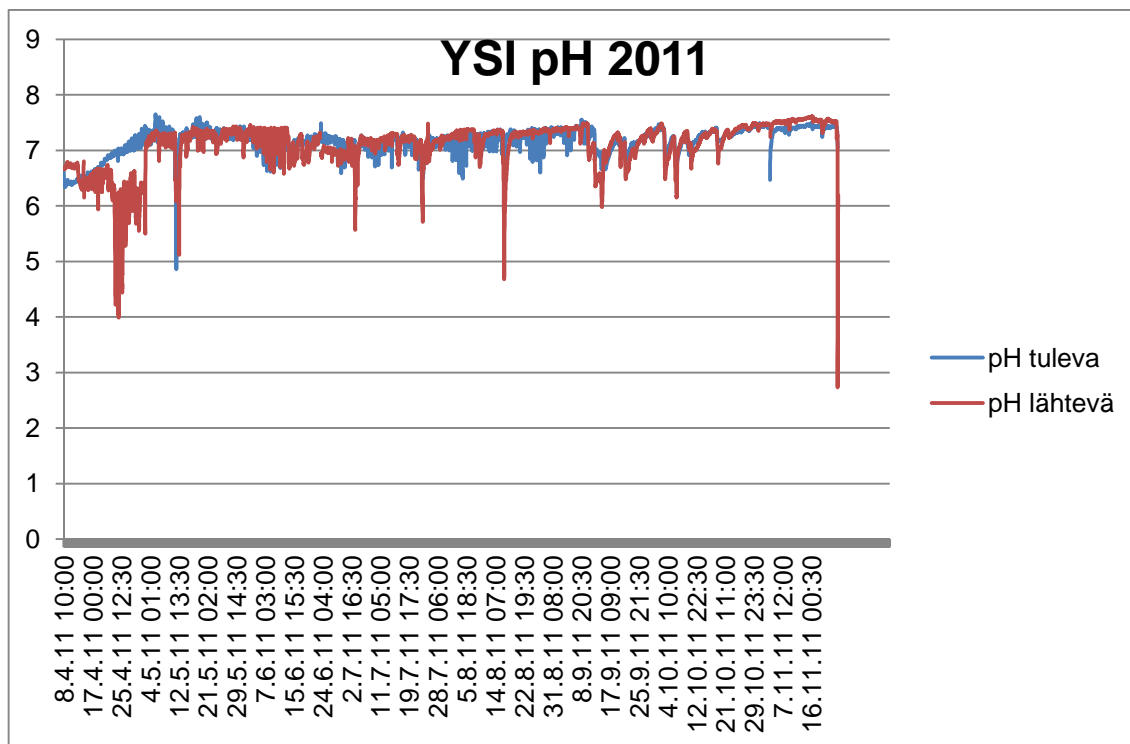


Kuvio 2. Liukoisen fosforin pitoisuudet ennen ja jälkeen fosforinsaostuksen.

Vuonna 2010 otettiin kahdet vesinäytteet tulevan ja lähtevän pään mittauspisteistä ennen kemikaalinsaostuksen aloittamista. Näiden tulosten keskiarvon mukaan liukoinen fosfori vähentyi mittauspisteiden välissä $16 \mu\text{g/l}$. Kemikaalinsaostuksella saatiin siis liukoinen fosfori vähenemään keskimäärin $31,58 \mu\text{g/l}$, eli siis miltei tuplasti enemmän.

4.3 pH:n muutokset

Kuten kuvio 3 osoittaa, vaihtelee lähtevän pään happamuus huomattavasti enemmän kuin tulevan pään mittauspisteessä. Tämä johtuu kemikaalin vaikutuksesta lähtevässä mittauspisteessä.



Kuvio 3. Veden happamuus tulevassa ja lähtevässä mittauspisteessä.

