

Opinnäytetyö (AMK)

Kala- ja ympäristötalouden koulutusohjelma

Iktyonomi (AMK)

2016

Sonja Risti

# LIUKOISEN FOSFORIN SAOSTAMINEN FERRISULFAATILLA - KIRJALLISUUSKATSAUS

OPINNÄYTETYÖ (AMK ) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kala- ja ympäristötalous  
Ohjaajat: Kaseva Antti, Kääriä Raisa

2016 | 35

Sonja Risti

## LIUKOISEN FOSFORIN SAOSTAMINEN FERRISULFAATILLA - KIRJALLISUUSKATSAUS

Tässä työssä keskitytään ferrisulffaattiin perustuvaan fosforin saostamiseen sekä saostuksen tehokkuuteen, turvallisuuteen ja toimivuuteen. Ferrisulffaattia on jo pitkään käytetty saostamaan jätevesiä, mutta sen hyödyntämisestä luonnonvesien käsittelyssä on rajoitetusti tietoa käytettävissä, koska projekteja tästä aiheesta on vähän.

Fosfori rehevöittää vesistöjä, joten on tärkeä selvittää erilaisia keinoja fosforikuorman vähentämiseksi. Maataloudesta tulevan fosforikuorman määrä on suhteessa suurin hajapäästölähde nykyään. Siksi on vertailtava tapoja, joilla runsaan maatalouden valumavesialueille saataisiin päästöjä kontrolloivia ratkaisuja.

Opinnäytetyössä tarkastellaan fosforin tärkeyttä ja kiertoa luonnossa, sen vaikutusta rehevöittävänä tekijänä ja fosforin vähentämisen tärkeyttä. Saostusmenetelmän toimivuutta arvioidaan käymällä läpi kolme eri koetta, jotka on toteutettu Paattistenjoella, Nuutajärvellä ja Nautelassa. Niiden avulla tutkitaan kokeissa käytetyn kemikaalin, ferrisulfaatin, ominaisuuksia, menetelmän toimivuutta ja soveltuvuutta sekä sen vaikutuksia ympäristölle. Niitä tutkimalla voidaan tehdä päätelmiä menetelmän sovellettavuudesta vastaaviin luonnonvesiin ja ojiin, joissa menetelmää on jo testattu. Opinnäytteessä kiinnitetään myös huomiota kokeiden yhteydessä ilmenneisiin ongelmiin.

Työn perusteella voidaan päätellä, että ferrisulfaatisaostusta voidaan soveltaa ojiin, joiden fosforipitoisuus on suhteellisen suuri, jotta menetelmä on kustannustehokas. Se ei kuitenkaan sovi kaikkialle annostelijan asennuksen vaatimien kriteerien takia. Parhaiten menetelmä toimii osana muita maatalouden vesiensuojelumenetelmiä fosforipäästöjen vähentämiseksi.

ASIASANAT:

Ferrisulfaatti  
Fosfori  
Rehevöityminen  
Saostaminen

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fisheries and Environmental Care  
Instructors: Kaseva Antti, Kääriä Raisa

2016 | 35

Sonja Risti

## REMOVAL OF DISSOLVED PHOSPHORUS WITH FERRIC SULFATE – A LITERATURE REVIEW

The purpose of this thesis was to study the efficiency, safety and functionality of chemical precipitation in fresh water precipitation projects. The main chemical that was studied is ferric sulphate, which has been used for a long time to precipitate municipal waste water. Because its usage in fresh water precipitation projects has been rather rare, there is limited amount of information available.

The role of phosphorus in eutrophication process in lakes is rather significant, so it is important to search for new methods to reduce its amount in fresh water ecosystems. Agriculture is the greatest diffuse source of phosphorus in modern society. That is why new ways to control the phosphorus emissions from agricultural drainage basin need to be compared and tested.

This thesis studies the importance of phosphorus, its cycle in nature and the importance of reducing it. After the attributes of the chemical that was used in the test, its suitability and its effects on the environment are discussed.

This thesis studies the importance of phosphorus, its cycle in nature and the importance of reducing it. The efficiency of the used method is evaluated by studying 3 different projects where ferric sulphate was used and that were conducted in Paattistenjoki, Nuutajärvi and Nautela. With help of the projects the attributes of the chemical used in the test sites, its suitability and its effects on the environment are studied. I will go through the pros and cons and the functionality of the used method are introduced as well as what kind of fresh water systems it is suitable. This thesis also presents a list of notions and problems that were noticed during these projects.

While studying the tests a conclusion can be made that the ferric sulphate precipitation method should be used in small natural brooks where the phosphate concentration is high because in this way the method is cost-efficient. However, the used method has its limitations and requirements and therefore, is not suitable or recommended to be used everywhere. Also it should be used as a part of other phosphorus reduction methods, not as an only solution.

KEYWORDS:

phosphorus  
ferric sulphate  
eutrophication  
precipitation

# SISÄLTÖ

<b>SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>8</b>
<b>2 FOSFORI</b>	<b>8</b>
2.1 Fosforin kierto luonnossa	9
2.2 Fosforin vaikutukset: Rehevöityminen Itämeressä	10
2.3 Lainsäädäntö ja suojelupolitiikka	14
<b>3 FOSFORIN SAOSTUS LUONNONVESISTÄ</b>	<b>15</b>
3.1 Menetelmän soveltuvuus	15
3.2 Edut ja haitat	16
3.3 Käytettävä kemikaali	17
<b>4 KÄYTÄNNÖN KOKEET JA VERTAILUA</b>	<b>19</b>
4.1 Paattistenjoki	19
4.2 Ferix-3-saostuskokeet Nuutajärven valuma-alueella	23
4.3 Nautelan saostuskokeet	26
<b>5 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>30</b>
5.1 Ongelmat	30
5.2 Mahdolliset lisäratkaisut	31
5.3 Pohdintoja	32
<b>LÄHTEET</b>	<b>34</b>
<b>LIITTEET</b>	
Ferix-3:n englanninkielinen tuoteseloste	
<b>KAAVAT</b>	
Kaava 1. Saostuneen fosforin laskukaava (Uusitalo & Närvänen 2014.)	25

## KUVAT

Kuva 1. Suomen fosforipästölähteet v. 2015, päästöt kokonaisuudessaan 3047 tonnia/vuodessa (Suomen ympäristökeskus 2016).	11
Kuva 2. Ylijäämäfosforia esiintyy Suomenlahdella huomattavasti enemmän kuin samaan aikaan vuosi sitten (Suomen ympäristökeskus 2016).	13
Kuva 3. Leväseurannan tulokset vuosilta 1999–2015 Paattistenjoen valuma-alueelta (Järviwiki 2016).	19
Kuva 4. Kuva kemikaalisäiliöstä (Kuva: Sonja Risti)	20
Kuva 5. Kuva pumppujärjestelmästä (Kuva: Sonja Risti)	21
Kuva 6. Kaavakuva Paattistenjoen annostelijasta	22
Kuva 7. Kaaviokuva Nuutajärven ja Nautelan valuma-alueilla käytetystä annostelijasta (Uusitalo & Närvänen 2014).	23
Kuva 8. Nuutajärven annostelijoiden sijoituspaikat vuonna 2013. Maanmittauslaitoksen peruskartta (12/2016).	24
Kuva 9. Kohdeojan tutkimusalueen koko valuma-alue (- - —) sekä alue, jolta annostelijalle (n) tulevat valumavedet kertyvät (—) (Kaseva 2013). Maanmittauslaitoksen peruskartta (6/2013).	27
Kuva 10. Nautelassa käytetty ferrisulfaattiannostelija. Takana kemikaalisäiliö, jonka alla näkyy kemikaalin annostelupää. Etualalla on virtaaman mittauksessa hyödynnetty v-pato (Kaseva 2013).	28
Kuva 11. Saloy Oy:n kehittämä menetelmä Vettä hieman painavampi fosfori vajoaa saostusaltaan pohjalle, mistä se voidaan kerätä talteen ja kierrättää takaisin lannoitteeksi (YLE 2014).	31

## SANASTO

Adenosiinitrifosfaatti	ATP eli adenosiinitrifosfaatti on adeniinista, riboosisokerista ja kolmesta toisiinsa peräkkäin liittyneestä fosfaattiryhmästä rakentuva molekyyli, jonka energiasisältö on sopiva solun välittömiin energiatarpeisiin (Otavan Opisto 2013).
Ferrisulfaatti	Ferrisulfaatti ( $\text{Fe}^2(\text{SO}^4)_3$ ) on primaarisaostusaine, joka pohjautuvat kolmiarvoiseen rautaan ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Se sopii erinomaisesti juoma- ja jätevedenkäsittelyyn ja fosforinpoistoon (KEMIRA).
Fosfori	Fosfori on sisävesissä yleensä minimiravinne, joka rajoittaa perustuotantoa. Tämän vuoksi fosforipitoisuus on tärkeä vesistön rehevyyden arvioinnissa. Kokonaisfosforipitoisuus ilmoitetaan yleensä mikrogrammaa litrassa ( $\mu\text{g/l}$ )(Vesientila.fi).
Fosfaatti	Ns. liukoinen fosfori ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) solujen toiminnan tärkeä ioni, Runsasenergisissä yhdisteissä kuten adenosiinifosfaateissa fosfaatin irtoaminen vapauttaa ja kiinnittyminen sitoo energiaa. (Biologia Elämä 2002).
Hajakuormitus	Vesistöä rehevöittävä tai liikaava kuormitus, joka on peräisin haja-asutuksesta ja maa- ja metsätaloudesta (Kalavedet kuntoon 2002).
Pistekuormitus	Vesistöjä rehevöittävä tai liikaava kuormitus, jolla on selvästi osoitettava päästölähde,

	<p>esimerkiksi teollisuuslaitos tai yhdyskunta (Kalavedet kuntoon 2002)</p>
Sisäinen kuormitus	<p>Vesistön pohjaan kerrostuneiden ravinteiden paluu veteen perustuottajien käyttöön. Sisäinen kuormitus voi olla fysikaalista (aallokön tai virtauksen aiheuttamaa), kemiallista (ravinteiden liukeneminen hapettomaan tai hyvin emäksiseen veteen) tai biologista (kalat penkovat pohjamutaa ruokaillessaan) (Kalavedet kuntoon 2002)</p>
Typpi	<p>Typpi on pääravinne, joka rajoittaa perustuotantoa yhdessä fosforin kanssa. Kokonaistyyppipitoisuus ilmoitetaan yleensä mikrogrammaa litrassa (<math>\mu\text{g/l}</math>). (Vesientila.fi)</p>
Täyskierto	<p>Syksyllä ja keväällä järvissä tapahtuu täyskierto. Täyskierrolla tarkoitetaan sitä, että pintavesi ja pohjavesi sekoittuvat lämpötilan muutoksen takia jolloin hapekasta pintavettä päätyy pohjalle (Tieteen Kuvalehti 2004).</p>
Valuma-alue	<p>Se on alue, jolta esimerkiksi järvi saa kaiken sateen kautta tulevan vetensä. Rajoittuu vedenjakajaan eli korkeaan maa-alueeseen, joka määrittää kumpaa vesistöä kohti vesi valuu (Vesientila.fi)</p>
w/v %	<p>Percent Weight/Volume (% w/v) = paino grammoissa ainetta per 100 millilitraa liuosta.</p>
YSI-moniparametri	<p>Veden laatumittari, jolla kyetään määrittelemään veden ominaisuuksia kenttäolosuhteissa.</p>

# 1 JOHDANTO

Veden laatua määritellään monilla arvoilla ja useimmiten tärkeimmät määreet ovat sen sameus, happipitoisuus ja levän määrä. Vesien ekosysteemeissä usein veden laadun huononeminen on linkittynyt fosforin määrän kasvuun vesipatsaassa. Fosfori on yleisin kasvien kasvua rajoittava tekijä.

