
**MAATALOUDEN KOSTEIKKOSEDIMENTISTÄ
VAPAUTUVA HELPPOLIUKOINEN FOSFORI**

Onko sedimentin fosforista kasvinravinteeksi?



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Kestävän kehityksen koulutusohjelma
Forssa, kevät 2014

Hanna-Maria Vähä-Pietilä



FORSSA

Kestävän kehityksen koulutusohjelma

Tekijä	Hanna-Maria Vähä-Pietilä	Vuosi 2014
Työn nimi	Maatalouden kosteikkosedimentistä vapautuva helppoliukoinen fosfori – Onko sedimentin fosforista kasvinravinteeksi?	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää maatalouskosteikkojen sedimentin fosforin sitomis- ja luovutuskykyä peltomaassa inkubointikokeen avulla. Työn toimeksiantajana toimi Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus ja työ on osa meneillään olevaa LASSE-hanketta. Inkubointikokeen tarkoituksena oli selvittää, tukevatko sen tulokset LASSE-hankkeessa aiemmin suoritettujen kokeiden tuloksia.

Teoriaosuudessa käsitellään fosforin reaktioita ja olomuotoja niin maassa kuin vedessä. Lisäksi perehdytään kosteikkojen ja laskeutusaltaiden toimintaan, rooliin ravinteiden sitomisessa ja merkitykseen vesiensuojelussa.

Maatalous on yksi suurimmista vesistöjen kuormitusta aiheuttavista tekijöistä. Viljelysmaihin on jo useiden vuosikymmenien ajan lisätty runsaasti väkilannoitteita ja fosforitaseet ovat olleet suomalaisilla pelloilla selvästi ylijäämäisiä. Ravinteiden kierron hallinta ja käytön tehostaminen ovat siksi oleellinen osa vesistöjen suojelua.

Tällä hetkellä kosteikkosedimentti ohjeistetaan levitettäväksi peltomaahan suljetumman ravinnekierron saavuttamiseksi. Inkubointikokeen tuloksista kävi ilmi, että peltoon levitetty kosteikkosedimentti pidättää fosforia. Tämän havainnon perusteella voidaan todeta, että nykyisiä kosteikkosedimentin levitys- ja hyödyntämisohjeita tulee muuttaa, sillä sedimentistä on todennäköisemmin enemmän haittaa kuin hyötyä peltomaahan levitettynä.

Vaikka sedimentti ei sovellu kasvinravinteeksi, sillä voi olla potentiaalia esimerkiksi maanparannuksessa runsaasti helppoliukoista fosforia sisältävillä mailla. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi karjanruokintapaikat ja suojavyyhykkeet. Tällaisissa kohteissa sedimentti voisi auttaa vähentämään fosforin huuhtoutumista.

Avainsanat Kosteikko, sedimentti, fosfori, kasvinravinne, laskeutusallas, inkubointi

Sivut 27 s, + liitteet 4 s.

FORSSA

Degree Programme in Sustainable Development

Author

Hanna-Maria Vähä-Pietilä **Year** 2014

Subject of Bachelor's thesis

Freely soluble phosphorus from agricultural wetlands – Can sediment be used as a plant nutrient?

ABSTRACT

The aim of the bachelor's thesis was to investigate the binding and transferring abilities of phosphorus originating from agricultural constructed wetland sediment by means of incubation tests. The work was commissioned by Agrifood Research Finland and the work is part of the ongoing LASSE project. The purpose of the incubation tests is to support the results of the tests conducted earlier in the LASSE project.

The theoretical part deals with reactions and states of phosphorus on the ground and in water. There is also discussion about the wetlands and their role for binding of nutrients and their significance for water conservation.

Agriculture is one major factor causing stress to waters. Phosphate fertilizers have been added in fields during many decades and the phosphorus balance is clearly on the plus side in Finnish fields. Therefore the nutrient cycle management and more efficient usage of fertilizers are crucial parts of water conservation.

At the moment wetland sediment is guided to be spread in the field to ensure a more closed nutrient cycle. The incubation test proves that when wetland sediment is mixed in arable land it retains phosphorus. Based on this finding it can be said that the current directions for sediment utilizing should be altered, because it is very likely that the sediment causes more harm than good when mixed in arable land.

Although the wetland sediment is not suitable for plant nutrient, it can have potential as a soil improvement agent in soils that contain great amounts of easily soluble phosphorus. This sort of resorts can be for example livestock feeding areas or exclusion areas. In these kinds of resorts the sediment could help reduce the phosphorus runoff.

Keywords Wetlands, sediment, phosphorus, plant nutrient, sedimentation tank, incubation

Pages 27 p + appendices 4 p.

SISÄLLYS

TERMIT JA LYHENTEET

1	JOHDANTO.....	1
2	LASKEUTUSALLAS-KOSTEIKOSTA POISTETTAVAN SEDIMENTIN PELTOLEVITYS – LASSE.....	2
3	FOSFORIN LIIKKUMINEN JA REAKTIOT	3
3.1	Fosforin liikkuminen maassa	3
3.2	Fosfori peltomaassa.....	5
3.3	Fosforin kulkeutuminen vesistöön	7
3.4	Fosforin reaktiot kosteikossa ja vesissä	7
4	KOSTEIKKOJEN TOIMINTA JA MERKITYS VESIENSUOJELUSSA.....	10
4.1	Kosteikkojen rooli maatalouden vesiensuojelussa.....	11
4.2	Kosteikot monimuotoisuuden edistäjinä	11
5	INKUBOINTIKOE	13
5.1	Tutkimuskosteikot.....	13
5.2	Toteutus ja menetelmät	14
5.2.1	Kuiva-aine	14
5.2.2	Inkubointikokeen perustaminen	14
5.3	Näytteiden uutot	15
5.3.1	P-vesiuutto 1:60.....	15
5.3.2	NaOH-uutto	16
5.3.3	Olsen-P	17
5.4	Tulosten analysointimenetelmät.....	17
6	TULOKSET	18
7	POHDINTA.....	23
7.1	Sedimentin sijoitus ja hyödyntäminen nyt ja tulevaisuudessa	23
7.2	Opinnäytetyöprosessi	24
	LÄHTEET	25

LIITTEET

Liite 1	Kuiva-ainemääritykset
Liite 2	Vesiuutto 1:60
Liite 3	NaOH-uutto

TERMIT JA LYHENTEET

Adsorptio	Liuenneessa muodossa olevan fosforin sitoutuminen maa- hiukkasten pinnoille.
Apatiitti	Yleinen fosforipitoinen mineraali, joka koostuu pääasiassa kalsiumfosfaatista.
Desorptio	Fosforin vapautuminen veteen maasta tai maaperästä.
Fosforitase	Kertoo fosforin hyötysuhteesta. Fosforitaseen panoksiin las- ketaan lannan, lannoitteiden ja siementen sisältämä fosfori. Tase saadaan, kun panoksista vähennetään sadon mukana pellolta poistuva ravinteiden määrä.
Huiskutus	Vettä tai muuta nestettä sisältävien näytteiden sekoitus esi- merkiksi tasoravistelijalla.
Inkubointi	Muhituskoee, jossa reaktioiden annetaan tapahtua samalla tavalla kuin luonnossa; esimerkiksi kuivan maan kostuttami- en ja pitäminen kosteana tietyn aikaa.
Korrelaatio	Kahden muuttujan välinen yhteisvaihtelu.
Liukoinen P	Maanesteessä tai vedessä yleensä ortofosfattiina ($\text{PO}_4\text{-P}$) esiintyvä fosfori.
Labiili P	Adsorboitunut fosfori, joka voi vapautua veteen.
N	Typpi.
Oksidi	Oksidi on hapen ja jonkin toisen alkuaineen yhdiste. Okside- ja syntyy hapetusreaktioissa.
P	Fosfori.
Redox- reaktio	Hapetus-pelkistys reaktio, jossa yksi tai useampi elektroni siirtyy kokonaan tai osittain atomilta toiselle. Elektroneja luovuttava aine hapettuu ja elektroneja vastaanottava aine pelkistyy.
Resuspensio	Hienojakoisen sedimentoituneen aineksen kulkeutuminen pois altaasta.
Sedimentti	Kerrostunut maa-aines.
Stabiili P	Sitoutunut fosfori.
Viipymä	Aika, jonka vesimassan kestää kulkea esimerkiksi kosteikon tai laskeutusaltaan läpi.

1 JOHDANTO

Vuosikymmenien aikana peltomaihin on lisätty runsaasti typpeä ja fosforia lannan sekä väkilannoitteiden muodossa. Yhdessä muiden maatalouden toimenpiteiden, kuten maan muokkauksen kanssa, suurien lannoitemäärien on katsottu olevan yksi tärkeimpiä syitä maatalouden aiheuttamaan vesistökuormitukseen. (Yli-Halla, Nykänen, Siimes & Tuhkanen 2001, 7; Ylivainio, Esala & Turtola 2002, 7.)

Vuonna 2012 noin 68 prosenttia fosforipäästöistä ja noin 56 prosenttia typpipäästöistä aiheutui maataloudesta (Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2014). Maatalouden vesistöjä rehevöittäviä vaikutuksia pyritään vähentämään muun muassa vesiensuojelussa käytettävien kosteikkojen avulla. Kosteikkojen pohjalle kerääntyy sedimenttiä, johon on sitoutuneena runsaasti fosforia sen eri muodoissa. Fosfori kulkeutuu kosteikkoihin eroosion vaikutuksesta viljelysmailta, joita on useiden vuosikymmenien ajan lannoitettu runsaasti niin lannalla kuin lannoitevalmisteilla. Suljetumman ravinnekierron saavuttamiseksi kosteikkoihin kertynyt sedimentti suositellaan levitettäväksi takaisin peltomaahan, jossa sen oletetaan toimivan kasvinravinteena. (Yli-Halla, Laakso & Uusitalo 2012, 1.)

Kosteikkojen toimintaa vesistönsuojelussa on tutkittu useassa kehitys- ja tutkimushankkeessa 2000-luvulla. Kosteikkoja perustetaan nopeaan tahtiin ja on oleellista, että niiden toimintaa ja erityisesti fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia ilmiöitä tutkitaan entistä paremmin. Tämä auttaa suunnittelemaan ja tarvittaessa muokkaamaan jo olemassa olevia kosteikkoja niin, että niillä saavutetaan paras mahdollinen teho ravinteiden pidätyksessä. (Heikkinen 2011, 4.)

Gregory & Nortcliffin (2013, 153) mukaan toisin kuin typpi, fosfori on uusiutumaton luonnonvara, jonka riittävyys määrittää maatalousekosysteemin tuottavuuden. Tulevaisuudessa fosforin käyttöä määrittääkin eniten fosfaattikiven saatavuus ja hinta. Fosforivarojen rajallisuus ja epäilykset sedimentin soveltuvuudesta kasvien kasvualustaksi ovat luoneet tarpeen lisätutkimuksille.

Työn toimeksiantajana toimi Maa- ja elintarviketalouden tutkimuslaitoksen kasvintuotannon yksikkö. Työ on osa meneillään olevaa LASSE-hanketta (Laskeutusallas-kosteikosta poistettavan sedimentin peltolevitys), jonka tavoitteena on luoda ohje kosteikosta poistettavan sedimentin käytölle. Hanketta vetää Helsingin yliopiston Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos sekä Maaperä- ja ympäristötieteen laitos.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdyttiin fosforin reaktioihin ja sidoksiin maassa, vedessä ja kosteikossa. Kosteikot ja laskeutusaltaat ovat myös osa teoriaosuutta; painopisteenä on niiden toiminta ja merkitys vesiensuojelussa. Tutkimusosa koostuu inkubointikokeesta ja sen tulosten analysoinnista.

2 LASKEUTUSALLAS-KOSTEIKOSTA POISTETTAVAN SEDIMENTIN PELTOLEVITYS – LASSE

LASSE-hankkeessa tutkitaan kosteikkosedimentin fosforinluovutus ja -sitomismominaisuuksia, sekä arvioidaan hapettuneen kosteikkosedimentin soveltuvuutta peltolevitykseen pellon fosforitalouden kannalta. Lisäksi tarkoituksena on selvittää soveltuuko kosteikkosedimentti runsaasti helppoliukoista fosforia sisältävien kohteiden, kuten karjanruokintapaikkojen, fosforikuormituksen vähentämiseen. (Yli-Halla ym. 2012, 1.)

Alustavien havaintojen ja tutkimusten mukaan maatalouskosteikosta poistettu sedimentti ei sovellu kasvien kasvualustaksi. TEHO-hankkeen (Tehoa maatalouden ympäristönsuojeluun) puitteissa tehtiin pienimuotoinen astiakoe, jonka lähtöhypoteesi oli, että sedimentti toimisi kasvinravinteenä. Koe kuitenkin osoitti, että tutkitun laskeutusallas-kosteikon sedimentti päinvastoin satoi maasta kasveille käyttökelpoista fosforia ja sedimentti-maa-seoksessa kasvaneet kasvit kärsivät silminnähtävästi fosforin puutteesta. (Yli-Halla ym. 2012, 1–2.)

LASSE-hankkeessa tehtiin kesällä 2013 astiakoe raiheinällä, mikä tuki havaintoa kosteikkosedimentin suuresta fosforinpidätyksestä. Kokeessa havaittiin selkeästi, että mitä enemmän kasvualustan maahan oli sekoitettu sedimenttiä, sitä pienempi oli kasvin fosforin otto. Havainto oli sama sekä P-lannoitetuilla että lannoittamattomilla kasveilla. Todennäköisesti sedimentin suuri fosforinpidätyskyky johtui sen suuresta savespitoisuudesta. Savesfraktiot sisältävät Al- ja Fe-oksidiä, jotka pidättävät hyvin fosforia. Kosteikon sedimentissä fosfori oli sitoutunut pääasiassa Fe-oksidiin. (Laakso, Yli-Halla & Uusitalo 2014, 2.)