Happamuuden muutokset korreloivat huoltokäyntien ajankohtien kanssa. Tämä johtuu siitä, että usein kemikaalisukka oli mennyt tukkoon ja sitä avattiin huoltokäyntien yhteydessä. Erityisen suuret pudotukset happamuudessa sijoittuivat mittauskauden alku- ja loppupäähän. Alkupään alhaiset pH arvot johtuivat siitä, että kemikaalinannostelijan kemikaalisukka oli asennettu liian alas. Parin senttimetrin nosto auttoi tilannetta ja kemikaalia liukeni sukasta oikea määrä veden virtaamaan nähden. Mittauskausi jouduttiin päättämään marraskuussa, kun kemikaaliastiaa kannatellut puukehikko romahti ja kemikaaliastia putosi uomaan. Tuolloin astiassa oli Ferix-3 kemikaalia noin 390 kg. Näin kemikaalia pääsi liukenemaan veteen liikaa.

Tässä tutkimuksessa pH:n keskimääräisissä muutoksissa mittauspisteiden välillä ei havaittu juurikaan eroa, kun MTT:n tutkimuksessa pH:n lasku kemikaalikäsittelyn jälkeen oli keskimäärin 0,5 yksikköä (Närvänen & Jansson 2007a, 14-15). Hetkellisiä suuriakin vaihteluita kuitenkin ilmeni. Merkittävin näistä oli kemikaaliastian romahtaminen, jonka myötä pH laski nopeasti. Tunnissa pH-arvo laski 7,27:stä pahimmillaan 2,73:een, joten sillä saattoi olla jo seurauksia kysei-

sen ojan vesieliöstöön. Neljän tunnin kuluttua pH-arvon romahtamisesta happamuus oli jo miltei normaalilla tasolla pH:n ollessa 6,04. EU:n kalavesidirektiivin (78/659/ETY) mukainen suositus sekä lohivesille, että särkivesille on happamuuden osalta 6 - 9. Jos pH tippuu alle viiden, voivat kalakuolematkin olla jo mahdollisia (Tikka). Tässä tapauksessa ojan pH tippui alle kolmen.

Tämän mittauskauden lopun hurjan pH:n laskun vaikutuksia ei tässä tutkimuksessa tarkemmin selvitetä, mutta ennen mittauskautta ja sen aikana seurattiin valokuvin kemikaloinnin mahdollisia vaikutuksia vesikasveihin eikä suuria muutoksia havaittu. Mittauskaudella 2011 havaittiin kosteikossa sammakonkutua, mistä kehittyi myöhemmin terveiden oloisia normaaleja sammakoita. Myös paljon muita vesieläimiä havaittiin kohdeojassa.

4.2 Kustannustehokkuus

Aloituskustannuksiin kuului kemikaalilaatikko, vaneria patoon, puutavaraa, ruuveja ym. Työkustannuksia tähän ei laskettu. Näin aloituskustannukset ilman työkustannuksia olisivat tällä menetelmällä noin 330€ - 650€. Ferix-3 –kemikaalia ostettiin useammassa eri erässä ja sen hinta oli jatkuvasti pienessä nousussa. Vuonna 2011 sen keskiarvoinen hinta oli n. 0,73 €/kg. Tutkimusta varten tilattiin Ferix-3 –kemikaalia 1200 kg:n erissä ja näihin lisättiin rahtimaksua 150 €/kuljetus. Vuoden 2011 mittausjakson 40:ssä jaksossa kemikaalia kului yhteensä 2560 kg. Yhteensä se tuli siis maksamaan 1 867,24 € mittausjaksojen osalta. Kyseisen kemikaalimäärän kanssa saatiin vedestä poistettua liukoista fosforia n. 3,47 kg. Näin voitiin laskea, että tällä kyseisellä menetelmällä yhden kilogramman poistaminen liukoista fosforia tuli maksamaan 538,31 €. Tähän laskelmaan ei ole kuitenkaan huomioitu työkustannuksia, rahtia tai kemikaalin hävikkiä. Kemikaalin hävikkiä aiheutui joen penkalle valuneesta kemikaalista kemikaalastian täytön yhteydessä. Laskelmaan ei ole myöskään sisällytetty kosteikon ruoppaamisesta ja ruoppausmassojen läjittämisestä aiheutuvia kustannuksia.