Tässä työssä arvioin fosforin saostamisen tehokkuutta, hyödyllisyyttä ja turvallisuutta ympäristölle perustuen eri paikoissa jo tehtyihin kokeisiin ja vertailemalla tuloksia keskenään. Tarkastelun alaisena oli Nautelassa ja Nuutajärvellä tehdyt kokeet, sekä Paattistenjoella käynnissä oleva saostuskoe. Tarkoituksena on myös kartoittaa mahdollisia kokeissa käytettävään menetelmään liittyviä ongelmia sekä mahdollisia ratkaisuja.

Vaikka Paattistenjoella ei ole vielä saatu suoritettua koeajoja tämän opinnäytetyön tekovaiheessa ja tämän vuoksi joihinkin tämän opinnäytetyön kysymyksiin ei voida sen osalta vastata, otin sen osaksi tätä työtä esitelleksäni sen kaltaisen suuremman projektin haasteita ja ongelmia.

Määriteltäessä parasta menetelmää sisäisen fosforikuormituksen kontrollointiin, on tärkeää huomioida jokaisen vesistön erilaisuus biologisten ja kemiallisten ominaisuuksien osalta. Sen takia menetelmän muokkaus jokaiseen testialueeseen sopivaksi on ensiarvoisen tärkeää. Tämä tehdään ennalta vesinäytteenotoilla ja valuma-alueen arvioinnilla, jotta voidaan päättää alueelle sopiva kemikaali. Ferrisulfaatin on havaittu kokeiden kautta toimivan parhaiten suurten fosforipitoisuuksien ojiin. Huomionarvoista on myös valita annosteluajankohdan ja kemikaalin määrä oikein, jotta toteutettavien menetelmien onnistumismahdollisuus kyetään maksimoimaan, ja minimoimaan samalla mahdollisesti vesistölle koitua haitta.

Fosforin määrän lisääntymisen vaikutukset ovat kauaskantoiset ja niitä ovat muunmuassa veden laadun huononeminen, muutokset kalastossa, biologisessa monimuotoisuudessa ja veden puskurointikyvyssä. Nämä asiat yhdessä laskevat myös alueen virkistyskäyttömahdollisuuksia. Huonontunut veden laatu vaikuttaa niin vesistön ekologiseen tilaan kuin sen virkistyskäyttöarvoon. Erilaisilla kunnostustoimenpiteillä on siis monia eri tahoja hyödyttäviä ominaisuuksia.



## 2 FOSFORI

Vaikka fosforia esiintyy vain pieninä pitoisuuksina maankuoressa (0.09 w/v %), se silti on osallisena monissa tärkeimmistä elämää ylläpitävistä prosesseista. Fosforia esiintyy lukemattomissa määrissä yhdisteitä. Se on yleisin kasvien kasvua rajoittavista tekijöistä ja uusiutumaton luonnonvara. Selkärankaisten luuranko ei olisi kehittynyt muotoonsa ilman hydroksyyliapatiittia, joka tekee myös hampaista tarpeeksi kovia kestämään pureskelua. Dna-koodin kaksoiskierre on mahdollinen vain fosforiesterisiltojen takia, joka sitoo niitä toisiinsa. Fosfolidit puolestaan muodostavat soluseinän kalvoja. Fosfaatti on myös avaintekijä molekyyleissä, jotka säilövät soluenergiaa muunmuassa ATP (Adenosiinitrifosfaatti). (Filippelli 2008.)

Ihmisen toiminta on mahdollistanut sen, että ensimmäistä kertaa ei ole tarvinnut odottaa, että luonto tekee tehtävänsä ja rapautumisen kautta annostelee fosforia ekosysteemeihin eliöiden saatavaksi. Tämä taas on johtanut uudenlaiseen epätasapainoon luonnossa, kun ravinnetta, jonka pitäisi toimia kasvua rajoittavana tekijänä, onkin yhtäkkiä vesien ekosysteemeissä rajattomasti saatavilla.

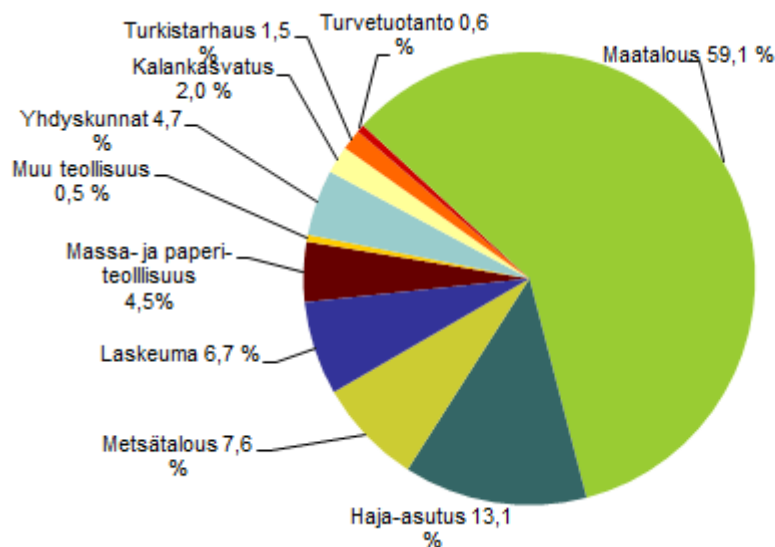
## 2.1 Fosforin kierto luonnossa

Fosforin kiertokulku on yksi tärkeimmistä prosesseista luonnossa. Fosforin kierto on vaihdellut eri aikakausina, ja sen kiertoon ovat vaikuttaneet monet eri tekijät. Aikaisemmin fosforia on pääosin vapautunut luontoon tasaisesti ja vähitellen rapautumisen seurauksena. Suhteessa fosforia ei ole luonnossa paljoa, sen kierto on todella hidasta. Toisin kuin monilla muilla tärkeillä ravinteilla, kuten nitriitti ja hiili, sillä ei yleensä ole ilmakehään kaasuuntumisvaihetta, koska bakteerit eivät kykene maaperässä muuntamaan sitä kaasumaiseen muotoon, joten ekosysteemeihin se päätyy lähinnä vesijohteisesti. Nykyisin fosforia vapautuu kaikkein eniten luontoon maataloudesta ja ihmisen muun toiminnan johdosta. Luontainen jokiin vapautuva fosforin määrä on kaksinkertaistunut ravinteiden käytön, metsien hävittämisen, kasvaneen maaperän eroosion ja jätevesien takia. (Compton ym. 2000.)

Fosforia esiintyy tyypillisesti fosfaattisuoloina, jotka sisältävät fosfaatti-ioneja ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), ja joita löytyy maaperän kivimuodostelmista, kuten apatiitista ja meren pohjan sedimenteistä. Kun vesi virtaa fosforia sisältävän kiven päältä, sitä vapautuu kierto. Epäorgaaninen fosfaatti päätyy näin maaperään ja vesistöihin. Tämän jälkeen fosfaatti vapautuu kasvien käyttöön, jota kautta ne päätyvät muihin kasveja hyödyntäviin eliöihin. Kun fosfaatit ovat jonkin elävän organismin sisällä, ne sulautuvat orgaanisiin molekyyliin kuten DNA:han. Kun kasvi tai eläin kuolee, niiden hajotessa fosfaatti vapautuu taas maaperään muuhun käyttöön. Tämän takia varsinkin kehittyvissä maissa, joissa on harjoitettu valtavaa metsien kaskeamista uuden viljely pinta-alan toivossa, on läheisille rannikoille vapautunut yhtäkkiä valtavia määriä puihin varastoitunutta fosfaattia, joka on sitten aiheuttanut puolestaan valtavaa rehevöitymistä kyseisten alueiden vesistöissä. Maaperässä fosforin orgaaniset muodot voidaan taas muuntaa kasveille käytettävään muotoon bakteerien toimesta, jotka pystyvät purkamaan mineralisaationa tunnetun prosessin kautta orgaanisen fosforin epäorgaaniseen fosfaattimuotoon. Kun fosforia vapautuu maaperään ja sitä kautta vesiteitse meriin asti, se voi sitoutua pohjasedimentteihin, joista se saattaa vapautua veteen ajan kanssa. (Filippelli 2008).

## 2.2 Fosforin vaikutukset: Rehevöityminen Itämeressä

Ylimääräinen fosfori vesistöissä voi heikentää kasvikuntaa vaikuttamalla sen keskinäiseen tasapainoon eri vesikasvien kesken, vaikuttaen niin leviin kuin kehittyneempään vesikasvillisuuteen. Tällä taas on vaikutuksia koko vesistön ekosysteemiin. Liian fosforin aikaansaama rehevöitymisprosessi johtaa suurempien leväsiintymien muodostumiseen kasvukauden aikana. Myös vesistön luontainen eliöyhteisö ja kalasto, jotka käyttävät ravinnokseen tiettyjä vesikasveja, muuttuvat. Eliöiden kuolleisuuden lisääntyminen on todennäköistä eliöyhteisön rakennemuutoksen takia. Myös vesistöjen pohjat alkavat kärsimään happikadosta, kun organismit ovat käyttäneet niistä kaiken hapen suuremmalla tahdilla kuin korvaavaa happea tulee tilalle, joka taas luo uusia ongelmia ja vääristymiä ekosysteemiin. Jatkuvilla fosforin haja- ja pistepäästölähteillä, on suuri vaikutus siihen kuinka paljon fosforia kasvit saavat käyttöönsä kasvukautena vesipatsaasta. Kasvukauden aikana on tärkeää kyetä määrittelemään ne alueet, joilta fosforikuorma on suurin, jotta fosforin kuormitusta kyettäisiin maksimaalisesti vähentämään. Maataloudesta tuleva fosfori on hajapäästöä, ja kuten kuvasta 1. huomataan, se on yksi suurimmista päästölähteistä.



Kuva 1. Suomen fosforipäästölähteet v. 2015, päästöt kokonaisuudessaan 3047 tonnia/vuodessa (Suomen ympäristökeskus 2016). © Copyright Valtion ympäristöhallinto

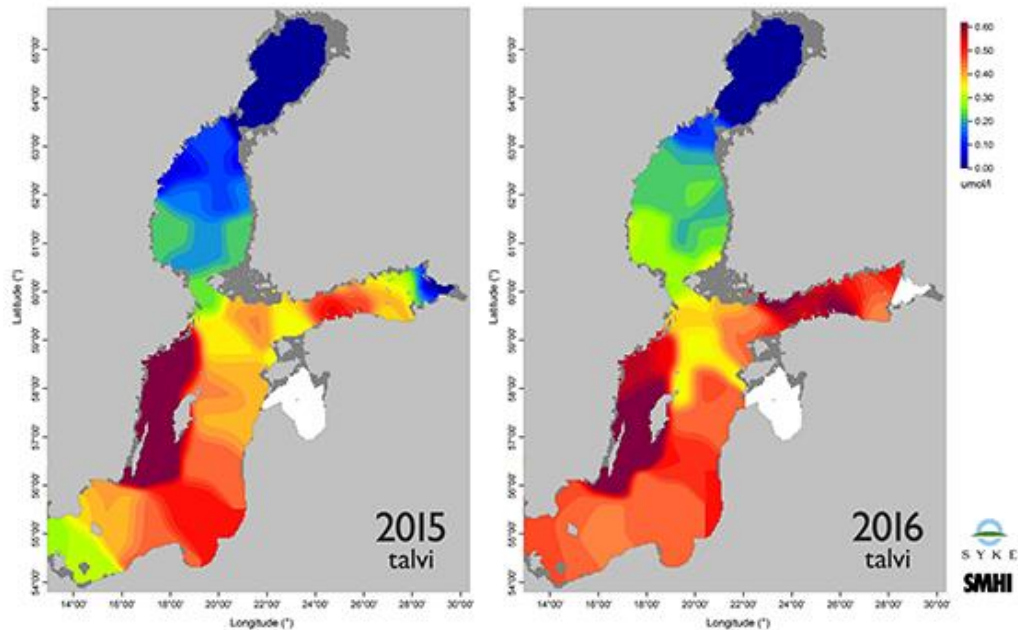
Hajapäästölähteet ovat yksiä suurimmista syistä pohjasedimenttien suurentuneisiin fosforimääriin, joista levät ja vesikasvit saattavat saada fosforia käyttöönsä, jos sitä vapautuu sedimenteistä vesipatsaaseen. Tämä fosfori voi myös vapautua vesipatsaaseen muiden prosessien kautta. Nykyään yhä enemmän ja enemmän pistepäästölähteitä on saatu hallintaan, joten hajapäästölähteiden kontrolloinnin tarve kasvaa niiden muodostaessa suurimman osan päästöistä. Jos halutaan vähentää fosforin määrää Itämeressä, pitää kehitellä ratkaisuja, jotka ovat helppokäyttöisiä ja käytettävissä koko Itämeren valuma-alueella. Varsinkin ojissa ja vesistöissä, jotka kulkevat maatalouskeskittymien läpi.