Keväälle 2014 suunniteltiin sadetus- ja inkubointikokeet. Kokeissa tutkittiin, miten sedimenttilisäys vaikuttaa erittäin runsaasti helppoliukoista fosforia sisältävältä maalta tulevan valumaveden fosforipitoisuuteen ja maan eri tavoin pidättyneiden fosforijakeiden määrään. (Laakso, Uusitalo & Yli-Halla 2014.)

Opinnäytetyötä varten suoritettussa inkubointikokeessa sedimenttiä ja pelto- maata sekoitettiin eri seossuhteissa (samat seossuhteet kuin hankkeen raiheinä-astiakokeessa kesällä 2013). Inkuboinnin jälkeen näytteistä mitattiin mm. viljavuusanalyysin fosfori, veteen uuttuva fosfori, nk. viljavuusfosfori sekä raudan ja alumiinin oksideihin sitoutuneen fosforin pitoisuus. (Yli-Halla ym. 2012, 8.) Koe ja sen tulosten raportointi muodostavat tämän opinnäytetyön tutkimusosan.

3 FOSFORIN LIIKKUMINEN JA REAKTIOT

Fosfori on kaikille kasveille ja niiden kasvulle välttämätön alkuaine. Kasvit tarvitsevat sitä mm. siementen kasvuun lähtöä varmistaviin varastoyhdisteisiin (inositolifosfaatit, kuten fytiini), nukleiinihappojen (DNA ja RNA), solujen energiansiirtoyhdisteiden adenosiinitrifosfaatin (ATP) ja solukalvojen (fosforilipidit) rakenneosiksi. (Salonen, Frisk, Kärmeniemi, Niemi, Pitkänen, Silvo & Vuoristo, 1992, 21.)

Fosforia on kasveissa paljon vähemmän kuin typpeä, mutta sen puute vaikuttaa voimakkaasti sekä sadon määrään että laatuun. Fosforia ei voi korvata muilla alkuaineilla, koska se on mukana miltei jokaisessa biokemiallisessa reaktiossa. Ympäristöindikaattorina fosfori sopii hyvin vesistöjen rehevyyden arviointiin, sillä se korreloi voimakkaasti a-klorofyllin (leväbiomassan) kanssa. Hyvä korrelointi a-klorofyllin kanssa osoittaa myös sen, että fosfori on typpeä useammin rehevyyttä säätelevä tai rajoittava minimiravinne Suomen järvissä ja joissa. (Pietiläinen & Räike 1999, 32.)

Fosfori esiintyy kasveissa ja maassa joko epäorgaanisina suoloina tai orgaanisina fosfaattiyhdisteinä. Epäorgaaniset fosfaatit vaikuttavat mm. kasvin pH-puskurikykyyn ja energia-aineenvaihduntaan. Suurin osa maan fosforista on yleensä apatiittia tai orgaaniseen ainekseen sitoutunutta fosforia. (Heinonen, Hartikainen, Aura, Jaakkola, & Kemppainen 1992, 223–226; Gregory & Nortcliff, 2013, 139.)

Valtaosa viljelysmaissa kasveille käyttökelpoisista varannoista on peräisin vuosikymmenten aikana lannan ja väkilannoitteiden muodossa lisätystä fosforista. Osa maahan jääneestä lannoitefosforista ei ole välittömästi kasvien kannalta käyttökelpoisessa muodossa, sillä se on sitoutunut raudan ja alumiinien oksidihydroksidien pinnalle. Fosforin ja oksidien sidokset ovat aluksi löyhiä, mutta tiukkenevat ajan myötä. (Heinonen ym. 1992, 223–226; Gregory & Nortcliff, 2013, 139.)

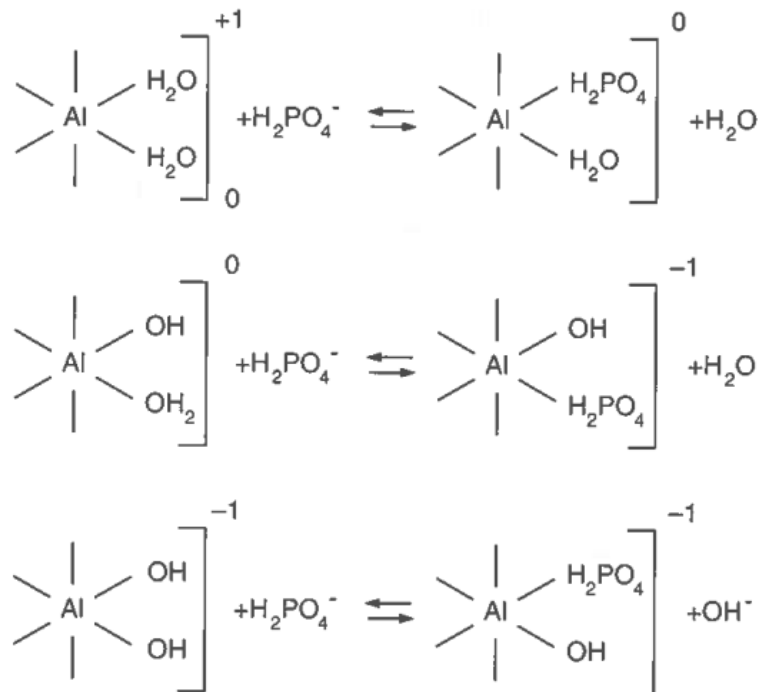
3.1 Fosforin liikkuminen maassa

Maassa oleva fosfori on alun perin peräisin primäärisestä apatiitista, joka rapautuu vuosituhansien aikana ja muuttuu samalla kasveille käyttökelpoisempaan muotoon. Kasveille käyttökelpoinen fosfori voidaan jakaa kolmeen muotoon; maanesteessä liukoiseena olevaan, labiiliin ja stabiiliin jakeeseen. Maaperässä esiintyvä liukoinen fosfori on kasveille heti käyttökelpoisessa muodossa maanesteeseen liunneena. Käyttökelpoista orgaanista fosforia tulee maahan lannasta, orgaanisen fosforin mineralisoinnista ja kasvien jäänteistä (mikrobien toimesta), sekä vähäisessä määrin myös hajoavasta humuksesta. Orgaanisen fosforin ohella lannan mukana tulee myös paljon epäorgaanista fosforia. (Heikkinen 2011, 4.)

Labiili, eli helposti vapautuva fosfori on kasveille potentiaalisesti käyttökelpoista, pääosin epäorgaanista fosforia. Labiili P on sitoutuneena maan hiukkaspinnoille ja on tasapainossa hiukkasia ympäröivän maaveden sisältämän epäorgaanisen P:n kanssa. Labiili P toimii käyttökelpoisen P:n varastona, sillä sitä voi pidettyä maapartikkelin pinnalle useita satoja milli-

grammoja kiloa maata kohden. P:n pidättäytymistä ja vapautumista, eli adsorptiota ja desorptiota, säätelee tasapaino, jonka ansiosta kasveilla on käyttökelpoista fosforia saatavilla, vaikka maanesteen fosforipitoisuus olisikin alhainen. Kasvien ottaessa fosfaattia maanesteestä, vapautuu oksidien pinnoilta sitoutunutta fosforia vastustamaan maanesteen P-pitoisuuden laskua. Vastaavasti fosforia sitoutuu maahiukkasen pinnalle, kun maanesteen fosfori pitoisuus taas jälleen nousee. (Heikkinen 2011, 4.)

Fosforin liikkumiseen maaperässä vaikuttavat merkittävästi maan kemialliset ominaisuudet. Fosfaatti pidättäytyy spesifisesti hydratoituneiden (veden kanssa reagoineiden) Fe- ja Al-oksidiin pinnoille. Fosfaatille on luonteenomaista voimakas taipumus reagoida oksidiin pinnoilla olevien Fe- ja Al-atomien kanssa. Pidättäytyminen tapahtuu ligandinvaihtomekanismin avulla (kuvio 1). Oksidiin pinnoilla olevien Fe- tai Al-atomien koordinaatiokehässä on H₂O- tai OH-ligandeja. Ligandien keskinäinen suhde sekä oksidipinnan sähkövaraus riippuu pH:sta. Spesifisesti pidätyvät anionit sitoutuvat lujasti maa-ainekseen tunkeutumalla metallien koordinaatiokehään ja syrjäyttämällä H₂O- tai OH-ligandeja. Tällä mekanismilla sitoutuneet anionit eivät huuhtoudu helposti, eivätkä myöskään ole enää helposti hyödynnettävissä kasveille. (Heinonen ym. 1992, 66.)



Kuvio 1 Fosfaatti-ionin sitoutumista Al-oksidiin pinnalle kuvaavia reaktioita. Sitoutuminen on mahdollista myös niin, että muodostuu monihampaisia ligandeja tai rengasrakenne. (Heinonen ym. 1992, 67.)

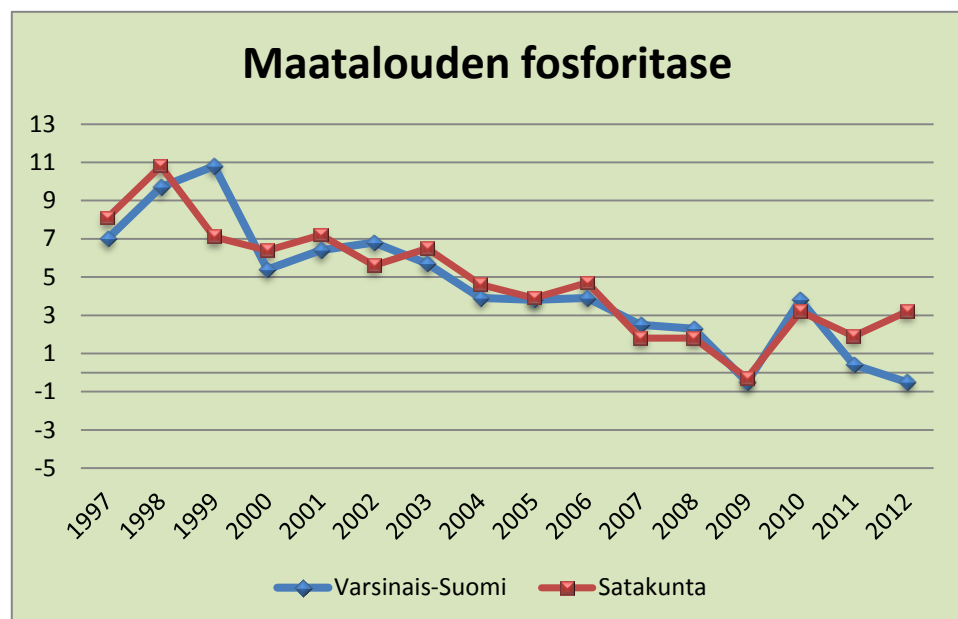
Raudan ja alumiinin oksideja syntyy rapautumisen seurauksena. Mitä hienojakoisempaa maa-ainesta on, sen tehokkaammin rapautuminen edistyy. Tästä syystä pidättävää oksidia on runsaimmin savimailla ja niiden fosforin sitomiskyky onkin tunnetusti hyvä. Turvemaissa mineraaliaineksen määrä on pieni ja siksi niissä onkin vähän pidätyspintaa. Tämän takia turvemaita tulisikin lannoittaa vain hitaasti liukenevilla lannoitteilla. (Hartikainen & Peltovuori 2002, 1–2.)

Fosforin muuttuminen stabiiliin muotoon kestää useita viikkoja, jopa vuosia. Prosessissa fosfori siirtyy oksidien huokosiin sisäosiin. Stabiili P voi muuttua takaisin labiiliksi, mutta sillä ei ole merkitystä yhden kasvukauden aikana kasvien fosforin oton kannalta, sillä reaktio on hidas. Stabiilissa muodossa oleva P voi heikentää pysyvästi maan P:n sitomiskapasiteettia, sillä se täyttää adsorptiopaikkoja. Suurimman osan maan stabiilista P:sta muodostavat apatiitti ja humusaineet. (Heikkinen 2011, 8.)

Fosforin liikkuvuuteen voidaan vaikuttaa myös kalkituksella. Vaikutus voidaan selittää sillä, että maan pH:n noustessa oksidipintojen negatiivinen vaikutus kasvaa ja näin fosforin sitoutumistaipumus heikkenee. Näin ollen happaman suomalaisen maan kalkitseminen on omiaan alentamaan fosforin hyväksikäyttöastetta. (Yli-Halla ym. 2001, 8, 41.)