4.3 Tulosten luotettavuus

Tämän tutkimuksen tuloksien luotettavuutta tarkasteltaessa pitää kiinnittää huomiota virtaamamittauksiin, pH:n mittauksiin ja erityisesti vesinäytetuloksiin, sillä niiden perusteella tutkimuksen tulokset on laskettu. Virtaamamittaukset saatiin yhdistämällä 11 761 Keller-paineanturin mittaustietoa pinnankorkeudesta ja kaavat V-padosta ja suorakulmaisesta padosta. Yleisesti käytettyjen laskukaavojen ja suuren mittausdatamäärän perusteella laskettuja tuloksia voidaan pitää suhteellisen luotettavina. Jos padon V –muotoa ei ole kuitenkaan saatu täysin 120 asteiseksi, niin se voi aiheuttaa mittausvirheitä.

Vesinäytteitä otettiin yhteensä 62 kappaletta ja ne analysoitiin laboratoriossa. Joistakin näytteistä vietiin rinnakkaisnäytteet myös toiseen laboratorioon, jotta saatiin varmistettua laboratoriotulosten yhteneväisyys. Pieniä eroavaisuuksia havaittiin näiden kahden laboratorion välisissä tuloksissa. Jotkin eroavaisuudet saattavat johtua siitä, että Ramboll Analyticsille lähetetyt näytteet pystyttiin välimatkan vuoksi analysoimaan vasta seuraavana arkipäivänä. Virhemahdollisuutta lisäsi myös näytteidenotto. Varsinkin kesän pienillä virtaamajaksoilla vesinäytteiden ottaminen ilman pohjasedimentin pölyttämistä oli vaikeaa.

Veden happamuutta mitattiin kahdella YSI moniparametrisondilla, joiden mittauspääät puhdistettiin käsin viikoittain. Mekaaninen puhdistus tapahtui kuitenkin paljon taajemmin laitteen viperilla, jonka puhdistusvälin pystyy asettamaan laitteen asetuksista. Lisäksi pH -anturit kalibroitiin säännöllisesti kolmen pisteen menetelmällä laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti. Mittausdataa oli paljon, mutta siitä piti kuitenkin karsia selviä virhetuloksia, jotka johtuivat roskista tai vesieliöistä mittauslaitteen pinnassa tai linssien edessä. Huoltokäynnit ja laitteiden kalibroinnit aiheuttivat luonnollisesti myös virhedataa.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulosten perusteella Ferix-3 –kemikaalin käyttö kyseisellä testipaikalla vähensi vedessä olevan liukoisen fosforin määrää selvästi. Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että Ferix-3 –kemikaali poistaa liukoista fosforia maatalouden ojavedestä yhdessä kosteikkokäsittelyn kanssa.

Menetelmä ei kuitenkaan ollut aivan yksinkertainen, sillä se vaati paljon työtä. Maasto oli suhteellisen vaikeakulkuista eikä perille asti päässyt autolla. Todennäköisesti monissa muissakin peltoalueiden ojissa on sama tilanne. Pitänee varautua siihen, että tarvikkeet ja kemikaali täytyy kantaa paikan päälle tai valita sellaisia kohteita, joihin kemikaali ja muut tarvikkeet pystytään kuljettamaan esimerkiksi traktorilla. Kevättulvien ja rankkojen sateiden aikaan kemikaalia kului suuria määriä (jopa satoja kiloja vuorokaudessa), joten kemikaalin kuljettamisessa on aika ajoin paljonkin työtä. Myös seurantaan ja ylläpitoon tulisi varata resursseja.

Annostelusysteemin kehittäminen olisi tutkimuksen tekijän mielestä tarpeellista, jotta pystyttäisiin vähentämään liian alhaisen pH:n tai suurien, äkillisten happamuuden vaihteluiden aiheuttamia riskejä. Annostelusukassakin olisi tämän tutkimuksen perusteella vielä kehittämisen varaa, jotta kemikaali ei niin helposti paakkuuntuisi annostelijasukkaan tukkien sitä.

Tämän menetelmän vaatiman suurehkon työmäärän ja mahdollisten riskien vuoksi ei Ferix-3 –kemikaalin käyttöä jokaisessa ojassa voida suositella. Luultavasti parhaat tulokset saataisiin, kun menetelmää käytettäisiin vain kaikkein kuormittavimmissa, pienehköissä ojissa. Olisi myös hyvä, että näihin kohteisiin pystyttäisiin järjestämään säännöllistä seuranta, ettei vahinkoja pääsisi tapahtumaan. Ainakin kunnes menetelmää on kehitetty niin, että kemikaalisukka toimii kaikissa tilanteissa eikä ole mahdollista, että kemikaalia pääsisi yhtäkkiä veteen liian suuria määriä.