Tärkeimmistä kasvien ravinteista fosforia ja typpeä on yleensä luonnontilassa vähiten tarjolla joissa ja muissa luonnonvesissä, joten niillä on yleensä suurin potentiaali toimia kasvua rajoittavina tekijöinä. Se, että rajoittaako juuri typpi vai fosfori kasvin kasvua, riippuu yleensä monista asioista, mukaan lukien valon saanti, virtausnopeus ja muiden kasvien tarvitsemien ravinteiden saatavuus. Vesistökohtaisesti voidaan kuitenkin arvioida kumpi näistä pääravinteista on kasvien kasvua rajoittava, kun otetaan huomioon niiden luontainen ja ihmisperäinen biosaatavuus. Biosaatavuudella kuvataan tässä tapauksessa fosforin saatavuutta fosfaattin muodossa. Fosfaattimuodossa fosfori on eliöiden hyödynnettävissä. (Mainstone & Parr 2002.)

Itämeren kaltainen murtovesiallas on erittäin altis fosforin ja typen aiheuttamille vaikutuksille. Tämä johtuu siitä, että Itämeren altaassa on vähemmän vettä kuin valtamerissä, ja että sen suolapitoisuus vaihtelee suuresti liikuttaessa Kattegatista kohti Perämeren. Itämeri on vahvasti kerrostunut ja veden vaihtuvuus on vähäistä. Eniten uutta hapekasta vettä Itämereen tuovat Pohjanmereltä saapuvat suolapulssit. Suolapulssien välillä voi kuitenkin kulua vuosia, jopa vuosikymmeniä, joten vesimassat seisovat Itämeressä pitkään ja sillä on vahva sisäinen ravinnekierto. Itämeren ympäristö on erittäin tiuhaan asutettu, noin 85 miljoonan ihmisen ympäröimä ja hyödyntämä, sen valuma-alue on 1,720,270 km<sup>2</sup> ja monen sen ympärillä olevan valtion talous painottuu raskaasti maatalouteen ja teollisuuteen. Sekä typpi että fosfori toimivat kasvua rajoittavina tekijöinä Itämeren yhteyttäjäien toiminnassa, mutta koska jotkin tietyt sinilevätyypit eli syanobakteerit kykenevät käyttämään veteen liuennutta typpikaasua (N<sup>2</sup>) epäorgaanisen typen sijaan, on fosforin määrä suurempi ongelma. (Sorri 2013.) Tällöin fosfori olisi syanobakteerien kasvua rajoittava tekijä, mutta jos niillä on myös yltäkyläisesti fosforia saatavilla typen lisäksi, muodostuu sinilevien massaesiintymiä. Rehevöitymistä on joka tapauksessa Itämeressä todella vaikeaa hillitä. Sen

sedimentteihin on varastoitunut niin paljon ravinteita, että vaikka ravinnekuormitusta saataisiin vähennettyä lähes nollaan, vapautuisi pohjasta silti jatkuvasti valtavat määrät fosforia levien käytettäväksi.

### Ylijäämäfosforin määrä



Kuva 2. Ylijäämäfosforia esiintyy Suomenlahdella huomattavasti enemmän kuin samaan aikaan vuosi sitten (Suomen ympäristökeskus 2016). © Copyright Valtion ympäristöhallinto.

Jos fosforipäästöjä vesistöihin ei pyrittäisi aktiivisesti vähentämään, happikatoalueet laajenisivat entisestään, sinilevien kukinnot lisääntyisivät ja Itämeren eliöiden monimuotoisuus kärsisi entisestään. Tilanne ylijäämäfosforin osalta viimeiseltä kahdelta vuodelta on kuvattu kuvassa 2. Itämeren eri merialueilla on paljon keskinäistä vaihtelua, joka tarkoittaa myös keskenään erilaisia ekosysteemejä. Rehevöityminen vaikuttaa hieman eri tavalla erilaisissa ekosysteemeissä, mutta yleispiirteissään se lisää kasviplanktonin ja syanobakteerien määrää, vähentää valon läpäisevyyttä alempiin kerroksiin ja vähentää upokasvien kilpailumahdollisuuksia ekosysteemissä. Runsastunut kasviplankton puolestaan lisää eläinplanktonin ja kalojen määriä, mutta vain väliaikaisesti, sillä kun pohjalle päätyy koko ajan enemmän ja enemmän ainesta pohjaeläinten hajotettaviksi eliöiden kuollessa, ne kuluttavat myös enemmän happea sedimentaatioprosessin myötä. Merenpohjaan aiheutunut happikato vuorostaan

vapauttaa jo kerran pohjaan sitoutunutta fosforia takaisin kiertoon kiihdyttämällä cyanobakteerien kasvua entisestään. (Sorri 2013).

### 2.3 Lainsäädäntö ja suojelupolitiikka

Fosforipäästöjä vähennettäessä ja tehtäessä Itämeren suojelutyötä on otettava huomioon siihen liittyvät moninaiset kansainväliset haasteet. EU:n tasolta on annettu vesipuitedirektiivi, joka velvoittaa jäsenvaltiot yhteistyöhön kansallisella tasolla ja joka vaatii Suomeltakin kaikkien vesienhyvää ekologista tilaa (2000/60/EY).

Ongelmana on se, että kaikki maat Itämeren alueella eivät kuulu EU:hun kuten esimerkiksi Venäjä, ja jokaisella jäsenvaltiolla on hieman omat säädöksensä EU:n yleisen vesipuitedirektiivin alla vesiensuojeluun liittyen.

Suomessa vesienhoitoon liittyen on myös säädetty omat lakinsa tarkentamaan tehtäviä suojelutoimenpiteitä. On olemassa laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä, jossa säädetään: ”Vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisen yleisenä tavoitteena on suojella, parantaa ja ennallistaa vesiä ja Itämeren tila heikkenee ja että niiden tila on vähintään hyvä.” (2004/1299, 1§). Mahdollisia kunnostustöitä tai muuta vesistöjen alueella tapahtuvaa muokkausta myös valvotaan tarkasti, ja niistä on ilmoitettava kunnan ympäristövalvojalle ja ELY-keskukselle (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus) Vesilain (587/2011) 1 luvun 7§ mukaisesti.

Myös Suomen kalastuslaki määrittää, että Suomessa täytyy ”parhaaseen käytettävissä olevaan tietoon perustuen järjestää kalavarojen ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestävä käyttö ja hoito siten, että turvataan kalavarojen kestävä ja monipuolinen tuotto, kalakantojen luontainen elinkierto sekä kalavarojen ja muun vesiluonnon monimuotoisuus ja suojelu.” (10.4.2015/379)

Itämeren suojelu on sen rantavaltioiden yhteinen tehtävä, joka vaatii yhteistyötä, seurantaa, tutkimustyötä ja avoimuutta eri tahojen välillä. Se tulee olemaan pitkäaikainen työ, johon omat haasteensa luovat ilmastonmuutos ja alati vilkastuva teollistuminen ja kasvava laivaliikenne. Loppujen lopuksi on kaikkien etu, jos Itämeren ekologinen tila kyetään palauttamaan seuraavien sukupolvien aikana lähemmäksi sitä, millainen se on aikoinaan ollut.

## 3 FOSFORIN POISTO LUONNONVESISTÄ

On olemassa monia keinoja vähentää fosforipäästöjä luonnonvesiin, sillä fosforia voidaan poistaa ja vähentää sekä erilaisilla maatalouden vesiensuojelutoimenpiteillä että biologisilla ja kemiallisilla menetelmillä. Vaikka kemiallisia fosforin saostuskemikaaleja on lukuisia, niin tässä opinnäytetyössä keskityn fosforin poistoon ferrisulfaatilla, sen vaikutuksiin vesistöissä, etuihin, haittoihin ja käytössä huomioitaviin seikkoihin.

### 3.1 Menetelmän soveltuvuus

Pohdinta kemiallisen fosforipoiston soveltuvuudesta tiettyyn paikkaan kannattaa aloittaa keskustelemalla maanomistajan kanssa parhaiten sopivasta paikasta annostelijalle. Myös kyseiseen ojaan päätyvän liukoisen fosforin kuormitus kannattaa selvittää. Jotta fosforin poistosta saadaan mahdollisimman kustannustehokasta, ei sitä kannata toteuttaa ojissa, joiden fosforipitoisuus on pieni. Jos liukoisen fosforin kuormitusta ei ole vielä analysoitu, voidaan siitä tehdä mahdollisimman tarkka arvio peltojen fosforitason, maatalouden ja asutuksen määrän perusteella. Annostelupaikkaa miettiessä kannattaa huomioida myös riittävä viettävyys, jotta sinne saadaan rakennettua pinnankorkeutta säätävä v-aukkopato (tarkempi kuvaus v-aukkopadosta sivulla 24), josta vesi pääsee vapaasti purkautumaan ja jonka alakulman mahdollinen pieni nosto ojan pohjan yläpuolelle ei aiheuta ongelmia yläjuoksulle. (Uusitalo & Närvänen 2014.)

Myös valuma-alueen koko ja virtaama otetaan huomioon, sillä se vaikuttaa oleellisesti siihen minkä tyyppinen annostelija vaaditaan. Annostelija kannattaa rakentaa ja mitoittaa aina huolellisesti kunkin valuma-alueen asettamien vaatimusten mukaan. Myös alueen maalajilla on väliä, sillä käytettävää kemikaalia ei saa päästä pohjaveteen, jonka vuoksi maalaji pitäisi tutkia niin annostelupisteessä kuin alajuoksulla. (Uusitalo & Närvänen 2014.)

Kun näistä kaikista asioista on otettu selvää ja vuotuisesta käsiteltävästä vesimäärästä ja kemikaalin käyttömäärästä on tehty arvio, voidaan lähestyä paikallista ympäristöviranomaista ja pyytää heidän arvionsa projektista ja tarvittaessa hankkia luvat esimerkiksi purkuvesistön osakaskunnilta. (Uusitalo & Närvänen 2014.)