3.2 Fosfori peltomaassa

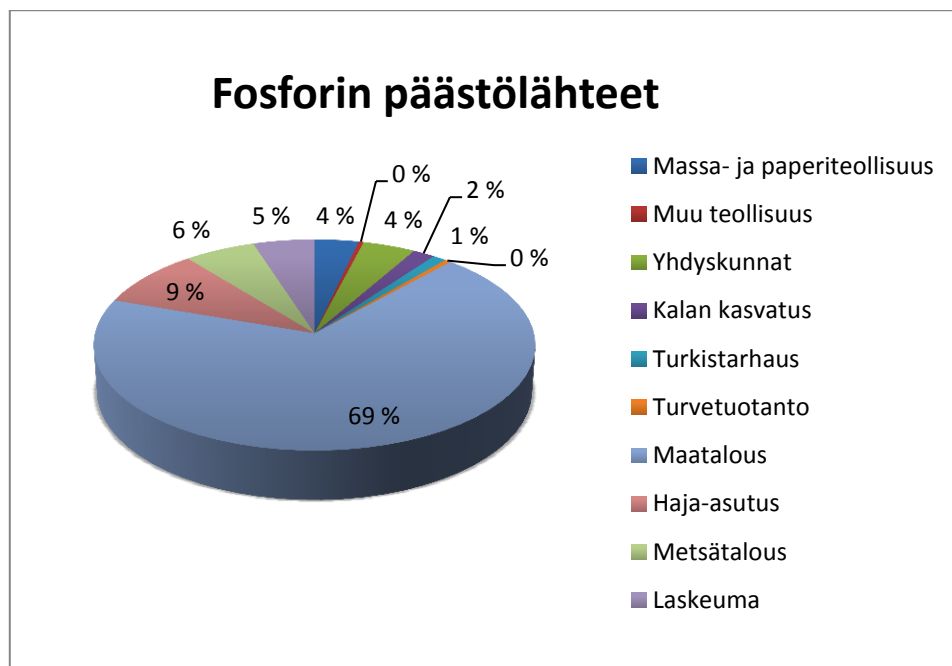
Suomen maaperässä on suuret fosforireservit, sillä se on nuorta ja heikosti rapautunutta (Hartikainen & Peltovuori 2002, 1). Viljellyn maan kasveille käyttökelpoisesta fosforista suurin osa on peräisin väkilannoitteista. Maaperän voimakkaasti fosforia sitovien ominaisuuksien takia kasveille käyttökelpoisen fosforin määrä maassa on kuitenkin melko pieni. Ennen voimaperäisen fosforilannoituksen aloittamista muokkauskerroksessa fosforia oletetaan olleen noin 2 200 kg ha⁻¹. Tähän päivään mennessä määrä on kolminkertaistunut. Suomessa runsas peltojen lannoitus aloitettiin toisen maailmansodan jälkeen satotason nostattamiseksi ja omavaraisuuden saavuttamiseksi. (Rekolainen ym. 1992, 14.) Heikkisen (2011, 3) mukaan kuormitus on kasvanut 1960- ja 1970-luvuilta lähtien. Peltojen keskimääräinen fosforitase Suomessa on ollut selvästi positiivinen näihin päiviin asti (kuvio 2).



Kuvio 2 Esimerkki maatalouden fosforitaseiden kehityksestä Varsinais-Suomen ja Satakunnan alueilla (Ympäristö nyt 2013).

Vuonna 1975 fosforilannoituksen määrä saavutti huippunsa. Tuolloin lannoitetta käytettiin noin 35 kiloa hehtaaria kohden. Samalla helpoliukoisen fosforin määrä pelloissa kasvoi tasaisesti. Vähitellen alettiin kuitenkin kiinnittää huomiota maatalouden vesistöihin aiheuttamaan kuormitukseen. (Yli-Halla, Nykänen, Siimes ja Tuhkanen 2001, 7.)

Viljavuustutkimuksella on pyritty vaikuttamaan kalium- ja fosforilannoituksen määrään jo useamman vuosikymmenen ajan. Mitä enemmän maassa on kasveille käyttökelpoisia ravinteita, sitä pienempi on suositellun kaliumin ja fosforin määrä. Fosforilannoitusta on pyritty hallitsemaan jo aiemmin Suomen EU:iin liittymistä, mutta vasta vuoden 1995 jälkeen maatalouden ympäristöohjelman tultua voimaan siihen osallistuvat tilat ovat joutuneet sitoutumaan fosforilannoituksen enimmäismääriin. (Yli-Halla ym. 2001, 8.) Kuormituksen rajoittamisesta huolimatta maatalous on edelleen suurin vesistöjen kuormitukseen vaikuttava tekijä (kuvio 3).



Kuvio 3 Fosforikuormitus päästölähteittäin. Kuormitus yhteensä 4010 tonnia vuodessa ja luonnonhuuhtouma 1600 tonnia vuodessa. (SYKE 2012.)

Peltomaiden suuri fosforikyllästys on ongelma erityisesti kevät- ja syys-tulvien aikana, kun sulamisvesien ja sateiden aiheuttama eroosio alkaa liikuttaa maa-ainesta ja ravinteita. Lumen sulamisen aikaan liukoisen fosforin osuus on usein korkeampi kuin myöhemmin roudan sulamisvaiheessa. Tämän on katsottu johtuvan talvehtivasta ja kuolleesta, pakkasen rikkomasta, kasvustosta liukenevasta fosforista. (Heinonen ym. 1992, 317.)

Kalkitus vähentää liukoisen alumiinin määrää maassa ja auttaa kasveja kasvattamaan runsaamman juuriston. Näin kasvien fosforin saanti paranee. Hyvä juuristo auttaa pitämään maa-ainesta paikallaan ja vähentää näin maa-aineksen liikkuvuutta. (Yli-Halla ym. 2001, 41.)

3.3 Fosforin kulkeutuminen vesistöön

Fosfori kulkeutuu maasta vesistöihin eroosion seurauksena. Eroosiota aiheuttavat sekä tuuli että sade, mutta fosforin kulkeutumisessa sade on ratkaiseva tekijä. Putoavan pisaran voima saa maapartikkelit liikkeelle. Sateen vaikutukset tapahtuvat niin maassa kuin sen pinnalla. Sateen aiheuttaman eroosion vaikutukset voivat jäädä kuitenkin pieniksi, vaikka vuotuinen sadanta olisikin suuri, jos vesi saadaan lukuisina heikkoina sateina. (Heinonen ym. 1992, 303.)

Mikäli sadevesi ei ehdi imeytymään maahan, syntyy pintavaluntaa. Pintavalunta aiheuttaa helpommin eroosiota, sillä vesi kulkee nopeammin maan pinnalla kuin maan sisään tunkeutuneena. Suurin osa fosforista kulkeutuu vesistöihin pintavalunnan mukana joko liukoisena tai kiintoainekseen sitoutuneena. Myös maan kaltevuus vaikuttaa oleellisesti eroosion voimakkuuteen. (Rekolainen, Kauppi & Turtola 1992, 20.)

Eroosio on selektiivistä, eli kohdistuu voimakkaimmin hienoimpaan irtoavaan kivennäisainekseen. Orgaaninen aines (esim. orgaaniset molekyylit ja sienirihmastot) stabiloi hiukkasia kiinnittämällä niitä toisiinsa. Orgaanisen aineksen vaikutus on oleellisin hieta- ja hiesumaiden kohdalla, sillä ne ovat eroosioherkempiä maalajeja. Saveshiukkaset eivät lähde helposti liikkeelle veden vaikutuksesta, mutta ne voivat lopulta irrottuaan kulkeutua pitkiä matkoja, jopa merelle asti. (Rekolainen ym. 1992, 20–21; Heinonen ym. 1992, 304.)

Heinosen ym. (1992, 317) mukaan useimmiten maaperässä on vettä varsin vähän verrattuna kiinteään ainekseen. Tämä edesauttaa maa-ainesta pidättämään liuosfaasissa olevaa fosforia tehokkaasti. Lisäksi maanesteen suolapitoisuus on suhteellisen suuri (varsinkin heti lannoituksen jälkeen), joten fosfaatti sitoutuu maahiukkasten pinnoille entistä paremmin.

Tulvan ja eroosioprosessin iskiessä maaperässä vallitsevat ominaisuudet kuitenkin muuttuvat radikaalisti. Kun veden määrän kasvaa nopeasti suuremmaksi kuin kiinteän aineksen määrä, niin maahiukkasia ympäröivän liuoksen suolapitoisuus laimenee voimakkaasti. Nämä muutokset edistävät fosfaatin vapautumista maa-aineksesta; maa-aines pyrkii ylläpitämään maanesteessä tiettyä tasaista fosfaattipitoisuutta ja siksi luovuttaa laimennussuhteen väljetessä koko ajan lisää fosforia maanesteeseen. (Heinonen ym. 1992, 317.)

3.4 Fosforin reaktiot kosteikossa ja vesissä

Hapen loppuminen sedimentistä on liikkeelle paneva tekijä kosteikon sisäisessä kuormituksessa ja fosforin sitoutumisessa. Hapen pitoisuuteen kosteikossa vaikuttaa mikrobien toiminta. Mikrobit hapettavat sedimentin pinnalle laskeutunutta orgaanista ainesta hiilidioksidiksi käyttäen vedessä olevaa happea (elektroniakseptorina). Hapen vähentyessä redox-potentiaali pienenee. Koska myös rauta voi toimia elektroniakseptorina, redox-potentiaali säätelee rautahydroksidien pinnalle sitoutuneen fosforin vapautumista; kun redox-potentiaali laskee (alle 100 mV:n) ferrirauta

(Fe^{3+}) pelkistyy ferroraudaksi (Fe^{2+}) ja näin ferriraudan sitoma fosfori ja muodostunut ferrorauta muuttuvat liukoiksi. Korkea nitraattipitoisuus saattaa toimia puskurina redox-potentiaalia vastaan ja näin hidastaa fosforin liukenemistä, sillä redox-potentiaalin laskiessa nitraatti toimi ennen Fe^{3+} (ferrirauta) elektronien vastaanottajana. (Heikkinen 2011, 13.)

Alumiini ei ota vastaan elektroneja ympäristöstään eikä redox-potentiaalin muutos ei vaikuta alumiinioksidien fosforin sitomiseen. Tästä syystä Al-oksidiin pitoisuudella onkin suuri rooli fosforin sitoutumisessa kosteikon sedimentissä (Heikkinen 2011, 13). Hapettomissa oloissa voi tapahtua myös ammoniumtyypen vapautumista sedimentistä veteen sekä mikrobi-toiminnan seurauksena saattaa syntyä metaania, joka on voimakas kasvi-huonekaasu. Eräät kasvit, esimerkiksi osmankäämi, vapauttavat juuristaan happea sedimenttiin, jolloin fosforin pidättyminen lisääntyy. Toisaalta sedimentin voimakas hapenkulutus voi saada aikaan veden ja sedimentin rajapinnalle vuosittain pitkään kestävästä tai pysyvään hapettomuuden. (Salonen ym. 1992, 48; Heikkinen 2011, 13.)

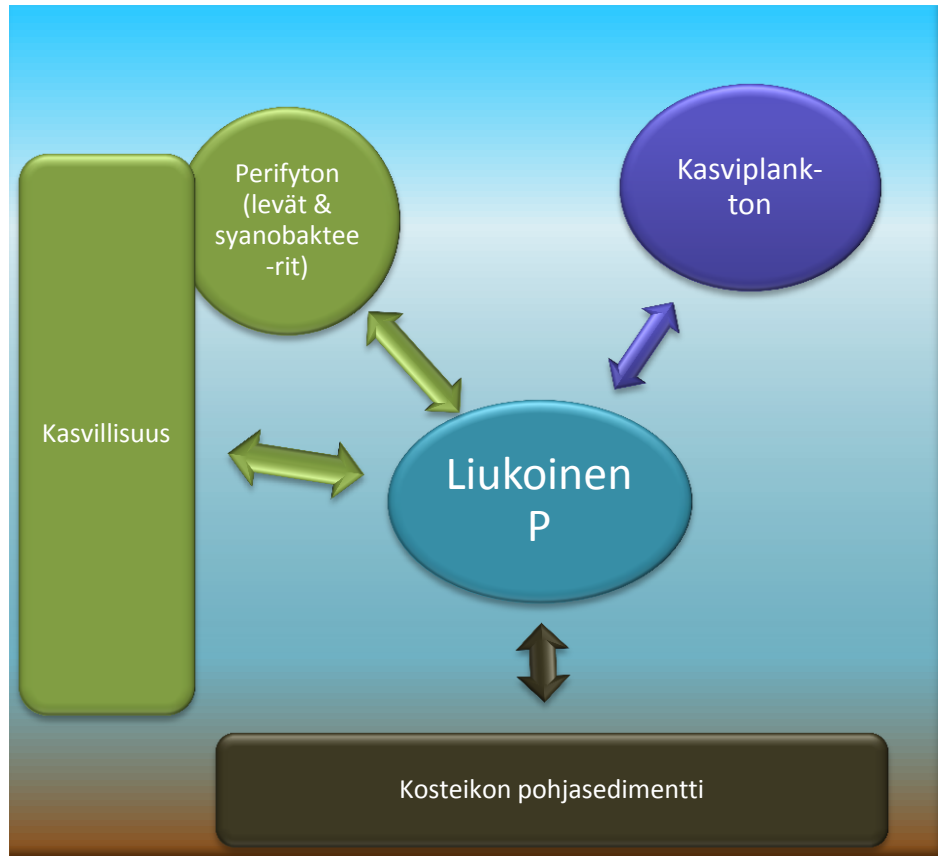
Heikkisen (2011, 11) mukaan fosforin sitoutumiseen kosteikossa vaikuttavat samat fysikaaliset, kemialliset ja biologiset toiminnot kuin pellollakin. Vesipitoisuuden takia kosteikolla kuitenkin on joitain ominaispiirteitä, jotka vaikuttavat enemmän P:n pidättymiseen kuin peltomaassa.

Kosteikot puhdistavat valuma-alueelta tulevaa vettä monella eri tavalla (kuvio 4, s. 9). Kosteikkokasvillisuus käyttää vedessä liukoisena olevia ravinteita (P, N) hyväkseen ja estää näin niitä kulkeutumasta välittömästi eteenpäin. Vedessä olevat mikrobit muuttavat sekä vedessä että pohja-aineksessa olevaa tyyppiä harmittomaksi typpikaasuksi, joka vapautuu ilmaan. Laskeutusaltaan ideana on nimensä mukaisesti laskeuttaa veden mukana kulkeutuvaa kiintoainesta, jotta se pääsee varastoitumaan altaan pohjalle. Mitä pidempi veden viipymä altaassa on, sen paremmin myös hienojakoinen maa-aines ehtii laskeutua altaan pohjalle. Laskeutusaltat eivät kuitenkaan pienennä oleellisesti veteen liuenneen tyypin tai fosforin määrää. (Mavi 2009, 2–3.)