Mahdollisuudet menetelmän suuremman mittakaavan käyttöön voidaan nähdä ainakin tällä hetkellä hieman epärealistisina. Menetelmässä on vielä liikaa riskiä ja se on liian työläs. Tutkimuskohteen oja oli niin pieni, että kesäaikana oli pitkiä ajanjaksoja, jolloin virtausta ei ollut lainkaan. Jos samaa menetelmää ajateltaisiin käytettäväksi suuremmissa ojissa tai joissa, niin kemikaalin määrät olisivat huomattavasti suurempia, varsinkin suurten virtausjaksojen aikana. Tätä varten pitäisi varata jo suuria silloja, missä kemikaalia voisi varastoida. Tämä lisää riskienkin määrää jo reilusti.

Kustannustehokkuudeltaan Ferix-3 –kemikaalin käyttöä tässä menetelmässä voidaan pitää varsin hyvänä. Aloituskustannukset eivät nouse suuriksi, sillä sähköä tai teknisiä laitteita ei tarvita. Käyttökustannukset ovat myös suhteellisen alhaiset. Tämän tutkimuksen mukaan käyttökustannukseksi tuli noin 540 €/poistettu kilo liukoista fosforia. Turun ammattikorkeakoulun ravinnesiepparihankkeessa, jossa tutkittiin mahdollisuuksia vesilaitoksissa tapahtuvaan fosforinpoistoon, arvioitiin käyttökustannusten olevan noin 1700 €/poistettu fosforikilo (Turun ammattikorkeakoulu 2011). Ravinnesiepparihankkeen laskelmaan oltiin otettu huomioon monia kustannuksia, joita ei oltu laskettu mukaan tämän tutkimuksen käyttökustannusten arviointiin. Lisäksi ravinnesiepparihankkeessa poistettiin kokonaisfosforia ja tässä tutkimuksessa liukoista fosforia. Nämä hankkeet eivät ole aivan vertailukelpoisia keskenään, mutta näiden tietojen perusteella voidaan tutkimuksessa testattua yksinkertaista Ferix-3 annostelua pitää suhteellisen kustannustehokkaana keinona vähentää liukoisen fosforin määrää vesistöissä.

Maanviljelijöiden suhtautumista kemikaalinsaostukseen ei tässä tutkimuksessa selvitetty, mutta jos siitä ei aiheudu maanviljelijöille lisäkuluja tai muita haittoja, niin luultavasti löydetään halukkaita maanviljelijöitä tällaiseen yhteistyöhön.

Tässä tutkimuksessa ei tutkittu mahdollisuutta käyttää kosteikon pohjalle vajonnutta lietettä uudelleen lannoitteena. Jatkossa olisikin hyvä tutkia, olisiko tämä mahdollista.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan tulla paljolti samoihin johtopäätöksiin kuin mitä TEHO –hankkeen loppuraportissakin on kerrottu kemiallisista puhdistusmenetelmistä. Raportin mukaan ”Puhdistusmenetelmät soveltuvat kokeilujen perusteella parhaiten pienille valuma-alueille. Kustannustehokkainta on kohdistaa puhdistus ojiin, joissa ravinnekuormitus on suurta. Tällöin myös mahdolliset riskit esimerkiksi ojaveden pH:n alentumisesta jäävät pieniksi.” (Lillunen ym. 2011, 78).

LÄHTEET

Hagelberg, E.; Karhunen, A.; Kulmala, A. & Larsson, R. 2010. Käytännön kosteikkosuunnittelu. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kaasinen, S. & Kulmala, A. 2011. A farmer's view on the Baltic Sea.

Kalavesidirektiivi 78/659/ETY.