### 3.2 Edut ja haitat

Ferrisulfaattisaostuksen etuina ovat ehdottomasti sen helppous ja teho. Ferrisulfaatti tutkitusti saostaa tehokkaasti liukoista fosforia tarpeeksi annostoteltuna. Ferrisulfaattia onkin käytetty saostamaan jäteveden fosforia jo 1970-luvulta lähtien sekä Suomessa että Ruotsissa, eikä menetelmällä ole havaittu kielteisiä ympäristövaikutuksia jäteveden puhdistuksen yhteydessä, koska syntyvä liete kyetään keräämään ja jatkokäsittelymään niin, että se ei päädy takaisin vesistöön. (John Nurmisen säätiö.)

Haittapuolena menetelmässä ovat luonnossa tehtävien kokeiden yhteydessä mahdolliset eliöstölle aiheutuvat rasitteet. Jos vettä joudutaan saostamaan hieman suuremmilla annostelumäärillä tai tapahtuu kemikaalin yliannostusta, laskee veden pH sitä enemmän, mitä enemmän ainetta annostellaan. Se taas saattaa aiheuttaa kuolemia pohjaeliöissä tai paikallisissa kalalajeissa, jos ne ovat erityisen herkkiä pH:n vaihteluille. Särki- ja lohikalat eivät kestä nopeaa pH:n vaihtelua, kun taas ahvenet ja hauet sietävät sitä jossain määrin. Kuitenkin pH:n laskiessa alle 5:n ovat kalakuolemat kidusvaurioiden takia todennäköisiä. Myös EU:n kalavesidirektiiviä tarkastellessa sinne on erikseen säädetty, että lohi- ja särkivesiksi määriteltävissä vesistöissä pH:n pitää olla 6–9. Tällä vältetään kalastolle koitua haitta (78/659/ETY).

Jos oja, johon kemikaalia annostellaan, ehtii sekoittumaan toiseen ojaveteen ennen kuin se ohjautuu vesistöön, on annostelun nostaminen turvallisempaa. Suurien virtaamien ojissa tai suoraan vesistöön päätyvissä ojissa pitää olla tarkempi, ja kaikkien kokeiden yhteydessä on suositeltavaa suorittaa pH:n kenttämittauksia kokeiden aikana. Kemikaalin aiheuttamien riskien määrää voidaan myös pienentää oikealla kemikaalisäiliön mitoituksella. (Uusitalo & Närvänen 2014.)

Kemikaalin annostelu vesistöön luonnollisesti nostaa sen rauta- ja sulfaattiarvoja. Jos annostelun suhde on 1: 50 000 (kg kemikaalia 50 kuutioon vettä), sillä kyetään saostamaan useimmissa tapauksissa suurin osa vesissä olevasta liukoisesta fosforista. Menetelmän käytöstä vesistöihin päätyvän ylimääräisen sulfaatin määrän pitäisi myös olla niin pieni, ettei sen pitäisi vaikuttaa oleellisesti vesistön sulfaattitasapainoon tai aiheuttaa ongelmia. Uusitalon tutkimuksessa (Uusitalo ym. 2013) todettiin, että tällainen annostelu lisäsi sulfaatin määrää käsitellyssä vedessä vain 14 mg litrassa. Ongelmia syntyisi vasta, kun kokonaista järveä alettaisiin käsitellä kyseisillä annosteluilla (Uusitalo ym. 2013), ja jos käsiteltävän vesistön alueella on myös muita



sulfaattiarvoja nostavia tekijöitä. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi kaivostoiminta, joka vapauttaa vesistöön luonnollista suurempia määriä sulfaattia, tai jos valuma-alueella on soita tai turvetuotantoa. Tällöin kohonneet sulfaattipitoisuudet saattaisivat luoda kyseiseen vesistöön uusia ongelmia. Sulfaattipitoisen veden ominaispaino on suurempi kuin puhtaan veden ominaispaino, joten painavampi vesi painuu vesistön syvänteisiin. Tämä saattaisi järkyttää kyseisen vesistön ekologista tilaa niin, että syvänteen täyskierto voisi heikentyä tai estyä kokonaan, kun sulfaattipitoisuus olisi noussut liikaa ja syvänteen veden ominaispaino olisi tullut liian suureksi. Tämä tarkoittaisi sitä, että normaalisti vesistön vuoden aikaisten kiertojen aikana syvänteisiin normaalisti pääsevä happi ei enää päätyisi syvänteisiin ollenkaan. Sulfaatilla on myös se vaikutus, että se alentaa muiden suolojen tavoin hapen ja kaasujen liukenemistä veteen. Eliöstössä saattaisi myös tapahtua rakenteellisia muutoksia runsaasti happea vaativien lajien vähentyessä ja suoloja sietävien lajien lisääntyessä. Eniten kärsisivät kalat ja eliöt, jotka ovat joko pohjakutuisia tai joiden kehitys tapahtuu lähellä pohjaa, ja jotka tarvitsevat happea. Hapettomilla pohjan alueilla joissa on runsaasti sulfaattia, viihtyy myös bakteereja jotka kykenevät pelkistämään sulfaattia ja tekemään niistä rikkivetyä. (Heinonen-Tanski 2015.) Tämä on kuitenkin hyvin teoreettinen ongelma, ja sen ei pitäisi tämänhetkisen tiedon mukaan olla ongelma pienempien vesimäärien käsittelyssä, vaan vasta suuremmassa mittakaavassa tapahtuvassa käsittelyssä.

### 3.3 Käytettävä kemikaali

Nuutajärven ja Nautelan kohteissa käytettävä kemikaali on Kemiran tuottamaa vesiliukoista rautasuolaa nimeltä Ferix-3 (kts. Liite 1) ja Paattistenjoella käytetään sen nestemäistä muunnosta, Kemira PIX-105:tä. Ferix 3:n kaava on  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  ja sen toimivuus perustuu siinä olevaan kolmen arvoiseen rautaan, ja sen reaktioihin fosfaatin kanssa. Se on saanut kemikaaliluokitukseen haitallinen, ja liuutessaan veteen se on syövyttävää ja muodostaa erittäin happaman liuoksen, jonka takia yliannosteltuna se saattaa tiputtaa veden pH:n vaarallisen alas. Sen käyttö edellyttääkin suojarusteiden käyttöä.

Vesi reagoi ferrisulfaatin kanssa seuraavan kaavan mukaisesti:  $\text{Fe}^2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 6\text{H}^+ + 3\text{SO}_4$  (Kaseva 2013).

Ferix-3:n hinta vaihtelee ostomäärästä ja kuljetuskustannuksista riippuen 400–600 euroa tonnilta (valmistaja Kemira Oyj, myynti Kemira Oyj tai Algol Oy). Nuutajärven projektin yhteydessä oli laskettu, että keskimäärin kemikaalikustannuksiltaan rautaan sidottuna fosforikilon poisto maksoi noin 110–180 euroa, mutta kustannustehokkaimpia olivat sellaisissa ojissa tehdyt fosforinpoistot joissa valuma-alue oli pieni ja liukoisen fosforin pitoisuus suuri. (Uusitalo & Närvänen 2014.) Nautelan projektissa oli laskettu, että keskimäärin yhden fosforikilon saostaminen tuli maksamaan vuoden 2011 osalta 337 euroa ja vuonna 2012 112 euroa (Kaseva 2013). Paattistenjoen osalta on kemikaalikustannusten arvioiminen vielä mahdotonta, koska tämän opinnäytetyön kirjoitushetkeen mennessä ei ole vielä saatu toteutettua yhtään koeajoa, joten vertailtavia lukuja kemikaalin saostustehosta ja kuluneista kemikaalimääristä ei vielä ole dokumentoitu.

Näissä kustannuksissa on huomioitu vain kemikaalikustannukset. Laitteistokustannuksista, rahdista ja työtunneista koituvat kulut ovat projektikohtaisia ja tulevat aina siten kemikaalikustannusten lisäksi.

## 4 KÄYTÄNNÖN KOKEET JA VERTAILUA

### 4.1 Fosforin saostaminen virtavedestä – Pilottihanke Paattistenjoella

Paattistenjoki on yksi isoimmista Aurajoen sivujoista, joka saa alkunsa Vahdon Sepänmäestä. Paattistenjoen uoman pituus on Maarian altaalta yläjuoksulle päin noin 30,9 km. Maaperältään se on pääosin kalliosaarekkeita ja savea, joka aiheuttaa savisameutta veteen. (ILKKA-hanke 2013.) Valuma-alue on pinta-alaltaan noin 86 ha josta n. 40 % on peltoa. Paattistenjoen varrella on myös erityisen paljon kasvihuoneviljelyä maatalouden lisäksi, jotka yhdessä tuottavat hajakuormituksena ravinne- ja kiintoainekuormitusta sen veteen. Tästä johtuen siellä esiintyy paikoitellen happikatoa, ylirehevyyttä ja Maarian altaassa on vuosittain havaittu leväkukintoja. (Aurajokisäätiö 2002.) Kuvassa 3. on ELY:n leväseurannan tuloksia Paattistenjoelta vuosilta 1999–2015. Kuvasta voi huomata, että alueelle ovat tyypillisiä kesäiset leväkukinnot aina kesäkuun alusta syyskuun loppuun asti. Tehtyjen näytteenottojen mukaan niitä on usein ollut havaittavissa runsaasti (abundant) tai erittäin runsaasti (very abundant), ja keskiarvallisesti ainakin jonkin verran. Vuosina 2006–2012 kokonaisfosforipitoisuuden vuosikeskiarvo oli Paattisten joessa 465 µg/l ja Maarian altaassa 213 µg/l. Kokonaistyyppipitoisuuden vuosikeskiarvo taas oli Paattisten joessa 2933 µg/l ja Maarian altaassa 1690 µg/l. (ILKKA-hanke 2013.)

Algal blooms



Kuva 3. Leväseurannan tulokset vuosilta 1999–2015 Paattistenjoen valuma-alueelta (Järviwiki 2016).

Paattistenjoella toteuttava hanke on alkanut joulukuussa 2014 ja jatkuu ainakin vuoteen 2017. Sinne on sijoitettu Kemiran 1500 litran virtaama- ja pH-ohjattu saostuskemikaalin annostelija pumppujärjestelmään (kuvat 4 ja 5). Laitteisto vaatii sähköä toimiakseen toisin kuin ojaovesissä tehtyjen kokeiden laitteistot. Kokeella on tarkoitus tutkia menetelmän soveltuvuutta isompiin virtaaviin luonnonvesiin ja tavoitteena kokeelle onkin kyetä kehittämään menetelmä, joka auttaa hillitsemään liukoisien fosforin määriä isommissa vesistöissä. Koesuunnitelmana oli alun perin annostella ferrisulfaattia kahdeksana eri koekertana eri virtaamilla ja eri kemikaalimäärillä optimaalisen annostuksen selvittämiseksi. Koeajojen yhteydessä olisi vedestä otettu näytteitä ja seurattu niin pH:n vaihteluita kuin syntyvän sakan laskeutumista ja vaikutusta alapuoliseen Maarian altaaseen, jonne sakka laskeutuisi jatkaessaan matkaa. Kyseiseltä paikalta on otettu myös pohjaeläinnäytteitä, jotta kokeen vaikutuksia pohjaeläimiin voitaisiin myös tarkastella.