Kosteikon ja laskeutusaltaiden toiminta kiintoaineksen poistajana perustuu yksinkertaisesti painovoimaan. Kun vesi laskee läpivirtausaltaaseen, sen virtausnopeus hidastuu ja pienet kiintoaineshiukkaset laskeutuvat pohjaan. Näin valumavedestä poistuu kiintoaineeseen sitoutuneita ravinteita (Hilli 1999, 11.) Kosteikon tai laskeutusaltaan koko tulisi mitoittaa niin, että siihen saapuva tulvavesi saavuttaa tarvittavan viipymän myös kevään keskylivirtaaman aikana. Hyvä viipymä on noin yksi vuorokausi. Kosteikon tai laskeutusaltaan koosta ja valuma-alueen maalajista riippuu, ehtivätkö kaikki pienimmätkin partikkelit laskeutua altaan pohjalle. (Koskiahon 2012.)

Kosteikoissa oleva kasvillisuus vaikuttaa altaan toimintaan monin eri tavoin. Kasvit hyödyntävät sedimentin huokosveteen sitoutunutta fosforia, nopeuttavat fosforin vapautumista sedimentistä huokosveteen ja vapauttavat uutta fosforin sitomispinta-alaa. Näin huokosveden ravinnepitoisuus pysyy tasapainossa ja sedimenttiin vapautuu uutta fosforin sitomispinta-

alaa. Lisäksi kasvit hidastavat veden virtaamista ja hyödyntävät myös suoraan vedessä liukoisena olevaa fosforia (kuvio 4). Orgaaninen fosfori on kuitenkin kasvien ansiosta vain lyhyen aikaa poissa käytöstä, sillä kasvien lakastuessa niiden sitomat ravinteet vapautuvat takaisin kiertoon liukene-
misen ja mikrobitoiminnan seurauksena. (Hilli 1999, 12; Heikkinen 2011, 10.)



Kuvio 4 Howard-Williamssin modifioitu versio liukoisen fosforin mahdollisista pidättymisistä kosteikossa. (Heikkinen 2011, 11).

Kosteikossa saattaa tapahtua sisäistä partikkelikuormitusta. Suuren virtaaman aikana, esimerkiksi kevät- tai syystulvassa, yksittäinen partikkeli voi resuspendoitua pohjan sedimentistä ja lähteä takaisin kiertoon. Häikiön (1998) mukaan resuspensiota tapahtuu, kun veden irrotusvoima kasvaa suuremmaksi kuin kiintoainesta pohjassa pitävä voima. (Hilli 1999, 12.) Resuspensiota aiheuttavia tekijöitä voivat tulvien lisäksi olla myös tuuli ja vesistön pohjalla elävät eläimet, jotka pöllyttävät sedimenttiä mm. ravintoa etsiessään (Heikkinen 2011, 12).

4 KOSTEIKKOJEN TOIMINTA JA MERKITYS VESIENSUOJELUSSA

Kosteikolla tarkoitetaan ojan, puron, joen tai jonkin muun vesistön osaa ja sen ranta-aluetta, joka on suuren osan vuodesta veden peitossa ja pysyy kosteana. Tulvaniityt ja laskeutusaltaat luetaan myös kosteikoiksi. Kosteikot toimivat tulva- ja kasteluvesien varastona, lisäävät luonnon monimuotoisuutta, parantavat maaseutumaisemaa ja lisäävät viihtyisyyttä. (Puustinen, Koskiaho, Jormola, Järvenpää, Karhunen, Mikkola-Roos, Pitkänen, Riihimäki, Svensberg & Vikberg 2007, 5; Hagelberg, Karhunen, Kulmala, Larsson & Lundström 2012, 3.)

Kosteikot kehittyvät hyvin erilaisiksi ekosysteemeiksi niihin luotujen ominaisuuksien perusteella. Kasvillisuuteen ja lajien runsauteen vaikuttavat kasvien kasvupaikkavaatimukset sekä vesisyvyys ja sen vaihtelevuus. Syvimmät alueet ovat kasveista vapaita avoimen veden alueita ja matalat vesialueet peittyvät kasvillisuudella pian kosteikon perustamisen jälkeen. Kosteikon ympäristö vaikuttaa kasviston kehittymiseen; avonaisessa maastossa kasveille on tarjolla enemmän valoa kuin metsän varjossa. Muita lajirunsauteen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi kosteikon niemekkeet ja rantaviivan muuttuvuus. (Puustinen ym. 2007, 12.)

Laskeutusaltaalla tarkoitetaan vesistön uomaan patoamalla tai kaivamalla toteutettua läpivirtausallasta, jossa veden virtaus hidastuu (kuva 1). Kosteikko ja laskeutusallas eroavat toisistaan pääasiassa kasvillisuuden perusteella. Laskeutusaltaissa ei ole kasvillisuutta, tai se on hyvin vähäistä. Kuitenkin ajan myötä laskeutusaltaissakin kasvillisuus lisääntyy ja ne saavat kosteikkomaisia piirteitä. (Hilli 1999, 11; Heikkinen 2011, 10.)



Kuva 1 Liedonperän laskeutusallas-kosteikko (Kuva: Laakso 2012).

Laskeutusaltaan koko määräytyy pienimmän altaaseen sedimentoituvaksi haluttavan maapartikkelin perusteella. Tämä tarkoittaa sitä, että altaan viipymän on oltava tarpeeksi pitkä, jotta partikkeli ehtii laskeutua altaan pohjalle. Partikkelin laskeutuessa pohjalle, sen mukana poistuu valumavedestä myös siihen sitoutuneita ravinteita, kuten fosforia. (Hilli 1999, 11.)

4.1 Kosteikkojen rooli maatalouden vesiensuojelussa

Maatalouden kuivatustoiminta on lisännyt merkittävästi tulvimistaipumista alajuoksulla, sillä joki- ja purovesistöt virtaavat yli herkemmin kasvate-
tun vedenjohtokyvyn ja tulva-alueiden puutteen takia. Uomien tehostettu
vedenjohtokyky lisää myös uomaeroosiota. Kosteikkojen rakentamisen aut-
taa tasapainottamaan tulvahuippuja ja pienentää alavien maiden tulvimis-
taipuvuutta. (Puustinen ym. 2007, 11.)

Maataloudessa vesiensuojelu on oleellisessa asemassa, mikäli halutaan
saavuttaa hyvä tila vesistöissä niin rannikko- kuin sisävesissä. Maatalou-
dessa on käytettävissä monia eri vesiensuojelutoimenpiteitä. Näistä toi-
menpiteistä kosteikolla on vaikutusta ravinteiden ja kiintoaineiden pysäyt-
tämisessä ja vähentämisessä, sekä uomien monimuotoisuuden ja sitä kaut-
ta itsepuhdistuskyvyn lisäämisessä. (Puustinen ym. 2007, 7; Tanner & Su-
kias 2011, 620.)

Maatalouden ympäristötuen ohjelmakaudella 2007–2013 oli mahdollista
saada ei-tuotannollisten investointien tukea kosteikon perustamiseen. Tuen
saaminen edellyttää, että kohteessa on peltoaluetta yli 20 prosenttia vesis-
tön valuma-alueesta. Tällöin perustettavan kosteikon koon tulee tulva-
alueineen olla vähintään 0,5 prosenttia valuma-alueen pinta-alasta. (Mavi
2009, 4.) Kauden 2014–2020 kehittämisohjelman luonnoksen mukaan tu-
kea olisi tulevaisuudessa mahdollista saada kosteikkoinvestointi -tukena
kohteisiin, joissa valuma-alueen peltopinta-ala olisi yli 10 prosenttia. Kos-
teikon koko pysyisi ennallaan; 0,5 prosenttia yläpuolisen valuma-alueen
pinta-alasta. Lisäksi ehdoista voitaisiin poiketa, jos kyseessä olisi

- paikallinen voimakas maatalouden kuormitus
- suojavyöhyke-, luonnon monimuotoisuus tai kosteikkosuunnitelmissa
esitetty kohde
- kohde, jonka ELY-keskus katsoo muutoin tehokkaaksi maatalouden
vesiensuojelun tai monimuotoisuuden edistämisen vuoksi.

Edellytyksenä investointitukeen on, että kosteikon valmistumisen jälkeen
kohteen hoidosta tehdään 5-vuotinen kosteikon hoidon ympäristösopimus.
(Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma 2014–2020 luonnos
2013, 87, 88.)

4.2 Kosteikot monimuotoisuuden edistäjinä

Kosteikkojen rooli luonnon monimuotoisuuden lisäämisessä on merkittä-
vä. Palauttamalla tai rakentamalla kosteikkoja luodaan mahdollisuudet
useiden eläin- ja kasvilajien palautumiselle alueelle. (Puustinen ym. 2007,

9.) Kosteikot tarjoavat suojaisia elinympäristöjä lukuisille, vaativillekin, eläin- ja eliölajeille. Kosteikkosuunnittelussa tulee ottaa huomioon alueen kalasto, simpukat ja muut vesistöjen eliölajit. Lisäksi tulee selvittää alueen uhanalaiset kasvit ja hyönteiset. (Hagelberg ym. 2012, 7.)

Monimuotoisuuden kannalta parhaita ovat kasvistoiltaan, eliöstöltään ja rakenteelta mahdollisimman monipuoliset kosteikot. Suosittavia kosteikkokasveja ovat mm. ahven- ja uistinviita, palpakot, kilpukka, limaska, ärviä ja järvikorte. (Aitto-Oja, Rautiainen, Alhainen, Svensberg, Väänänen, Nummi & Nurmi n.d., 24–25.) Linnut osaavat hyödyntää uudet ravintoa tarjoavat elinympäristöt hyvin ja ottavat ne nopeasti pesimä- tai ravinnonhankintakäyttöön. Kosteikoissa viihtyvät erilaiset sorsalinnut, kahlaajat ja lokit. Lokkiyhdykskunnat käyttävät joukkovoimaa petojen karkottamiseen ja siksi niiden yhteyteen hakeutuvat pesimään myös muutkin lajit. Sorsalinnuista yleisiä ovat mm. sinisorsa, telkkä ja tavi. Harvinaisempia ovat esimerkiksi punasotka, tukkasotka ja mustakurkku-uikku. Kosteikoissa ei yleensä ole kaloja, (ellei kyseessä ole kosteikko, jonka tarkoituksen on edistää kalataloutta) joten niiden aiheuttaman ravintokilpailun puuttuminen on etu linnuille. (Puustinen ym. 2007, 9,10, 63, 64; BirdLife Suomi n.d.)

Viljelyalueilta saapuvien valumavesien ajoittain korkea ravinnepitoisuus mahdollistaa suuren biologisen tuotannon, joka lähtee liikkeelle nopeasti alkaen planktisista levistä. Perässä seuraavat hyönteiset ja lintujen mukana lepomunista kuoriutuvat vesikirput. (Puustinen ym. 2007, 9.) Kosteikot tarjoavat elinympäristön monille eläin- ja kasvilajeille sekä kykenevät lisäämään purovesistöjen merkitystä eliöstöjen kulkureitteinä. Lisäksi kosteikot elävöittävät maisemaa ja edistävät riista-, kala- ja raputaloutta (Mavi 2009, 3).

5 INKUBOINTIKOE

Tässä opinnäytetyössä inkubointikokeella tarkoitetaan menetelmää, jossa eri maa-aineksia (tässä tapauksessa valuma-alueen peltomaata ja kosteikkosedimenttiä) sekoitetaan tiettyssä suhteessa ja näytteissä ylläpidetään tiettyä kosteusprosenttia. Näytteiden annetaan olla määrätyn aikaa huoneenlämmössä. Tietyin väliajoin tarkistetaan näytteiden kosteusprosentti ja lisätään deionisoitua vettä tarvittaessa. Inkubointikoe pohjautuu standardiin ISO/DIS 14238.

Tutkimushypoteesina oli, että maatalouskosteikon sedimentti pidättää kasveille käyttökelpoista fosforia kasvien ulottumattomiin. Kokeen tuloksia on tarkoitus verrata aiemmin kesällä 2013 LASSE-hankkeessa suoritetun raiheinä-astiakokeen tuloksiin.

5.1 Tutkimuskosteikot

Kokeessa käytettiin samoja maa- ja sedimenttinäytteitä ja samoissa seossuhteissa, kuin aikaisemmin kesällä 2013 tehdyssä raiheinä-astiakokeessa. Näytteet otettiin elo-syyskuun vaihteessa 2012. Kosteikoista otettiin sedimenttinäytteet (Limnos-sedimenttinoutimella) ja näytettä saatiin molempien kosteikkojen sedimentistä n. 15 cm syvyydeltä. (Yli-Halla ym. 2012, 4.)

Ensimmäiset näytteet olivat Ojaisten kosteikolta Jokioisista. Kyseessä on laskeutusallas-kosteikko, joka on perustettu 1998 MTT:n pellolle. Kosteikko on yksi Active Wetlands -hankkeen kosteikoista ja siellä on myös käynnissä MTT:n tutkimus ravinteiden pidätyksestä. Kokeen toinen kosteikko on Liedonperän laskeutusallas-kosteikko. Kyseessä on 15 vuotta vanha laskeutusallas, joka on saanut kosteikkomaisia piirteitä. Kosteikon pinta-ala on 0,5 ha ja sen vedenlaatu on ollut TEHO plus -hankkeen tarkailussa. Myös Janne Heikkisen pro gradu -tutkimus kohdistui Liedonperän kosteikon fosforivaroihin. Kosteikko sijaitsee Baltic Deal -hankkeen esittelytilalla. (Yli-Halla ym. 2012, 3, 4.)