Kalsiumoksidin kansainvälinen kemikaalikortti. Viitattu 4.12.2012.
<http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin0409.htm>

Kemira 2011. Ferix-3 tuotetiedot. Viitattu 2.2.2012
http://www.kemira.com/SiteCollectionDocuments/Solutions_Products/KW%20tuotteet/Ferix_3.pdf

Knuutila, S. 2007. Sairauskertomus: Itämeri. Duodecim 2007; 123: 1409 – 1410. Viitattu 4.10.2012 <http://www.terveyskirjasto.fi/xmedia/duo/duo96574.pdf>

Kulmala, A. 2011. TEHO-hankkeen raportteja, osa 1. Helsinki: Edita Prima Oy.

Lillunen, A.; Härjämäki, K.; Riiko, K.; Yli-Renko, M.; Kulmala, A.; Koskinen, J.; Lundström, E. & Kaasinen, S. 2011. Kotopelloilta Rantalohkolle – Tehoa maatalouden vesiensuojeluun. TEHO – hankkeen (2008 – 2011) loppuraportti. Helsinki: Edita Prima Oy.

Maa- ja metsätalousministeriö 2007. Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma 2007-2013. Viitattu 10.7.2012 http://www.maaseutu.fi/attachments/5yZN7wKiV/Manner-Suomen_maaseudun_kehittämisohjelma_070610_FI.pdf

Närvänen, A. & Jansson, H. 2007a. Ferrisulfaatti saostaa maatalouden fosforit. Maaseudun Tiede 64, 1 (18.6.2007). s. 14.

Närvänen, A. & Jansson, H. 2007b. Ferrisulfaatti saostaa ojavesistä liuenneet fosforit. Maaseudun Tiede 64, 2 (22.10.2007). s.13.

Närvänen, A.; Jansson, H. & Uusi-Kämppe, J. 2008. Hevostarhojen valumavesien puhdistaminen. Viitattu 10.2.2012 http://www.smts.fi/mpol2008/index_tiedostot/Posterit/ps108.pdf

Penttinen, K. & Niinimäki, J. 2010. Vesiensuojelun perusteet ja vesistöjen kunnostus. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy.

Suomen ympäristökeskus 2011a. Fosfaattifosfori. Viitattu 21.4.2012
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=12877&lan=fi>

Suomen ympäristökeskus 2011b. pH-arvo. Viitattu 4.12.2012
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=12875&lan=fi>

Suomen ympäristökeskus 2011c. Maatalouden vesiensuojelu. Viitattu 17.8.2012
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=77497>

Suomen ympäristökeskus 2011d. Ravinteiden käyttökelpoisuus ja vesien rehevöityminen. Viitattu 20.4.2012 <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=97043>

Suomen ympäristökeskus 2009. Maatalouden osuus vesistökuormituksesta kasvaa. Viitattu 1.2.2012 <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=340163&lan=fi&clan=fi>

SuomiSanakirja 2012a. Valuma-alue. Viitattu 4.10.2012 <http://suomisanakirja.fi/valuma-alue>

SuomiSanakirja 2012b. Virtaama. Viitattu 4.10.2012 <http://suomisanakirja.fi/virtaama>

Tikka, J. Vesianalyysitulosten tulkinta. Viitattu 1.10.2012 http://www.mikkeli.fi/fi/sisalto/02_palvelut/09_ymparisto/17_ympsuojelu/vesiasiat/vesistot/vedenlaatukri.html

Turun ammattikorkeakoulu 2011. Turun Halisten vesilaitoksen käyttömahdollisuudet Aurajoen ravinnesieppauksessa.

Valste, J.; Airamo, S.; Holopainen, M.; Koivisto, I.; Suominen, T.; Viitanen, P. 2002. Biologia. Porvoo: WSOY

Vesilaki 19.5.1961/264

Vesipuidedirektiivi 2000/60/EY.

Ympäristöministeriö 2002. Suomen Itämeren suojeleohjelma. Valtioneuvoston periaatepäätös. Helsinki: Edita Prima Oy

Ympäristöministeriö 2007. Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy

YSI Incorporated 2010. Calibration, Maintenance & Troubleshooting Tips. <http://www.YSI.com/media/pdfs/YSI-Calibration-Maintenance-Troubleshooting-Tips-6-Series-Sondes-2-8-10.pdf> Viitattu 15.9.2012.

Äystö, V. 1997. Rehevien järvien kunnostusten arviointi. Helsinki: Suomen ympäristökeskus