Kuva 4. Kuva kemikaalisäiliöstä (Kuva: Sonja Risti)

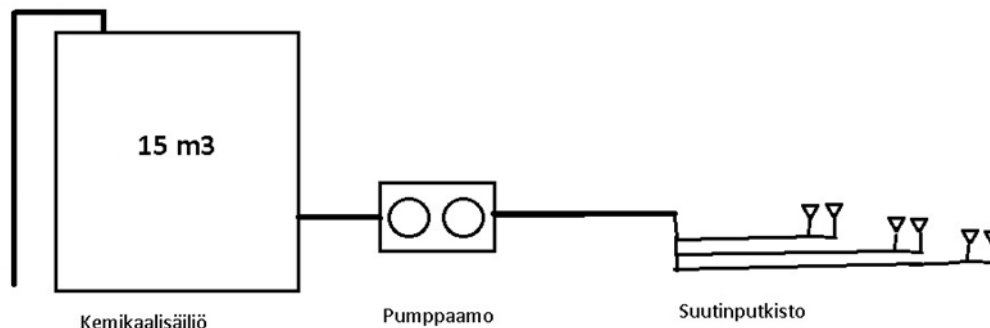


Kuva 5. Kuva pumppujärjestelmästä (Kuva: Sonja Risti)

Annostelujärjestelmä (kts kuva 6.) koostuu kemikaalisäiliöstä, annostelupumpuista, annosteluputkistosta ja annostelun ohjauksesta. Säiliö on asennettu sille tehdylle sora-alustalle melko lähelle virtaa. Sille kulkee lyhyt tie, joka helpottaa kemikaalin purkua suoraan säiliöautosta. Kemikaalipumpuissa on myös virtaamalaskurit ja digitaalinäytöt, joista nähdään sekä hetkellinen kemikaalin virtaus että pumpatun kemikaalin määrä. Muovisen suoja-putken sisään laitettua kemikaaliletkua pitkin kemikaalia pumpataan annosteluputkistoon. Annosteluputkiston avulla onnistuu kemikaalin mahdollisimman tasainen kemikaalin annostelu veteen. Kemikaaliannostelun ohjaus toteutetaan automaatiologiikalla, joka säättää kemikaalipumppujen annostusta automaattisesti isommalle tai pienemmälle suhteessa sen hetkiseen veden virtaukseen. Järjestelmään syötetään haluttu kemikaalin annostelumäärä grammaa kemikaalia / kuutiota vettä. (Hankesuunnitelma 2014.)

Annosteluita on tarkoitus kokeilla sekä erilaisilla virtaamilla että erilaisilla annostuksilla. Neljä kahdeksan tunnin ajoa suoritettaisiin virtaamien ollessa 1–2,99 m<sup>3</sup>/s ja annosteltavat kemikaalin määrät olisivat 30, 60, 90 ja 120 mg/l. Toiset neljä ajoa suoritettaisiin myös vastaavilla kemikaalimäärillä virtaamanopeuden ollessa 3,0–5,9 m<sup>3</sup>/s. Koeajojen aikana käytössä on jatkuvasti kaksi YSI-moniparometriä, joilla seurataan veden laatua ennen ja jälkeen kemikaalin annostelun. Myös jokiveden virtaamaa mitataan jatkuvasti, koska sillä tiedolla ohjataan kemikaalin syöttöä. Kahden tunnin välein otetaan näytteitä etukäteen määritetyiltä pisteiltä ja vertailualueelta. Mikäli pH annostelun aikana Maarian altaan yläpäässä laskee alle 5,5:n, pienennetään

annostusta ja mikäli pH laskee alle 5,0:n, katkaistaan kemikaalin annostelu välittömästi. (Hankesuunnitelma 2014.)



Kuva 6. Kaavakuva Paattistenjoen annostelijasta

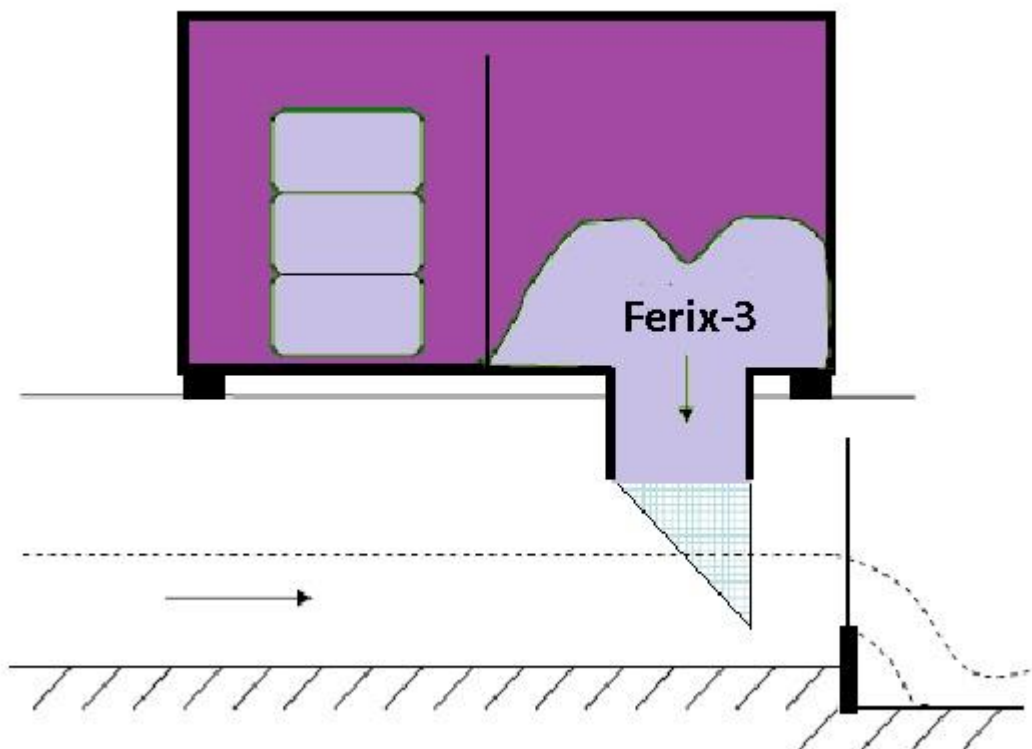
Kokeessa veteen annostellaan kemikaalia tasaisesti ja vain riittävillä virtaamilla. Uomassa on myös pH -anturit, jotka kytkevät annostelijan pois päältä jos pH tippuu liikaa. Näillä toimilla on ennakoitu mahdollisia ongelmatilanteita, joita joidenkin muiden koepaikkojen yhteydessä on huomattu.

Kokeen tiimoilta on ollut ongelmia niin laitteiston kuin sääolosuhteidenkin osalta. Kevättalvella 2015 kun ensimmäisiä kokeita oltiin suorittamassa, vaurioittivat liikkeelle lähteneet kevätjääät laitteistoa. Kun se saatiin kuntoon, seurasi sitä äärimmäisen kuiva kesä ja syksy, jolloin virtaamalukemat eivät riittäneet koeajojen suorittamiseen. Tämän takia projekti sai lisäaikaa vuoden 2016 lopusta kesäkuuhun 2017, jotta ajoja ehdittäisiin suorittamaan viimeistään vuoden 2017 kevätvaluntojen aikana (Kaseva Antti, suullinen tiedonanto 25.10.2016).

Turun ammattikorkeakoulussa oli myös vuonna 2016 meneillään kurssi, joka käsitteli Paattistenjokea, ja kurssin aikana kolme ryhmää teki laboratorio-oloissa saostuskokeita Paattistenjoen vedellä. Ryhmien saamat tulokset olivat kuitenkin varsin ristiriitaisia ja käytetyt saostusmenetelmät myös erosivat siinä määrin toisistaan, että päätin jättää ryhmien saamat tulokset tämän opinnäytetyön ulkopuolelle niiden sisältäessä liikaa epävarmuustekijöitä.

#### 4.2 Ferix-3-saostuskokeet Nuutajärven valuma-alueella

Kokeet toteutettiin Nuutajärven alueella Urjalassa vuosien 2012 ja 2013 kevätvaluntojen aikana, jolloin liukoisen fosforin pitoisuus ojavesissä oli suurimmillaan ja jolloin suurin osa vuotuisesta fosforikuormasta päätyy vesistöön. Kemikaalia annosteltiin käyttämällä MTT:ssä (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus) kehitettyä ilman sähköä toimivaa annostelijaa, joka voidaan sijoittaa melkein mihin tahansa, kunhan sen huolto ja seuranta onnistuvat maaston osalta. (Uusitalo & Närvänen 2014.)



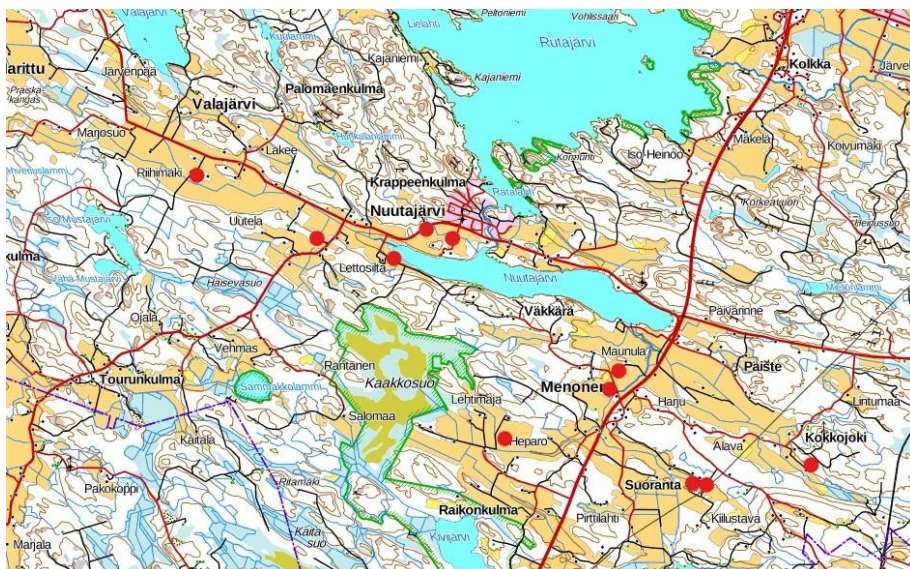
Kuva 7. Kaaviokuva Nuutajärven ja Nautelan valuma-alueilla käytetystä annostelijasta. (Uusitalo & Närvänen 2014.)

Ferix-3:n annostelija (Kuva 7.) koostuu kemikaalisäiliöstä, annosteluyksiköstä (=kauluksella varustettu 200 mm putki + verkko- ja ruostumaton kiinnityspanta) ja v-aukkopato. Kemikaalisäiliöstä kemikaali valuu painovoiman avulla putken kautta verkko- ja ruostumaton kiinnityspantaan, jonka kautta ferrisulfaatti liukenee virtaavaan veteen. (Uusitalo & Närvänen 2014.)

V-aukkopato mahdollistaa pinnankorkeuden säätelyn, ja sen avulla voi muuttaa kemikaalin annostelusuhdetta ja padosta voi myös mitata virtaaman. Verkkosuppilo on sijoitettu v-padon kärjen tason yläpuolelle. Kun virtaama kasvaa, vastaavasti veden pinnankorkeus nousee ja kemikaalia liukenee enemmän, kun veden kanssa kosketuksissa olevan ferrisulfaatin määrä kasvaa. Tämä toimii myös päinvastoin, eli kun ojan virtaama on olematon, verkkosuppilosta ei liukene kemikaalia veteen. (Uusitalo & Närvänen 2014.)

Nautelan kokeiden yhteydessä oli myös huomioitu, että verkkosuppilon reikäkoko on riippuvainen käytettävästä kemikaalista, jotta ferrisulfaattirakeita ei pääsisi tippumaan veteen ilman virtaavan veden vaikutusta. Noin 2-3 mm reikäkoko oli havaittu kokeisiin soveltuvaksi. Liian pieni reikäkoko saattaisi puolestaan aiheuttaa suppilon tukkeutumisen. (Kaseva 2013.)