Ojaisten ja Liedonperän sedimenttinäytteistä pystyttiin havaitsemaan selkeästi eri kerrokset: alusvesi, flokkikerros, hapettunut kerros ja hapeton kerros. Näytteissä oli selvästi havaittavissa mustia laikkuja ja sedimentti haisi hieman rikkivedyltä, mikä on viite hapettomista ja pelkistyneistä olosuhteista osassa sedimenttiä. Kenttämittarilla mitattiin hapetus-pelkistyspotentiaali ja mittausten tulosten mukaan sekä Ojaisten että Liedonperän kosteikoissa oli molemmissa pelkistyneet olosuhteet. (Yli-Halla ym. 2012, 5.)

Molempien kosteikkojen valuma-alueilta otettiin kolme linjamaanäytettä peltomaasta niin, että jokainen linja koostui kolmesta osanäytteestä. Näytteet säilöttiin ämpäreihin ja siirrettiin +5°C:een säilytyslämpötilaan. (Yli-Halla ym. 2012, 4.)

5.2 Toteutus ja menetelmät

5.2.1 Kuiva-aine

Tutkittavista näytteistä määritettiin kuiva-ainepitoisuus, jotta tiedettäisiin, kuinka paljon kutakin näytettä tarvitaan inkubointikokeessa. Kuiva-aine määritettiin punnitsemalla kutakin maanäytettä omaan upokkaaseen n. 3,0 g ja sedimenttejä n. 2,0 g. Tyhjiin upokkaiden painot oli jo etukäteen otettu ylös. Näytteitä kuivatettiin yön yli 105 °C:ssa. Aamulla näytteet laitettiin eksikaattoriin jäähtymään ja punnittiin iltapäivällä. Kuiva-aineprosentti saatiin laskemalla kaava $=x/y*100$, jossa x on kuivan maan paino ja y on kostean maan paino. Kuiva-aineprosentin perusteella laskettiin kuinka paljon ja missä suhteessa kutakin maa- ja sedimentinäytettä tarvittaisiin inkubointikokeessa.

5.2.2 Inkubointikokeen perustaminen

Aluksi tarkastettiin tarvittavien maa- ja sedimentinäytteiden riittävyys. Näytteitä varten otettiin 29 samanlaista inkubointiputkea ja putkille telineet, joihin näytteet punnittaisiin. Ennen näytteiden punnitusta, jokaisen putken paino otettiin ylös, jotta voitaisiin myöhemmin tarkastella näytteiden kosteustasapainoa. Maa/sedimenttiseoksista punnittiin jokaisesta kolme rinnakkaista näytettä (taulukko 1, kuva 2, s 15). Sedimenteistä Ojaisten sedimentistä punnittiin kaksi rinnakkaista (vähäisen näytemäärän takia) ja Liedonperän sedimentistä kolme rinnakkaista. Maa- ja sedimentinäytteiden punnitsemisen jälkeen putkien painot tarkastettiin, jotta saataisiin selville, että kaikissa on riittävä kosteusprosentti, tässä tapauksessa 35 prosenttia. Putket jätettiin huoneenlämpöön rauhalliseen tilaan (pois päältä kytkettyyn vetokaappiin).

Taulukko 1 Inkubointikokeessa käytetyt seossuhteet sekä punnittavien maa- ja sedimentinäytteiden määrä.

INKUBOINTIPUTKIIN PUNNITTAVA (peltomaa/sedimentti), 3 rinnakkaista											
Oj100 (100/0)			Oj87,5 (87,5/12,5)			Oj75 (75/25)			Oj50 (50/50)		
Putki 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	3,752		3,284			2,814			1,876		
	4,247		3,716			3,185			2,123		
	3,928		3,438			2,947			1,964		
	0		3,953			7,906			15,813		
Li100			Li87,5			Li75			Li50		
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	4,103		3,590			3,078			2,052		
	4,055		3,549			3,042			2,028		
	3,971		3,475			2,978			1,986		
	0		2,633			5,266			10,533		

Inkubointikokeen perustamisen jälkeen näytteitä tarkasteltiin 1–2 kertaa viikossa neljän viikon ajan. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että jokainen näyte punnittiin erikseen, jotta saataisiin tietää kuinka hyvin kosteusprosentti on säilynyt. Tarvittaessa näytteeseen lisättiin deionisoitua vettä, jotta kosteusprosentti pysyisi halutussa määrässä. Kosteuden tarkastamisen jälkeen jokainen maanäyte sekoitettiin kevyesti.



Kuva 2 Inkubointikokeen maat ja sedimentit sekoitettuna putkiin (Kuva: Vähä-Pietilä 2014).

Neljän viikon inkuboinnin jälkeen näytteet punnittiin, jotta nähtäisiin kuinka hyvin kosteusprosentti on säilynyt. Punnituksessa havaittiin, että näytteiden kosteusprosentti oli säilynyt hyvin ja inkuboinnin aikana kosteuden haihtuminen oli hyvin tasaista.

5.3 Näytteiden uutot

5.3.1 P-vesiuutto 1:60

P-vesiuutolla mitattiin näytteistä vesiliukoinen fosfori. Näytteistä punnittiin noin 1 g kuiva-ainetta 100 ml näytepulloon. Putkiin lisättiin 60 ml deionisoitua vettä ja niitä huiskutettiin 16 tuntia (yön yli). Seuraavana aamuna näytteet suodatettiin heti huiskutuksen jälkeen Nuclepore 0.2 μm suodattimen läpi imusuodatuslaitteistolla. Saadut suodokset mitattiin vielä samana päivänä Lachatilla.

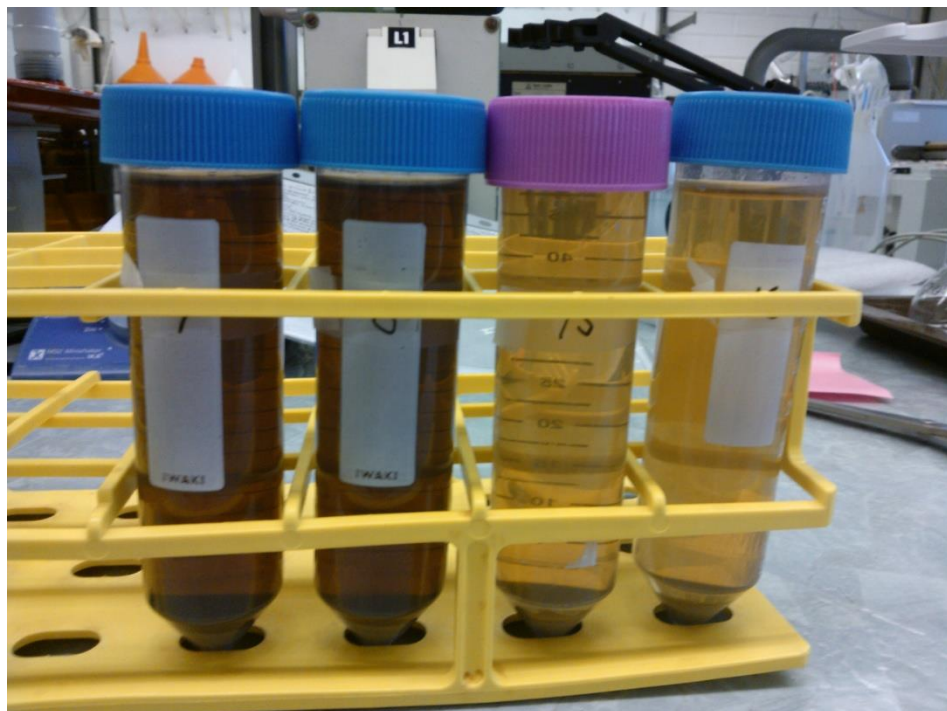
Uuton tarkoituksena on selvittää kuinka paljon maahiukkanen voi vapauttaa fosforia sen joutuessa vesipatsaaseen. Vesiuutolla saadaan hyvä kuva hyvin löyhästi maassa kiinni olevan fosforin määrästä.

5.3.2 NaOH-uutto

Changin & Jacksonin natriumhydroksidiuuton avulla voidaan mitata näyteestä raudan ja alumiinin oksideihin sitoutuneet fosforin fraktiot. Uuttoa voidaan käyttää osoittamaan kasveille käyttökelpoisen P-varannon suuruutta maassa, vaikka se uuttaa myös melko lujasti maahan sitoutunutta fosforia.

Uuttoa varten otettiin jokaiselle 29 näytteelle oma näyteputki ja mukaan lisättiin myös yksi sokea näyte. Näyteputkiin punnittiin 1 g maata ja lisättiin 50 ml 0,1 M NaOH liuosta, huiskutettiin puoli tuntia ja jätettiin yön yli seisomaan. Seuraavana aamuna näytteitä huiskutettiin uudelleen puoli tuntia ja sen jälkeen näytteet sentrifugoitiin 15 min 4000 rpm. nopeudella. Sentrifugissa putki nro 6 hajosi ja näyte meni pilalle (näyte nro 6 sisälsi Ojaisten peltomaata ja sedimenttiä suhteessa 87,5/12,5).

Sentrifugoiduista näytteistä (kuva 3) kirkas liuos kaadettiin 100 ml:n muovipulloihin. Humuksen saostumista varten näytteistä pipetoitiin 10 ml koeputkiin ja lisättiin 2,5 ml 1 N H₂SO₄. Sakka suodatettiin Munktell OOH-suodatinpaperilla.



Kuva 3 Sentrifugoituja maa- ja sedimenttinäytteitä. Vasemmalla olevat näytteet ovat Ojaisilta, oikealla olevat Liedonperältä. Ojaisten maa sisältää todennäköisesti enemmän humusta ja on siksi tummempaa. Putkien pohjalla näkyy selkeästi kiintoaines. (Kuva: Vähä-Pietilä 2014.)

Suodosten mittausta spektrofotometrillä varten kirkasta suodosta pipetoitiin 1,25 ml ja siihen lisättiin 6,25 ml 0,78 N H₂SO₄ ja 5 ml NH₄Mo. Seokseen lisättiin 1,25 ml SnCl₂. Reagenssin vaikutuksesta liukseen muodostuu (sininen) väri 15 minuutin kuluessa. Väri korreloi P-pitoisuuden kanssa. Näytteet mitattiin spektrofotometrillä aallonpituudella 882 nm reagenssin lisäämisen jälkeen. Seuraavaksi valmistettiin standardi-

sarja tunnetuilla P-pitoisuuksilla. Standardisarjan avulla piirrettiin standardisuora, johon vertaamalla saatiin selville näytteiden P-pitoisuudet.

5.3.3 Olsen-P

Olsen-P uutolla mitataan maanäytteestä nk. labiili fosfori. Menetelmä on viljavuusuton tapainen ja sitä käytetään useassa Euroopan maassa lannoitussuosituksen tausta-analyysinä. Uuton periaatteena on, että uuttoliuoksen sisältämät OH^- ja CHO_3^- syrjäyttävät fosforia maahiukkasen pinnalta liuokseen. Emäksisessä bikarbonaattia sisältävässä vesiliuoksessa fosforin kanssa komplekseja muodostavat Al ja Fe saostuvat hydroksideina sekä Ca karbonaateina.

5.4 Tulosten analysointimenetelmät

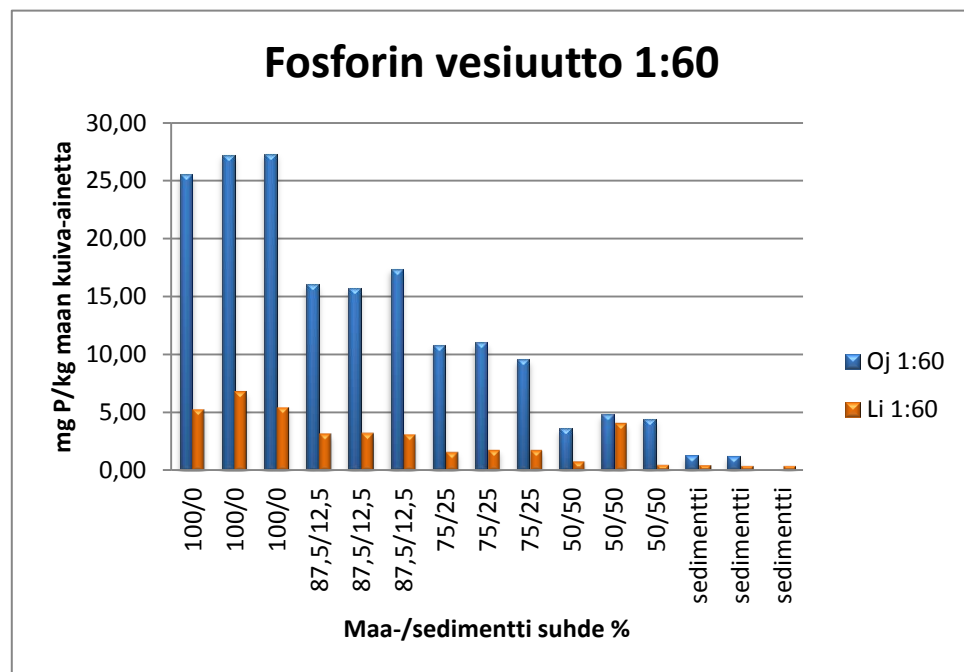
Uuttojen ja mittausten tulokset kirjattiin Excel-ohjelmaan, jonka avulla laskettiin näytteistä uutuneet fosforipitoisuudet. Exceliä käytettiin myös kuiva-aine prosentin laskemisessa; kuinka monta milligrammaa fosforia näytteestä uutui litraa kohden ja uuttojen P-pitoisuus kilogrammassa kuiva-ainetta. NaOH uuttoa varten laskettiin Excelillä standardisarja tunnetuilla P-pitoisuuksilla, jonka perusteella piirrettiin standardisuora. Suoraan vertaamalla saatiin selville, kuinka monta milligrammaa uutteisissa oli fosforia litraa kohden.