Kokeita päätettiin tehdä juuri Nuutajärven valuma-alueella, koska sen liukoisen fosforin kuormitus vesihehtaaria kohden on noin kymmenkertainen alapuoliseen vesistöön verrattuna, ja siellä on ollut paljon sinileväkukintoja. Annostelijoita asennettiin 10 kpl erikokoisiin ojiin, joilla oli erilaiset kuormitukset ympäri valuma-alueita. Vuoden 2012 jälkeen joidenkin annostelijoiden sijoituspaikkaa muutettiin, jotta niiden seuranta ja täyttö helpottuisi. Tämän lisäksi rakennettiin yksi annostelija lisää (sijainnit kuvassa 8). (Uusitalo & Närvänen 2014.)



Kuva 8. Nuutajärven annostelijoiden sijoituspaikat vuonna 2013. Maanmittauslaitoksen peruskartta (12/2016).



Jotta erikokoisiin ojiin saadaan eri määrät kemikaalia virtaamien aikana, voidaan kemikaalin annostelusuhdetta säätää ojaan rakennetun v-padon (kuva 9. kuva v-padosta käytännössä) avautumiskulman mukaan. Kun v-padon kulma on 120 astetta, kemikaalia liukenee veteen suhteessa 1: 50 000. Jos veteen halutaan saada liukenemaan enemmän kemikaalia, se onnistuu v-kulmaa pienentämällä. Annostelupaikkoihin 2, 6 ja 9 ei ollut mahdollista rakentaa v-patoa ja kohteeseen 8 se tehtiin vasta 2012 valuntojen jälkeen. Muissa kokeen ojissa padon avautumiskulma oli 120 astetta, mutta niissä pienemmissä ojissa, joissa fosforipitoisuudet nousivat muita korkeammiksi valuntojen aikana, käytettiin 60–90 asteen avautumiskulmaa v-padossa. (Uusitalo & Närvänen 2014.)

Näytteenotto keväällä 2012 otettiin kertänäytteinä ja ojan virtaama mitattiin näytteenoton ja seurantakäyntien yhteydessä tarkastamalla mittapadon virtaaman mittaviivaimen lukema.

Kemikaalin annostelusta pidettiin kirjaa kirjaamalla annostelijaan lisätty ja kulunut kemikaalimäärä. Kirjaa pidettiin myös pH:n arvoista, vertailemalla tulevan ja lähtevän veden pH:ta suoraan kentällä pH -kenttämittarilla, jolloin nähdään heti kokeen aikana jos veden pH laskee liikaa ja annostelua pitää vähentää. Närvänen ja Uusitalo kertovat tulosten tarkastelussaan, että saostettua fosforimäärää määriteltiin ottamalla näytteitä ennen ja jälkeen annostelijaa, sen jälkeen määrittämällä keskimääräisen liukoisen fosforin pitoisuuksien muutokset, ja ojassa käsittelyn aikana virranneen vesimassa määrä. Tämän jälkeen voitiin laskea teoriassa tarvittava ferrisulfaattimäärä aiempien kokeiden tuloksiin perustuvan kaavan mukaan:

$$19,113 \times a - 0,5659 \times b \times c,$$

Kaava 1. (Uusitalo & Närvänen 2014).

jossa a on ojaveden liukoisen fosforin pitoisuus (mg/l), b on 100/kemikaalin rauta % (Ferix-3:lla 100/20 = 5) ja c on ojan liukoisen fosforin kuormitus (kg).

Uusitalo ja Närvänen arvioivat, että 2012 kevätvalunnan aikana noin 19 kg liuennutta fosforia kulki ojissa, ja siitä saatiin poistettua noin 42 % eli 9 kg. Koska ojiin annosteltiin yhteensä 4850 kg ferrisulfaattia, sitoi yksi kilogramma ferrisulfaattia noin 2 g liukoista fosforia.

Vuonna 2013 käsitelty vesimäärä oli noin kolmanneksen suurempi ja keskimääräinen liukoisen fosforin pitoisuus ojavesissä hieman korkeampi. Vuonna 2013 26,5:sta kilosta

liuennutta fosforia saatiin sidottua rautaan 20 kg, joten saostusteho oli noin 77 % ja kilo ferrisulfaattia sitoi noin 3 grammaa fosforia.

Alun perin annostelua suunniteltaessa tavoitteena oli ollut annostelu, joka ei vaikuttaisi pH-lukeman muutokseen kuin 0,5 yksikköä. Veden patoutuminen lumen ja jään vaikutuksesta kuitenkin aiheutti joillakin annostelupaikoilla sen, että kemikaalia liukeni veteen tavoiteltua enemmän ja se taas vaikutti voimakkaampaan pH:n laskuun kuin oli haluttu. Pienemmissä ojissa pH:n vaihtelut olivat 7,0 ja 5,4:n välillä, kun taas isommissa ojissa, joissa käsitelty vesimäärä ylitti 2000 kuutiota, pH:n muutos oli 6,6:sta 5,6:een. (Uusitalo & Närvänen 2014.)

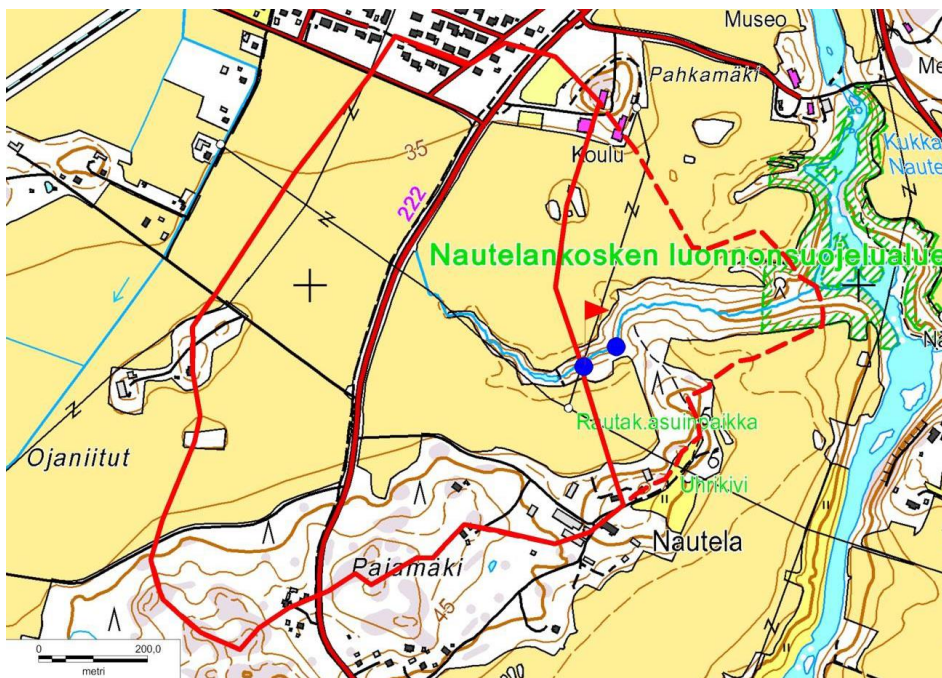
Nuutajärvellä annostelukokeiden yhteydessä ongelmaksi huomattiin muun muassa kostealla ilmalla rakeiden paakkuuntuminen annosteluputkeen (Uusitalo & Närvänen 2014). Tätä tapahtui varsinkin jos annostelijaan annosteltiin liikaa kemikaalia aikoina, jolloin ojassa ei ollut virtausta. Pehmeän paakun saa vielä rikki muoviputkesta esimerkiksi rassaamalla tai kuten Nautelan projektissa, annostelusukkaan asetetun narun avulla. Mutta jo kovettunut paakku oli Uusitalon ja Närväsen mukaan hieman työlämpi poistaa annosteluputkesta, sillä kaikki kemikaali oli poistettava astiasta, jotta putkeen päästiin käsiksi ja se saatiin nostettua puhdistettavaksi. He myös huomioivat, että kemikaalirakeita ei kannata jättää annosteluastiaan sen käyttökauden ulkopuolella turhan paakkuuntumisen välttämiseksi. Kun annostelija otetaan esimerkiksi kevätvalunnan aikana taas käyttöön, kannattaa kemikaalia lisätä säiliöön vasta, kun lumi ja jää eivät pataa enää annostelijan kohdalla, ja vesi virtaa jo v-padon kohdalta. (Uusitalo & Närvänen 2014.)

#### 4.3 Nautelan saostuskokeet

Turun ammattikorkeakoulun ylläpitämä Nautelan projekti toteutettiin vuosina 2010–2012 ja se oli osana Active Wetlands-hanketta yhtenä 15:sta pilottikohteesta. Kaikissa kohteissa käytettiin Ferix-3 annostelijaa ja niissä tutkittiin vesinäytteitä ottamalla ja manuaalisia virtaamamittauksia tekemällä sen puhdistamiskykyä. (Kaseva 2013.)

Nautelan kohteeseen oli asennettu jatkuvatoimisia vedenlaatu- ja pinnankorkeusantureita, jotta vedenlaatu- ja virtaamamuutokset havaittaisiin paremmin. (Kaseva 2013.)

Kohde sijoittui Liedon kunnassa olevaan ojaan, joka laskee Aurajokeen noin 400 metriä Nautelasta alavirtaan (karttakuva kuvassa 9). Pelto-ojan pääuoma on noin kilometrin mittainen ja sen valuma-alue noin 77 ha, joista noin 60,5 ha on annostelijan yläpuolella. Suurin osa tästä alueesta on peltoa ja savimaata. Annostelija sijoitettiin kahden aikaisemmin rakennetun altaan väliselle ojajaksolle, jossa oli v-padon rakentamiseen soveltuva kohta ja riittävästi pudotuskorkeutta. Vesinäytteitä otettiin kahdesta kohtaa. Ensimmäinen näytteenottopiste sijaitsi 5 metriä ylävirtaan annostelijalta ja toinen oli annostelijan (kuvassa 10) jälkeisen laskeutusaltaan alapuolella. (Kaseva 2013.) Annostelijassa käytettiin samaa MTT:n annostelijasuunnitelmaa kuin Nuutajärven annostelijoissa.



Kuva 9. Kohdeojan tutkimusalueen koko valuma-alue (- - -) sekä alue, jolta annostelijalle (↓) tulevat valumavedet kertyvät (—). (Kaseva 2013.) Maanmittauslaitoksen peruskartta (6/2013).



Kuva 10. Nautelassa käytetty ferrisulfaattiannostelija. Takana kemikaalisäiliö, jonka alla näkyy kemikaalin annostelupää. Etualalla on virtaaman mittauksessa hyödynnetty v-pato (Kaseva 2013).

Nautelan kokeiden yhteydessä mainittiin sama ongelma mikä ilmeni Nuutajärven kokeiden yhteydessä, eli kemikaalin paakkuuntuminen. Vaikka säiliön ei tarvitse olla täysin ilmatiivis, pitää sen silti olla sellainen että liiallinen kosteus tai sadevesi ei pääse kosketuksiin kemikaalin kanssa ja saa sitä paakkuuntumaan. Tämän takia annostelusukkaan asennettiin puhdistusnaru, jolla mahdollistettiin kemikaalipaakkujen hajotus narua liikuttelemalla. (Kaseva 2013.)

Kemikaalinkulutusta tarkkailtiin säiliön sisäreunoihin piirretyn asteikon avulla, josta kemikaalin määrä kirjattiin ylös huoltokäyntien yhteydessä. Annostelijan paikka oli myös siitä hyvin valittu, että v-pato mahdollisti tällä tavoin tehokkaan kemikaalin sekoittumisen virtaavan veteen. Kun veden pudotuskorkeus padon yhteydessä ja sitä seuraavassa ojassa oli saatu optimaaliseksi, se aiheutti veteen turbulentsuutta, joka edesauttoi kemikaalin ja veden sekoittumista, ja näin lisäsi tapahtuvien reaktioiden määrää ja kemikaalin tehoa. (Kaseva 2013.)

Näytteenottoa tehtiin Nautelankoskella 2-5 kertaa kuukaudessa sääolosuhteista riippuen, pyrkien painottamaan ne sateiden jälkeen. Ojan kuormituksen luontaisten

vaihteluiden takia vesinäytteitä pyrittiin keräämään ympäri vuoden eri aikoina ja eri virtaamilla. Näytteenottojen yhteydessä kerättiin pinnankorkeustiedot paineanturilta ja tarkistettiin pinnankorkeus mittakepistä. Vedenlaadun seuranta tehtiin syksystä 2010 marraskuuhun 2012. (Kaseva 2013.)

Menetelmän saostustehot vaihtelivat hieman eri saostuskertojen välillä, mutta olivat keskimääräisesti hyviä, joskin parhaiten saostus toimi suurilla virtaamilla. Vuonna 2011 liukoisen fosforin virtaamapainotteinen saostustehokkuus oli noin 70 % (5,5 kg) ja vuonna 2012 85 % (18,6 kg). (Kaseva 2013.)

Näissäkin kokeissa päästiin tulokseen siitä, että menetelmä soveltuu erityisen hyvin pieniin ojiin, joissa on korkeat fosforipitoisuudet. Menetelmä näyttäisi olevan vartenotettava tapa parantaa maatalouden valumavesien käsittelyä osana muita toimenpiteitä.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 5.1 Ongelmat

Kaikissa projekteissa oli omat vaikeutensa. Niitä loivat niin laitteiston asettamat haasteet kuin ympäristön ja sääolosuhteiden kanssa ilmenneet tilanteet. Nuutajärven projektin kanssa ongelmaa aiheuttivat muun muassa annostelijoiden asennus ja täyttö. Tämän takia osan annostelijoista paikkaa jouduttiin kesken koejakson vaihtamaan, jotta niiden luokse pääsisi helpommin ja niiden täyttö olisi käytännöllisempää. Kemikaalin kulutus oli joinain päivin niin suurta, että sen kuljetus vaikeakulkuisille annostelijoille oli liian työlästä. Sama oltiin huomattu myös Nautelan annostelijan yhteydessä, että kemikaalin kuljetus on työlästä, jollei sitä päästä kuljettamaan esimerkiksi traktorilla paikalle. Muutamien annostelijoiden kannet eivät olleet tarpeeksi ilmatiiviitä, jolloin vettä pääsi astioihin ja kemikaali pääsi paakkuuntumaan. Kauan suppiloissa ollut kemikaali pääsi myös paakkuuntumaan annostelijoihin, jolloin uutta kemikaalia ei liennut veteen.

Ongelmia aiheuttivat myös sääolosuhteet, kuten liiallinen kosteus, joka aiheutti paakkuuntumista, ja lumi, joka saattoi aiheuttaa joissain ojissa veden pinnan nousua keväällä sulamisvaiheen alussa, minkä vuoksi kemikaalia saattoi liueta liikaa veteen.

Kemikaalikulutuksen arvioiminen on myös ajoittain hankalaa, jos virtaukset loppuvat nopeasti tai jos liukoisen fosforin pitoisuus ojavesissä on todella suurta ja annostelu on säädetty korkeiden pitoisuuksien mukaan. Joten kun vedessä on matalammat pitoisuudet, saattaa kemikaalia joutua veteen suhteessa liikaa.

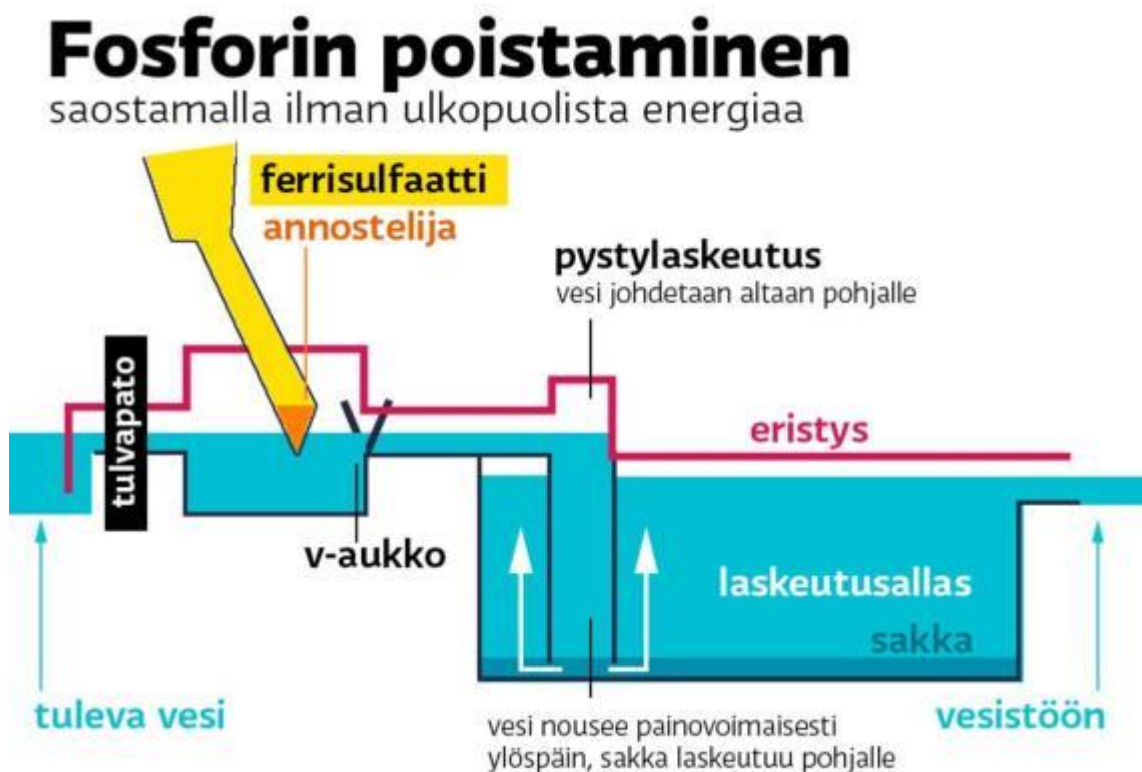
Kuten Nuutajärvellä, myös Nautelassa kemikaalin paakkuuntuminen verkkosuppilossa aiheutti ajoittaisia ongelmia annostelijan toiminnassa. Nämä ongelmat kuitenkin tapahtuivat lähinnä pienten virtaamien aikana. Myös oikeanlaisen kemikaaliannostelun kanssa oli Nautelassa hieman vaikeuksia vuoden 2011 puolella mutta 2012 tilanne oli jo helpottunut.

Paattistenjoen projektissa yhdeksi suurimmaksi ongelmaksi osoittautuivat sääolosuhteet, joiden takia laitteistoa meni rikki ja korjauksiin meni runsaasti aikaa, joka puolestaan lykkäsi mahdollisuutta koeajojen suorittamiselle. Koeajojen

viivästyminen teki työn haasteelliseksi ja vaati painotuksen muuttamista tämän opinnäytetyön suhteen.

## 5.2 Mahdolliset lisäratkaisut

Kuten Nuutajärven projektissa huomattiin, jotkin ojat olisivat vaatineet mahdollisesti laskeutusaltaan, jonne saataisiin kerättyä liejua johon fosfori on sitoutunut. Jos tätä saostettua lietettä voitaisiin kustannustehokkaasti kerätä, voisi yksi mahdollisuus olla lietteen uudelleenhyödyntäminen esimerkiksi maataloudessa. Tällä tavalla saataisiin suurin hyöty irti saostusprojekteista, kun saataisiin fosfori uudelleen käyttöön. Yksi mahdollisuus voisi olla esimerkiksi Savoy Oy:n tarjoama menetelmä (kuva 11). Nykyisellään menetelmä on kumminkin liian kallis monelle viljelijälle, koska se ei kuulu minkään maataloustuen piiriin ja sen aloituskustannukset ovat melko suuret.



Kuva 11. Saloy Oy:n kehittämä menetelmä. Vettä hieman painavampi fosfori vajoaa saostusaltaan pohjalle, mistä se voidaan kerätä talteen ja kierrättää takaisin lannoitteeksi (YLE 2014).

Joillakin valuma-alueilla voisi yksi mahdollinen ratkaisu olla fosforin inaktivointi sedimentistä, jos valuma-alueelta tuleva liukoisen fosforin määrä on kohtuullisen pieni, mutta vesistön sisäinen kuormitus on suurta ja siinä on paljon sedimenttiin sitoutunutta fosforia. Tällaisilla alueilla fosforin saostus virtaavasta vedestä voi olla hankalaa eikä kovin kustannustehokasta. Joissakin tutkimuksissa on ilmennyt että fosfori on aktiivisimmillaan ensimmäisessä 10 cm:n kerroksessa sedimentissä, ja vain siitä fosforia vapautuu aktiivisesti veteen, ja tämän kerroksen inaktivointi riittäisi (ERD 2006). Näitä kahta menetelmää voisi myös toteuttaa yhtäaikaisesti samalla valuma-alueella, jos siellä on yksittäisiä suuren kuormituksen omaavia oja. Sisäinen kuormitus kumminkin usein johtuu sitä edeltäneestä pitkäaikaisesta ulkoisesta kuormituksesta, jonka takia sedimenttiin on kerääntynyt suuret määrät ylijäämäfosforia. Sedimentissä olevan fosforin inaktivointi voitaisiin suorittaa ruoppaamalla fosforipitoista sedimenttiä tai peittämällä se jollain fosforia sitovalla kemikaalilla. Alumiinisulfaattia käytetään usein sen fosforin sitomiskyvystä johtuen erilaisissa ympäristöolosuhteissa. Kemikaali, joka laskeutuu sedimentin pinnalle ja sekoittuu parin senttimetrin syvyydeltä sedimenttiin, reagoi vapaan fosforin kanssa ja estää sitä vapautumasta veteen. Joillakin alueilla se voisi olla tehokkaampi tapa poistaa fosforia vesistön kierrosta, jos suurempi uhka vesistön ekosysteemille on sen sisäinen kierto kuin ulkopuolelta tuleva kuormitus. Sisäinen kuormitus on suhteessa suurinta järvissä jossa on laaja litoraalialue ja kosteikkoja tai järviä, jotka ovat matalia ja joiden pohjat ovat hapettomia. (Cooke ym. 1993).

### 5.3 Pohdintoja

Vaikkakin ferrisulfaatisaostus ei sovi kaikkiin paikkoihin ja saattaa luoda omia ongelmiaan, se on silti fosforinsaostuskeino jota kannattaisi tutkia ja testata vielä lisää. Sillä selvästi kyetään poistamaan fosforia ojavesistä melko tehokkaasti ja näin vähentämään maatalouden vaikutuksia vesien rehevöittäjänä. Ferrisulfaatti ei välttämättä ole paras ratkaisu jos jonkin vesistön ulkoinen kuormitus on pientä ja sisäinen kierto suurta, vaan enemminkin sen käyttökohteet pitää valita tarkkaan paikoista, joissa ulkoisen kuormituksen rasite on suuri. Nykyisellään käytetyillä laitteistoilla on myös omat haasteensa, joten niiden kehittelyä tarvitaan vielä niiden toimivuuden ollessa hieman ailahtelevaa. Molemmat esitetyt annostelijajärjestelmät vaativat varsinkin kuormituspiikkien aikana runsaasti seurantaan ja näytteenottoon



valmiudessa olevia henkilöitä. Koska fosfori ei esiinny yhtä suuressa suhteessa luonnonvesissä kuin mitä sitä esiintyy jätevesissä, ferrisulfaatti ei saosta sitä yhtä hyvällä hyötysuhteella.