6 TULOKSET

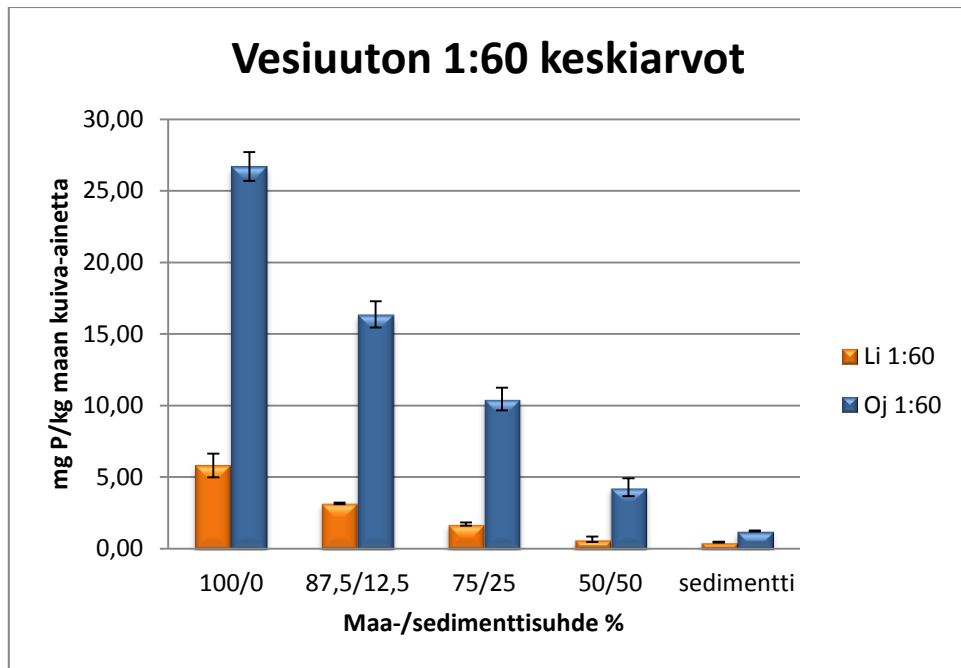
Tutkimushypoteesina oli, että kosteikkosedimentti pidättää fosforia kasvien ulottumattomiin. Inkubointikokeen tulokset tukevat väitettä siitä, että sedimentti sitoo fosforia ja tällä perusteella ovat hyvin linjassa aiempien LASSE-hanketta varten suoritettujen kokeiden kanssa.

Ojaisten maa- ja sedimenttinäytteissä oli huomattavasti enemmän fosforia eri muodoissa kuin Liedonperän näytteissä. Risto Uusitalon (henkilökohdainen tiedonanto 6.3.2014) mukaan Ojaisten suuria fosforipitoisuuksia selittää se, että valuma-alueen peltomaille on levitetty vuosikymmenien ajan runsaasti lantaa läheisiltä navetoilta. Liedonperän peltomaa on hieman syrjemmässä eikä sillä ole esimerkiksi lannanlevityspaikkana keskeistä asemaa.

Vesiuutossa 1:60 (16 h) veteen vapautui fosforia selkeästi eniten maanäyteistä, joissa ei ollut sedimenttiä ollenkaan (kuvio 5). Odotettua oli myös se, että mitä enemmän sedimenttiä maanäytteeseen oli sekoitettu, sitä vähemmän siitä irtosi fosforia. Vesiuutossa keskihajonnat olivat hyvin pieniä (taulukko 2, s 19, kuvio 6, s. 19).



Kuvio 5 Vesiuutto 1:60. Kuinka monta milligrammaa fosforia on kiloa kuiva-ainetta kohden Ojaisten (Oj) ja Liedonperän (Li) näytteissä.

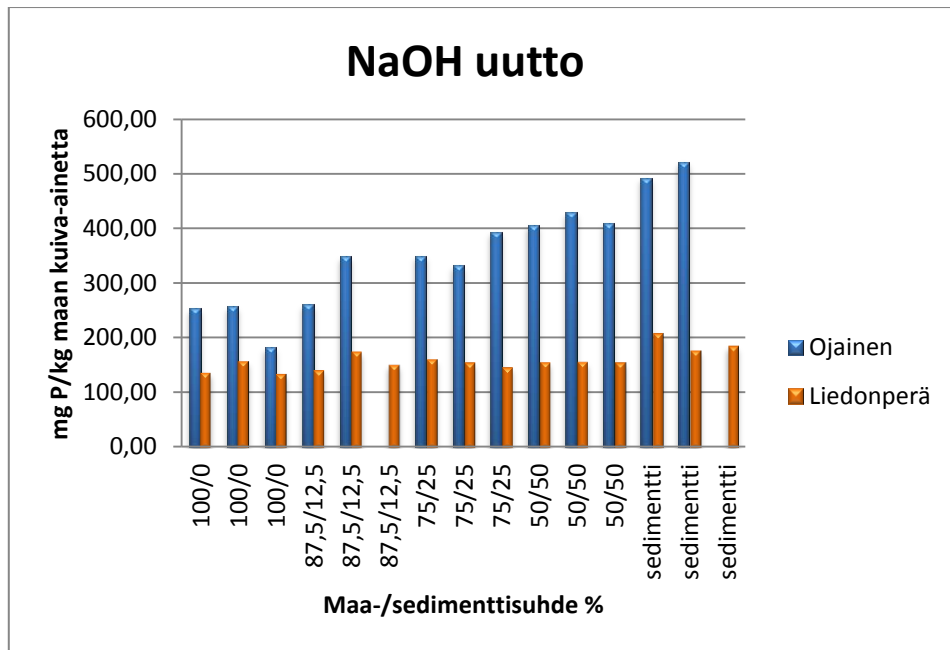


Kuvio 6 1:60 vesiuuton keskiarvot ja keskihajonnat. Liedonperän (Li) näytteistä näyte nro. 23 jätettiin pois keskiarvon laskennasta poikkeuksellisen suuren eroavaisuuden takia. Eroavaisuuden syynä voi olla esimerkiksi maanäytteen rakenne tai koostumus vain jostakin tietystä maa-aineksesta.

Taulukko 2 Vesiuuton 1:60 tulosten keskiarvot ja keskihajonnat Ojaisten ja Liedonperän näytteissä.

Maa/sedimenttisuhte	Keskiarvo	Keskihajonta	Maa/sedimenttisuhte	Keskiarvo	Keskihajonta
Oj 100/0	26,70	1,00	Li 100/0	5,81	0,83
Oj 87,5/12,5	16,37	0,91	Li 87,5/12,5	3,16	0,05
Oj75/25	10,46	0,79	Li 75/25	1,71	0,11
Oj 50/50	4,28	0,62	Li50/50	0,65	0,18
Oj sedimentti	1,24	0,04	Li sedimentti	0,45	0,03

NaOH-uuton avulla saatiin selville hitaasti mobilisoituvan fosforin määrä (kuvio 7, s. 20). Niin kuin vesiuutossakin, natriumhydroksidiuuton tulokset vastaavat odotuksia ja tukevat havaintoa sedimentin fosforin sitomisesta.

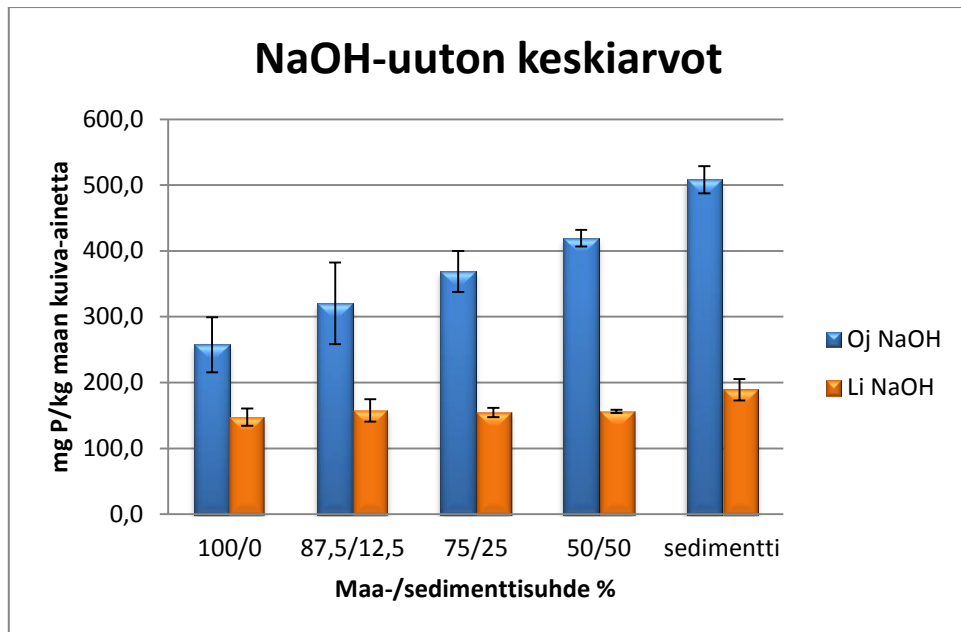


Kuvio 7 NaOH-uutto. Kuinka monta milligrammaa fosforia on kiloa kuiva-ainetta kohden. Uuton tuloksista on vähennetty vesiuuton 1:60 tulokset, jotta saadaan parempi käsitys Fe- ja Al-oksideihin sitoutuneen P:n määrästä.

NaOH uutossa tulosten keskihajonnoissa oli hieman enemmän vaihtelua kuin vesiuutossa (taulukko 3 ja kuvio 8, s 21).

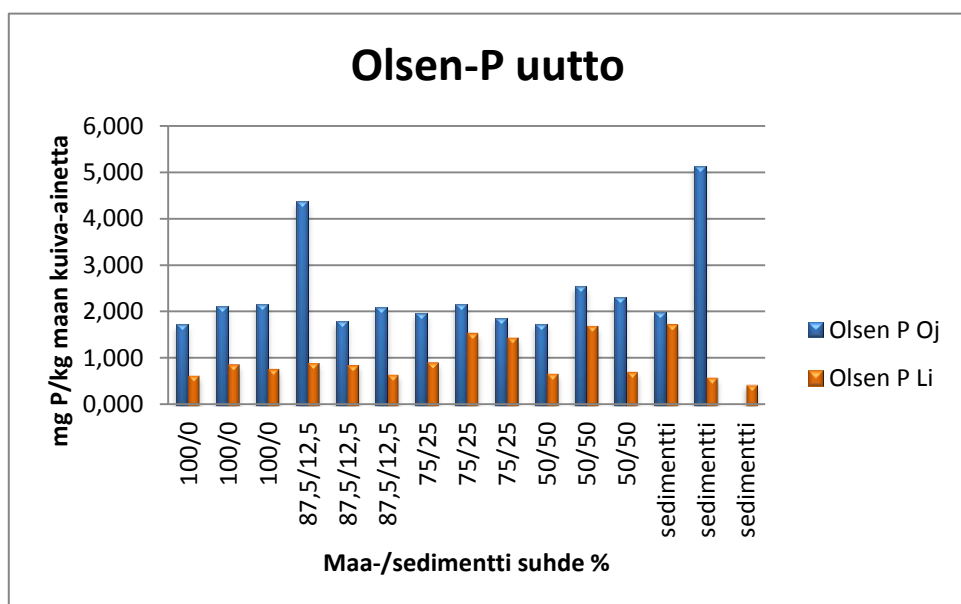
Taulukko 3 NaOH uuton keskiarvot ja keskihajonnat Ojaisten ja Liedonperän näytteissä.

Maa/sedime nttisuhde	Kes- kiarvo	Keski- hajonta	Maa/sedimenttis uhde	Keskiar- vo	Keskiha- jonta
Oj 100/0	257,6	41,86	Li 100/0	147,5	13,32
Oj 87,5/12,5	320,3	61,98	Li 87,5/12,5	157,7	17,18
Oj 75/25	368,8	31,14	Li 75/25	154,5	7,11
Oj 50/50	419,3	12,44	Li 50/50	156,1	2,35
Oj sedi- mentti	508,2	20,58	Li sedimentti	189,0	16,25

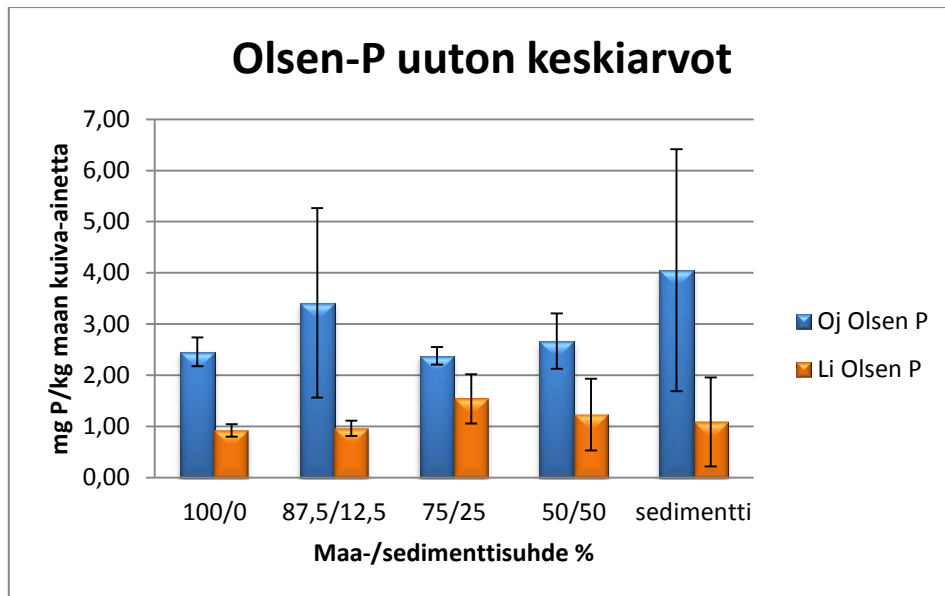


Kuvio 8 NaOH-uuton keskiarvot ja keskihajonnat Ojaisten (Oj) ja Liedonperän (Li) näytteissä.

Olsen-P uutolla mitataan maanäytteestä kasveille käyttökelpoinen labiili fosfori. Tässä kokeessa uutto ei kuitenkaan onnistunut erityisen hyvin, sillä tulosten hajonta oli hyvin suurta, joten se toteutetaan myöhemmin uudestaan jauhetulla maalla (kuvio 9, kuvio 10, s 22 ja taulukko 4 s.22). Tässä uutossa käytettiin maata joka oli vain sekoitettu sedimentin kanssa, eli maata ei ollut jauhettu. Laakson (sähköpostiviesti 25.2.2014.) mukaan on mahdollista, ettei uuttoliuos päässyt pureutumaan koviin muruihin. Uutossa käytettiin työohjeen mukaan erlenmayereita, joissa maata ja uuttoliuosta huiskutettiin tasoravistelijassa. On todennäköistä, etteivät maa ja uuttoneste päässeet kunnolla kontaktiin näissä astioissa, sillä erlenmayereita ei voinut ravistella riittävän voimakkaasti.



Kuvio 9 Olsenin uutun tulokset Ojaisten (Oj) ja Liedonperän (Li) näytteissä.



Kuvio 10 Olsen-P uuton keskiarvot Ojaisten (Oj) ja Liedonperän (Li) näytteissä. Joidenkin näytteiden kohdalla keskihajonnat ovat selkeästi niin suuria, etteivät tulokset ole riittävän luotettavia.

Taulukko 4 Olsen-P uuton keskiarvot ja keskihajonnat Ojaisten ja Liedonperän näytteissä.

Maa-sedimenttisuhte	Keskiarvo	Keskihajonta	Maa-/sedimenttisuhte	Keskiarvo	Keskihajonta
Oj 100/0	2,46	0,28	Li 100/0	0,92	0,12
Oj 87,5/12,5	3,41	1,85	Li 87,5/12,5	0,96	0,15
Oj 75/25	2,38	0,17	Li 75/25	1,54	0,48
Oj 50/50	2,67	0,54	Li 50/50	1,23	0,70
Oj sedimentti	4,05	2,36	Li sedimentti	1,09	0,87

Kokeen tulokset ovat vertailukelpoisia ja toistettavissa. Kosteikkosedimentin fosforin luovutus- ja sitomisominaisuuksia ei ole tähän mennessä tutkittu laajasti, joten tällä hetkellä kaikki tieto on uutta. Tarve lisätutkimuksille on selkeä. Tässä opinnäytetyössä vertailukohtina ovat toimineet TEHO-hankkeen yhteydessä suoritettu astiakoe ja LASSE-hanketta varten suoritettut kokeet.

Sedimenttien suuri fosforinpidätyskyky johtuu todennäköisesti siitä, että sedimenteissä on runsaasti enemmän fosforia pidättäviä raudan- ja alumiinoksidaa kuin valuma-alueiden peltomaissa. Kosteikon pohjalla sedimentissä olosuhteet saattavat muuttua hapettomiksi. Tällöin Fe pelkistyy ja oksidaa liukenee ja niihin sitoutunutta fosforia pääsee vapautumaan veteen. Kun olosuhteet taas muuttuvat hapellisiksi, esimerkiksi sedimentin peltolevityksessä, Fe-oksidi muodostavat uutta pidätyspintaa. Tämä lisää maa-aineksen fosforinsitomiskykyä huomattavasti ja siksi onkin todennäköistä, että myös lannoitefosforia saattaa sitoutua kasvien ulottumattomiin.

7 POHDINTA

7.1 Sedimentin sijoitus ja hyödyntäminen nyt ja tulevaisuudessa

Tämän hetkinen ohjeistus on, että kosteikkoihin ja laskeutusaltaisiin ker-tyvä liete tulisi tyhjentää 2–5 vuoden välein. Tällä hetkellä liete suositel- laan joko läjitettäväksi maastoon tai levitettäväksi pelloille sillä oletuksel- la, että sedimentti toimisi kasvinravinteena. (Puustinen ym. 2007, 69; Ma- vi 2009, 8.)

Tyhjennyksen taajuus on paikkakohtaista ja riippuu luonnollisesti vuosit- ain sedimentoituvan maa-aineksen määrästä. Liete voidaan poistaa kai- vinkoneella tai lietepumpulla aliveden aikana tai jos kosteikko on tyhjen- nettyinä vedestä. Näin taataan, että mahdollisimman vähän kiintoainesta lähtee liikkeelle. (Puustinen ym. 2007, 69; Mavi 2009, 8.) Lietteen ja se- dimentin poistamiseen on olemassa jo kalustoa ja tietotaitoa, ongelmana onkin siis tällä hetkellä ajantasaisen ohjeistuksen puuttuminen.

Inkubointikokeen tulokset kuitenkin viittaavat siihen, että kosteikkosedi- menttiä ei tulisi levittää pelloille, sillä fosforin pidätyspotentiaali on sedi- mentillä merkittävä. Tulokset tukevat aiempia havaintoja siitä, että kos- teikkosedimentti ei sellaisenaan sovellu kasvualustaksi, eikä sen peltolevi- tyksellä saada kasvinravitsemuksellista hyötyä. LASSE-hankkeen tavoit- teena on tuottaa ohje kosteikosta poistettavan sedimentin käytölle. (Yli- Halla ym. 2012, 1, 3.) Uuden ohjeistuksen saaminen on tärkeää, sillä ny- kyisellä menetelmällä voidaan pahimmillaan aiheuttaa juuri päinvastaisia vaikutuksia pellon fosforitalouden kannalta kuin olisi tarkoituksena.

Sedimentille vaihtoehtoisia sijoituspaikkoja voivat olla mm. suojaenke- reet tai karjan ruokintapaikat. Fosforin sitomiskykynsä ansioista fosforilla kyllästyneisiin maihin sijoitettuna sedimentillä voitaisiin vähentää maasta lähtevää fosforikuormitusta ja näin vähentää ravinnehuuhtoutumia. (Yli- Halla ym. 2011, 2.) Lisätutkimuksen tarve sedimentin muista mahdollisista käyttökohteista on ilmeinen.

Vaikka maataloustuen piiriin kuuluvien kosteikkojen kunnostus olikin yk- si tuen ehtoista kaudella 2007–2013, ei ole mahdotonta, että viljelijät, maanomistajat tai muut kosteikon huollosta vastuussa olevat henkilöt me- nettävät kiinnostuksensa kosteikon huoltamiseen, mikäli kunnostus ja huoltotoimenpiteet aiheuttavat kohtuuttoman paljon kustannuksia ja yli- määräistä työtä kosteikosta saataviin hyötyihin nähden. Välinpitämättö- myyttä voi olla myös sellaisia kosteikkoja kohtaan, jotka eivät edellytä minkäänlaisia toimenpiteitä viljelijältä tai maanomistajalta. Oleellista on- kin, että ohjeistus kosteikosta poistettavalle sedimentille olisi käytännön- läheinen ja innostaisi toteuttamaan kunnostus- ja huoltotoimenpiteitä.

Maatalouden tukikaudella 2014–2020 korostetaan erityisesti sekä ravinteiden käytön tehostamisen merkitystä että vesistökuormituksen kontrolloin- nin ja vähentämisen tärkeyttä. Kosteikot on sisällytetty uuteen ohjelma- luonnokseen hyvin mukaan ja niiden merkitystä biodiversiteetille, vesien-

suojelulle ja maatalousalueen monipuolisuudelle on nostettu esiin. (Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelma 2013, 87,88.)

Sedimentin tehokas hyödyntäminen ja sillä potentiaalisesti aikaan saatava maiden parannus ja P-kuormituksen vähentäminen tähtäävät suoraan maataloustukiohjelman vesistönsuojelun tavoitteisiin.

7.2 Opinnäytetyöprosessi

Aloitin opinnäytetyöprosessin tammikuussa 2014 aiheeseen perehtymisellä ja työn sisällön suunnittelulla. Aiheen rajaus oli alusta asti selkeä ja yksinkertainen mikä helpotti suuresti opinnäytetyön tekemistä. Työn tekemiseen aikaa kului vajaa kolme kuukautta, eli tavoiteaikataulu toteutui hyvin. Työn tekeminen tuntui jouhevalta mielenkiintoisen aiheen ansiosta. Aikataulun toteutumiseen vaikutti paljon myös se, että työhön kuulunut inkubointikoe ja uutot sujuivat hyvin ilman ongelmia tai virheitä, jotka olisivat voineet vaatia koko inkuboinnin aloittamista uudelleen.

Aloitin varsinaisen työn tekemisen etsimällä sopivia lähdemateriaaleja ja tutustumalla teoriaan. Inkubointikokeen ollessa käynnissä kirjoitin teoriaosuutta, jotta voisin kokeen ja uuttojen valmistuttua perehtyä suoraan tulosten tarkasteluun, analysointiin ja raportointiin.

Koen, että aikaisempi työharjoitteluni MTT:llä oli minulle suureksi hyödyksi laboratoriossa ja näytteiden parissa työskennellessä. Opinnäytetyötä varten toteutetun inkubointikokeen ja siihen liittyvien analyysien hahmottaminen ja kokonaiskuvan luominen oli paljon selkeämpää, kuin mitä se olisi ollut jos minulla ei olisi ollut minkäänlaista kokemusta laboratoriotyöskentelystä.

Opinnäytetyöni ansioista pääsin tutustumaan syvällisemmin tutkimuksen tekemiseen, tutkimusprosessin eri vaiheisiin ja eri tutkimusmenetelmiin. Oli erittäin mielenkiintoista työskennellä LASSE-hankkeen tutkijoiden kanssa, sillä koin oppivani paljon myös sellaista, joka ei suoranaisesti opinnäytetyöhöni liittynyt. Innostavaa oli myös se, että tutkimusaihe on hyvin ajankohtainen, sillä aikaisempaa tutkimusta maatalouskosteikkosedimentin fosforinluovutus- tai sitomisominaisuuksista ei juuri ole.

Opinnäytetyöprosessi oli erittäin opettavainen kokemus. Erityisesti opinnäytetyön teoriaosuuden ansiosta sain valtavasti uutta ja syventävää tietoa kosteikkosedimentin ominaisuuksista ja fosforin eri olomuodoista, liikkumisesta ja reaktioista. Teorian lisäksi käytännön kokemusta karttui myös Excel-tilustelutaulukko-ohjelman käytössä sekä tiedonhaussa.

En kokenut erityisiä suuria haasteita työn aikana, mutta koen olleeni erittäin hyvin valmistautunut työn tekemiseen ja ottanut huomioon aiemmin opinnäytetyötä tekevien kanssaopiskelijoiden jakamia kokemuksia. Opinnäytetyöseminaareihin osallistuminen oli hyvin omaan työhön valmentavaa; muiden kokemusten pohjalta oli helppoa kartoittaa niin riskejä kuin mahdollisuuksiakin.

LÄHTEET

- Aitto-oja, S., Rautiainen, M., Alhainen, M., Svensberg, M., Väänänen, V.-M., Nummi, P. & Nurmi, J. n.d. Riistakosteikko-opas. Metsästäjien keskusjärjestö. Pohjanmaan riistanhoitopiiri. Helsingin yliopisto. Vantaa: Multiprint Oy.
- BirdLife Suomi. N.d. Uhanalaiset linnut. Viitattu 4.3.2014 <http://www.birdlife.fi/suojelu/lajit/uhex/>
- Draft international standard ISO/DIS 14238. 2011. International Organization for Standardization.
- Gregory, P. J. & Nortcliff, S. 2013. Soil Conditions and Plant Growth. Wiley-Blackwell. Printed and bound in Malaysia by Vivar Printing Sdn Bhd.
- Hagelberg, E., Karhunen, A., Kulmala, A., Larsson, R. & Lundström, E. 2012. Käytännön kosteikkosuunnittelu. TEHO-hankkeen julkaisuja 1/2012, pdf-tiedosto. Viitattu 14.2.2014. www.ymparisto.fi/download/noname/%7B82026A72-8B6B-4ECC-A6F4-22ADC373F20D%7D/54557
- Hartikainen, H. & Peltovuori, T. 2002. Fosforin liikkuminen ja reaktiot maaperässä. Suomen maataloustieteellinen seura, pdf-tiedosto. Print ISBN 951-9041-46-X. Viitattu: 30.1.2014. <http://www.smts.fi/MTP%20julkaisu%202002/esit/61hartikainen.pdf>
- Heikkinen, J. 2011. Kosteikkosedimentin fosforivarat ja niiden käyttökelpoisuus kasveille. Pro gradu -työ, pdf-tiedosto. Viitattu 23.1.2014. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/27240/Heikkinen.pdf?sequence=1>
- Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A & Kemppainen, E. 1992. Maa, viljely ja ympäristö. Helsinki: WSOY
- Hilli, T. 1999. Laskeutusallas peltoviljelystä tulevan fosforikuormituksen vähentäjänä. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto. Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos / limnologia.
- Koskiaho, J. 2012. Monivaikutteisen kosteikon perustaminen II – Kosteikkojen puhdistusmekanismit, suunnittelu ja mitoitus. Ravinnehuuttoutumien vähentäminen ja monimuotoisuuden lisääminen, teemana kosteikot – opintojakson verkkoaineisto. Hämeen ammattikorkeakoulu, Moodle. Viitattu 29.1.2014. <https://moodle.hamk.fi/>
- Laakso, J. 25.2.2014. Uutoista. Vastaanottaja Hanna-Maria Vähä-Pietilä. Sähköpostiviesti. Viitattu 4.3.2014.
- Laakso, J., Uusitalo, R. & Yli-Halla, M. 2014. Laskeutusallas-kosteikosta poistettavan sedimentin peltolevitys – Onko maatalouden kosteikkosedimentistä vapautuva helppoliukoinen fosfori.

mentin fosforista kasvinravinteeksi? Maataloustieteen Päivät 2014. Verkkojulkaisu. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 30. Toim. Mikko Hakojärvi ja Nina Schulman. Viitattu 10.3.2014. www.smts.fi. ISBN 978-951-9041-58-2.