Selkeästi eniten hyötyä ferrisulfaatin käytölle fosforin saostuksessa tarjoavat paikat joissa liukoisen fosforin konsentraatio on suuri, esimerkiksi mautilojen, navettojen ja hevostarhojen läheiset alueet, tai sellaiset paikat joissa käsitellään ja käytetään runsaasti lannoitteita ja/tai eläinten jätöksiä. Valuma-alueilla, joilla kyetään paikallistamaan näiden kaltaisia selkeitä fosforipäästölähteitä, kannattaa niistä pois virtaaviin ojiin satsata sen sijaan että laajalla alueella moniin ojiin rakennettaisiin omat annostelijansa. Välttämättä oja, jossa on suurin virtaama ei ole sama mistä tulee suurimmat fosforipäästöt. Jos jostain vesistöstä, jossa on kohdennettavissa selkeitä hajapäästölähteitä, kykenee ferrisulfaatti toimimaan ratkaisuna leville käyttökelpoisen fosfaatin nopeassa vähentämisessä. Se ei yksinään kykene poistamaan tätä ongelmaa, koska annostelijoita ei pystytä asentamaan kaikkialle, ja tietyille alueille voivat jotkin toiset ratkaisut olla tehokkaampia. Mutta kuten jo aikaisemmin mainitsin, toimisi laitteisto parhaiten yhtenä tapana vähentää tietyn alueen maatalouden valumavesien aiheuttamaa rasiitetta, osana muita ratkaisuja ja ennaltaehkäisemiskeinoja. Näitä vesistöjen suojelukeinoja maataloudessa olisivat esimerkiksi suojakaistaleet ja pientareet, vähennetty lannoitus, peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys ja kevennetty muokkaus, monivuotiset nurmipellot, luonnonmukainen tuotanto ja suojavyöhykkeiden perustaminen ja hoito (Jyväskylän ympäristötoimi 2011). Yhdistelemällä näitä maatalouden suojelutoimenpiteitä valumavesien kemikaalikäsittelyyn, saataisiin todennäköisesti parhaat tulokset vesiensuojelussa, sillä siten saataisiin nopeita mutta myös kauaskantoisia tuloksia.

## LÄHTEET

Airamo, S., Holopainen, M., Koivisto, I., Suominen, T., Valste, J., Viitanen, P., Sinivuori, E. and Venäläinen, M., 2002. *Biologia Elämä*. Porvoo: WSOY

Compton, J., Mallinson, D., Glenn, C. R., Filippelli, G., Follmi, K., Shields, G., and Zanin, Y.: Variations in the global phosphorus cycle, *SEPM Special Publication No. 66*, 21–33, 2000.

Cooke, G.D., E.B. Welch, S.A. Peterson and P.R. Newroth. 2005. *Restoration and management of lakes and reservoirs*. Lewis Publishers, Boca Raton

Environmental Research & Design, Inc. 2006, *Lake June Sediment Characterization and Phosphorus Inactivation Study Phosphorus Inactivation Study*. Orange County Environmental Protection Division.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/44/EY

Euroopan parlamentin ja neuvoston vesipuitedirektiivi 2000/60/EY

Filippelli, G.M., 2008. The Global Phosphorus Cycle: Past, Present, and Future. *Elements*, 4(2), pp. 89-95.

Heinonen-Tanski, H., 2015. Sulfaatti, elohopea ja kalat. *Ympäristö ja terveys*, 1, pp. 54-60.

John Nurmisen säätiö. (n.d.). Fosforinpoisto jätevesistä. Available from <http://www.johnnurmisenfaatiao.fi/puhdas-itameri/tietoa-itameresta/fosforinpoisto-jatevesista/> [Accessed 21 Nov. 2016]

Jyväskylän kaupunki, Ympäristötoimi, 2011. *Maatalouden vesiensuojelu- tietopaketti viljelijöille*. Available from: [http://www.jyvaskyla.fi/instancedata/prime\\_product\\_julkaisu/jyvaskyla/embeds/jyvaskylawwwstructure/55926\\_Maatalouden\\_vesiensuojelu\\_s.pdf](http://www.jyvaskyla.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/jyvaskyla/embeds/jyvaskylawwwstructure/55926_Maatalouden_vesiensuojelu_s.pdf) [Accessed 24 Nov. 2016]

Järviwiki 2016, Paattistenjoen valuma-alue. Available from: [https://www.jarviwiki.fi/wiki/Paattistenjoen\\_valuma-alue\\_\(28.004\)/Valtakunnallisen\\_lev%C3%A4seurannan\\_havaintopaikka\\_\(Maarian\\_allas\)](https://www.jarviwiki.fi/wiki/Paattistenjoen_valuma-alue_(28.004)/Valtakunnallisen_lev%C3%A4seurannan_havaintopaikka_(Maarian_allas)) [Accessed 24 Nov. 2016]

Kalastuslaki 10.4.2015/379

Kalavesidirektiivi 78/659/ETY

Kaseva, A. (2013). *Maatalouden valumavesien ferrisulfaattikäsittely - Case: Active wetlands, Nautela Pilot*. Opinnäytetyö (YAMK) Ympäristötekniologia. Turun Ammattikorkeakoulu.

Kemira, (n.d). Ferrisulfaatti. Available from: <http://www.kemira.com/fi/toimialat-sovellukset/sivut/ferrisulfaatti.aspx> [Accessed 24 Nov. 2016]

Kettunen, N., 2014, *Maatalouden fosforipäästöt talteen ilman sähköä uudella menetelmällä*. Yle Uutiset, 9 Dec. Available from: <http://yle.fi/uutiset/3-7679094> [23 November 2016]

Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 2004/1299, 1§

Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry (n.d.), *Vesistö termistöä*. Available from: <http://www.vesientila.fi/easydata/customers/vesientila/files/pdf/vesistotermistoa.pdf> [Accessed 24 Nov. 2016]

Mainstone, C.P. and Parr, W., 2002. Phosphorus in rivers — ecology and management. *Science of the Total Environment*, 282, pp. 25-47.

Otavan Opisto 2015, Adenosiinitrifosfaatti. Available from: [http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/bi/bi2/05\\_solun\\_toiminta/06\\_atp?C:D=hRyA.hQ2E&m:selres=hRyA.hQ2E](http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/bi/bi2/05_solun_toiminta/06_atp?C:D=hRyA.hQ2E&m:selres=hRyA.hQ2E)[Accessed 23 Nov 2016]

Tieteenkuvalehti 2004, Veden ominaisuudet selittävät järven lämpötilaerot. Available from: <http://tiekku.fi/luonto/veden-ominaisuudet-selittavat-jarven-lampotilaerot>[Accessed 24 Nov. 2016]

Turun kaupungin ympäristötoimiala 2014, Fosforin saostaminen virtavedestä-pilottihanke Paattistenjoella. Hankesuunnitelma

Salminen, M. and Böhling, P., 2002. Kalavedet kuntoon. Helsinki: Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.

Sorri, E. (n.d) Itämeren rehevöitymisen syyt, seuraukset ja tulevaisuus. Available from <http://www.hybrislehti.net/22013-tulevaisuus-%E2%80%93-uhka-vai-mahdollisuus/it%C3%A4meren-rehev%C3%B6itymisen-syyt-seuraukset-ja-tulevaisuus> [Accessed 21 Nov. 2016].

Suomen ympäristökeskus 2016, Suolavesipulssit vaikuttavat Itämeren pääaltaalla. Available from: [http://www.syke.fi/fi-FI/SYKE\\_Info/Viestintaaineistot/Tiedotteet/Suolavesipulssit\\_vaikuttavat\\_Itameren\\_pa\(38047\)](http://www.syke.fi/fi-FI/SYKE_Info/Viestintaaineistot/Tiedotteet/Suolavesipulssit_vaikuttavat_Itameren_pa(38047)) [Accessed 21 Nov. 2016].

Uusitalo, R.; Närvänen, A. 2014. Ferix-3:n saostuskokeet Nuutajärven valuma-alueella 2012 ja 2013. MTT Raportti 155. Jokioinen. MTT.

Uusitalo, R.; Närvänen, A.; Rasa, K.; Salo, T.; Koskiaho, J.; Puustinen, M.; Brax, A.; Erkkilä, E.; Vilhunen, S.; Joki-Heiskala, P.; Kaseva, A.; Huhta, E.; Leskinen, P.; Liira, M.; Saaremäe, E.; Tamm, T.; Kasak, K. & Talpsep I. 2013. Active Wetlands – the use of chemical amendments to intercept phosphate runoffs in agricultural catchments. Final report of the Active Wetlands Inter-reg IVA project. MTT report 92. Jokioinen. MTT.

Vesilaki 587/2011

Ympäristöhallinto 2016, Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnonhuuhtouma. Available from: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Vesistojen\\_ravinnekuormitus\\_ja\\_luonnon\\_huuhtouma](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_ravinnekuormitus_ja_luonnon_huuhtouma) [Accessed 23 Nov. 2016].

## Ferix-3:n englanninkielinen tuoteseloste

**Kemira**

---

# FERIX-3

## (Granular Ferric Sulfate)

---

*Kemira's FERIX-3 is an effective primary coagulant in dry granulated form based on trivalent iron (Fe<sup>3+</sup>). FERIX-3 can be easily dissolved with suitable equipment into a 10 - 11.8% Fe solution. It functions very well for both potable and wastewater clarification over a wide range of pH and can be used for color removal, phosphate removal, heavy metal removal and lime softening applications.*

### PRODUCT SPECIFICATIONS

Appearance	grayish granule
Total Iron (Fe <sup>tot</sup> )	20.5 ± 2%
Fe (III)	19.5 ± 1%
Fe (II)	< 1.0%
Free H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	< 1.5%
Water-Insoluble Matter	< 1%
Bulk Density	70 lb / ft <sup>3</sup>

(Above analysis according to AWWA B406-92)

### Particle size distribution:

50%	< 2-3 mm
100%	< 7 mm
Dust (< 0.2 mm)	max 3%
Angle of repose	37°

### CERTIFICATION / APPROVAL

FERIX-3 meets or exceeds all **AWWA** standards and is **ANSI/NSF Standard 60** certified for use in potable water treatment up to 275 mg/l.

### DOSING and DISSOLVING

FERIX-3 can be dissolved in water and dosed via suitable chemical metering pumps.

### STORAGE

The dry granules are mildly hygroscopic and therefore should be stored in dry conditions.

### HANDLING / SAFETY

The handling of any chemical requires care. Anyone responsible for using or handling FERIX-3 should familiarize themselves with the full safety precautions outlined in our Material Safety Data Sheet.

### DELIVERY

In bulk, by rail car or hopper truck. Bags (50#) and Super Sacks (2,000#) are also available. Environmentally, Hazardous Substance, Solid, n.o.s. (Ferric Sulfate), 9, UN 3077, P.G.III

### PRODUCTION / DISTRIBUTION

FERIX-3 is produced in Finland by Kemira Kemwater. US distribution through Kemiron. Kemira has coagulant production plants in;

Brantford, ON	Ottawa, ON
Varenes, QC	East Chicago, IN
Bartow, FL	Rowley, UT
Fontana, CA	Saint Louis, MO
Houston, TX	Savannah, GA
Mojave, CA	Spokane, WA

### CUSTOMER SERVICE

If you have any questions concerning this material, please contact our Customer Service Department.

**Canadian Customer Service:**  
**(800) 465-6171**

---

Kemira Water Canada, 3405 Marie-Victorin Blvd., Varennes, QC J3X 1T8