Laakso, J., Yli-Halla, M. & Uusitalo, R. 2014. Maatalouskosteikoiden sedimentistä jopa haittaa peltoon levitettynä. Maaseudun tulevaisuus. 22.1.2014.

Maaseutuvirasto, 2009. Monivaikutteisen kosteikon perustaminen ja hoito, pdf-tiedosto. Viitattu 27.1.2014. [http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomak-keet/viljeliija/Documents/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tuen%20erityistukien%20oppaat%202007%20ja%202009/YE%20opas%20Monivaikutteisen%20kosteikon%20perustaminen%20ja%20hoito%202009.pdf](http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/viljeliija/Documents/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tuen%20erityistukien%20oppaat%202007%20ja%202009/YE%20opas%20Monivaikutteisen%20kosteikon%20perustaminen%20ja%20hoito%202009.pdf)

Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma 2014–2020 luonnos. 2013. Maa- ja metsätalousministeriö. Maaseudun kehittämissyksikkö. Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahasto: Eurooppa investoi maatalousalueisiin. Viitattu 20.3.2014. http://www.mmm.fi/attachments/maaseutu/6GmtwvOAI/Luonnos_Manнер-Suomen_maaseudun_kehittamisohjelmaksi_2014-2020_KICK_OFF-Versio_final_pienennetty.pdf

Pietiläinen, O-P. ja Räike, A. 1999. Typpi ja fosfori Suomen sisävesien minimiravinteina. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Oy Edita Ab.

Puustinen, M., Koskiahho, J., Jormola, J., Järvenpää, L., Karhunen, A., Mikkola-Roos, M., Pitkänen, J., Riihimäki, J., Svensberg, M. & Vikberg, P. 2007. Maatalouden monivaikutteisten kosteikkojen suunnittelu ja mitoitus. Suomen ympäristö 21, pdf-tiedosto. Viitattu 27.2.2014. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38401/SY_21_2007.pdf?sequence=3

Rekolainen, S., Kauppi, L. & Turtola, E. 1992. Maatalous ja vesien tila. Maveron loppuraportti. Luonnonvarainneuvosto, Maa- ja metsätalousministeriö. Luonnonvarajulkaisu 15. Helsinki: Kajoprint Oy.

Salonen, S., Frisk, T., Kärmeniemi, T., Niemi, J., Pitkänen, H., Silvo, K. & Vuoristo, H. 1992. Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjinä – vaikutusten arviointi. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A. Helsinki.

Tanner, C. C. & Sukias, J. 2011. Multiyear Nutrient Removal Performance of Three Constructed Wetlands Intercepting Tile Drain Flows from Grazed Pastures. Journal of Environmental Quality. Volume 40. March-April.

Uusi-Kämpä, J. & Kilpinen, M. 2000. Suojakaistat ravinnekuormituksen vähentäjänä. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja sarja A 83, pdf-tiedosto. Viitattu 23.1.2014. <http://jukuri.mtt.fi/bitstream/handle/10024/440037/asarja83.pdf?sequence=1>

Uusitalo, R. Henkilökohtainen tiedonanto. 6.3.2014. MTT, Jokioinen.

Yli-Halla, M., Laakso, J. ja Uusitalo, R. 2012. Laskeutusallas-kosteikosta poistettavan sedimentin peltolevitys (LASSE). Hankkeen tilannekatsaus ja jatkohakemus Makeralle. Dnro 1945/312/2011.

Yli-Halla, M., Nykänen, A., Siimes, K. ja Tuhkanen, H-R. 2001. Ympäristötuksen ehdot ja maan helppoliukoisen fosfori pitoisuus. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja sarja A 77. Jyväskylän yliopistopaino.

Ylivainio, K., Esala, M. & Turtola, E. 2002. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn typpi- ja fosforihuuhtoumat – kirjallisuuskatsaus. Maa- ja elintarviketalous 12, pdf-tiedosto. Viitattu 23.1.2014. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met12.pdf>

Ympäristö nyt. Lounais-Suomen ympäristön tila ja seuranta. Maatalouden fosforitase. Viitattu 13.3.2014. <http://ymparisto.lounaispaikka.fi/fi/indikaattorit/?id=44>

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2014. Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnon huuhtouma. Viitattu 27.1.2014. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_ravinnekuormitus_ja_luonnon_huuhtouma

Näytteiden kuiva-aine

näyte	putken nro	upokas	kostea maa	kuiva maa +upokas	kuiva maa /kostea maa
Oj 100 (100/0)	1	21,165	1,019	21,984	0,804
Oj 100 (100/0)	2	21,162	1,416	22,319	0,817
Oj 100 (100/0)	3	21,616	1,394	22,752	0,815
Oj87,5 (87,5/12,5)	4	21,255	1,289	22,272	0,789
Oj87,5 (87,5/12,5)	5	20,772	1,873	22,319	0,826
Oj87,5 (87,5/12,5)	6	21,524	2,227	23,364	0,826
Oj75 (75/25)	7	20,651	1,694	22,115	0,864
Oj75 (75/25)	8	19,374	1,159	20,338	0,832
Oj75 (75/25)	9	20,682	2,006	22,314	0,814
Oj50 (50/50)	10	21,016	1,508	22,282	0,840
Oj50 (50/50)	11	20,719	2,154	22,485	0,820
Oj50 (50/50)	12	21,77	1,808	23,24	0,813
Li100 /100/0)	13	21,024	2,349	22,891	0,795
Li100 /100/0)	14	21,653	1,23	22,686	0,840
Li100 /100/0)	15	21,492	1,757	22,963	0,837
Li87,5 (87,5/12,5)	16	21,21	1,558	22,499	0,827
Li87,5 (87,5/12,5)	17	20,591	1,631	22,004	0,866
Li87,5 (87,5/12,5)	18	20,668	1,154	21,625	0,829
Li75 (75/25)	19	21,184	1,2	22,297	0,928
Li75 (75/25)	20	21,529	1,528	22,78	0,819
Li75 (75/25)	21	21,811	1,465	23,008	0,817
Li50 /50/50)	22	21,884	1,15	22,832	0,824
Li50 /50/50)	23	21,477	1,764	22,937	0,828
Li50 /50/50)	24	21,46	2,092	23,244	0,853
Oj sedimentti	25	20,765	1,683	22,173	0,837
Oj sedimentti (½)	26	21,145	0,705	21,778	0,898
Li sedimentti	27	21,266	1,791	22,743	0,825
Li sedimentti	28	20,999	1,493	22,306	0,875
Li sedimentti	29	20,325	2,073	22,155	0,883
sokea		0			

Vesiututto 1:60 16 h

näyte	putken nro	uuttoon punnit- tu	kuiva- ainetta	Mitattu pitoisuus mg P/l	mg P/kg maan kuiva- ainetta
Oj 100 (100/0)	1	1,227	0,986176	0,42	25,55
Oj 100 (100/0)	2	1,205	0,984594	0,447	27,24
Oj 100 (100/0)	3	1,21	0,986055	0,449	27,32
Oj87,5 (87,5/12,5)	4	1,27	1,002009	0,268	16,05
Oj87,5 (87,5/12,5)	5	1,266	1,04565	0,273	15,66
Oj87,5 (87,5/12,5)	6	1,219	1,007167	0,292	17,40
Oj75 (75/25)	7	1,211	1,046579	0,188	10,78
Oj75 (75/25)	8	1,235	1,027213	0,189	11,04
Oj75 (75/25)	9	1,258	1,023458	0,163	9,56
Oj50 (50/50)	10	1,211	1,016662	0,061	3,60
Oj50 (50/50)	11	1,229	1,00762	0,081	4,82
Oj50 (50/50)	12	1,203	0,978103	0,072	4,42
Li100 /100/0)	13	1,251	0,994303	0,087	5,25
Li100 /100/0)	14	1,226	1,029641	0,116	6,76
Li100 /100/0)	15	1,218	1,019737	0,092	5,41
Li87,5 (87,5/12,5)	16	1,219	1,008531	0,053	3,15
Li87,5 (87,5/12,5)	17	1,228	1,063865	0,057	3,21
Li87,5 (87,5/12,5)	18	1,233	1,022514	0,053	3,11
Li75 (75/25)	19	1,225	1,136188	0,03	1,58
Li75 (75/25)	20	1,23	1,007022	0,03	1,79
Li75 (75/25)	21	1,209	0,987831	0,029	1,76
Li50 /50/50)	22	1,216	1,002407	0,013	0,78
Li50 /50/50)	23	1,255	1,038719	0,07	4,04
Li50 /50/50)	24	1,224	1,043793	0,009	0,52
Oj sedimentti	25	1,247	1,043242	0,022	1,27
Oj sedimentti (½)	26	1,268	1,138502	0,023	1,21
Li sedimentti	27	1,215	1,001985	0,008	0,48
Li sedimentti	28	1,249	1,093398	0,008	0,44
Li sedimentti	29	1,275	1,125543	0,008	0,43
sokea				0,007	

NaOH-uintto (Chang & Jackson)

näyte	putken nro	punnittu		Mitattu		mg P/kg maan kuiva- ainetta	(kerroin 625 menetelmästä)
		maa	kuiva-ainetta	absorbanssi	mg P/l		
Oj 100 (100/0)	1	1,245	1,000642787	0,167	0,446509158	278,9	
Oj 100 (100/0)	2	1,215	0,992764831	0,169	0,451818423	284,4	
Oj 100 (100/0)	3	1,208	0,984424677	0,123	0,329705336	209,3	
Oj87,5 (87,5/12,5)	4	1,211	0,955459271	0,158	0,422617467	276,4	
Oj87,5 (87,5/12,5)	5	1,259	1,039868126	0,227	0,605787098	364,1	
Oj87,5 (87,5/12,5)	6	1,29	1,065828469			0,0	
Oj75 (75/25)	7	1,226	1,059541913	0,229	0,611096363	360,5	
Oj75 (75/25)	8	1,218	1,013073339	0,208	0,555349084	342,6	
Oj75 (75/25)	9	1,225	0,996610169	0,241	0,642951951	403,2	
Oj50 (50/50)	10	1,273	1,068712202	0,263	0,701353862	410,2	
Oj50 (50/50)	11	1,224	1,003520891	0,261	0,696044598	433,5	
Oj50 (50/50)	12	1,242	1,009811947	0,251	0,669498274	414,4	
Li100 /100/0)	13	1,233	0,979996169	0,082	0,22086541	140,9	
Li100 /100/0)	14	1,216	1,021242276	0,099	0,26599416	162,8	
Li100 /100/0)	15	1,217	1,018899829	0,084	0,226174675	138,7	
Li87,5 (87,5/12,5)	16	1,232	1,019286264	0,087	0,234138572	143,6	
Li87,5 (87,5/12,5)	17	1,226	1,062132434	0,112	0,30050438	176,8	
Li87,5 (87,5/12,5)	18	1,221	1,012562392	0,092	0,247411733	152,7	
Li75 (75/25)	19	1,202	1,114855	0,107	0,287231218	161,0	
Li75 (75/25)	20	1,215	0,994741492	0,092	0,247411733	155,4	
Li75 (75/25)	21	1,233	1,007440956	0,088	0,236793204	146,9	
Li50 /50/50)	22	1,248	1,028786087	0,095	0,25537563	155,1	
Li50 /50/50)	23	1,215	1,005612245	0,095	0,25537563	158,7	
Li50 /50/50)	24	1,213	1,034413002	0,095	0,25537563	154,3	
Oj sedimentti	25	1,226	1,025673203	0,304	0,810193788	493,7	
Oj sedimentti (½)	26	1,206	1,082834043	0,34	0,905760552	522,8	
Li sedimentti	27	1,206	0,994562814	0,123	0,329705336	207,2	
Li sedimentti	28	1,295	1,133667113	0,119	0,319086806	175,9	
Li sedimentti sokea	29	1,249	1,102590449	0,121	0,324396071	183,9	
				0,014	0,040350411		

Maatalouden kosteikkosedimentistä vapautuva helppoliukoinen fosfori.

NaOH standardisuora

P mg/l	mitattu absorbanssi
0	0
0,2	0,072
0,4	0,15
0,6	0,225
0,8	0,301
1	0,375

ratkaistaan yhtälöstä $x=(Y+0,0012)/0,3767$

