

**OLKIBIOSUODIN MAATALOUDEN RAVINNEHUUHTOUTUMIEN
VÄHENTÄMISESSÄ JA RAVINNEKIERRON TEHOSTAMISESSA**



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Hämeenlinna, Bio- ja elintarviketekniikka

Kevät 2017

Piritta Lohela

Bio- ja elintarviketekniikka
Visamäki

Tekijä	Piritta Lohela	Vuosi 2017
Työn nimi	Olkibiosuodin maatalouden ravinnehuuhtoutumien vähentämisessä ja ravinnekierron tehostamisessa	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää olkibiosuodinkäsittelyn vaikutusta ojaveden ravinnepitoisuuksiin sekä oljen toimivuutta suodinkäytössä. Työ oli osa Ravinteet pellossa vaan ei vesistöön -hanketta (Ravinneresurssi). Tutkimus toteutettiin Mustialan opetus- ja tutkimusmaatilalla läpi virtaavassa Riuskanojassa.

Maatalous on suurin yksittäinen ihmisten aiheuttama vesistöjen ravinnekuormittaja ja monenlaisia menetelmiä ravinteiden huuhtoutumisen vähentämiseksi tai kiinniottamiseksi on kehitetty ja kehitteillä. Tärkeimmät huomioitavat ravinteet ovat typpi ja fosfori. Biosuotimia on tutkittu yhtenä edullisena ja ekologisena vaihtoehtona maatalouden erilaisten ravinnevalumien sitomisessa. Eloperäisten biosuodinmateriaalien hyötynä on niiden itsessään sisältämät ravinteet biofilmin kasvun edistäjänä sekä niiden jatkohyödyntämisen mahdollisuus.

Työssä testattiin erilaisia olkibiosuodintratkaisuja, ravinteiden sitoutumista olkimateriaaliin ja vaikutusta ojan ravinnepitoisuuksiin. Koejaksojen kesto vaihteli kahdesta kuuteen viikkoon. Tutkittiin myös olkibiosuotimen käyttöä työnaikaisessa kiintoaineksen keruussa.

Työn aikana saatiin kehitettyä toimiva olkibiosuodintratkaisu, jossa oli riittävän hyvä läpivirtaama. Olkibiomassan analyysitulokset osoittivat, että typpeä oli kertynyt suodinmassaan. Olkibiosuotimella ei todettu kuitenkaan selvää vaikutusta ojaveden ravinnepitoisuuksiin. Työnaikaisen kiintoaineksen keruukokeesta saatujen lupaavien tulosten perusteella olkibiosuodin on kiinnostava ratkaisu jatkotutkimuksia ajatellen.

Avainsanat Biosuodin, huuhtoutuminen, biofilmit, olki.

Sivut 34 sivua

Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering
Visamäki

Author	Piritta Lohela	Year 2017
Subject	Straw bio filter in reducing nutrient leach of agriculture and helping in nutrient recycling	

ABSTRACT

The aim of this Bachelor's thesis was to investigate the effect of straw bio filter processing for the levels of nutrients in the stream water and the performance of the straw in the filter use. The thesis was part of the project called Nutrients in the field but not in the water system -project. The research was conducted in the stream Riuskanoja that runs through Mustiala teaching and research farm.

Agriculture is the single largest human-induced nutrient load of waters. A wide range of methods in order to reduce nutrient leaching or capturing them have been developed and are being developed. The most important nutrients to be considered are nitrogen and phosphorous. Bio filters have been examined as an inexpensive and ecological option to capture various type of nutrient leaching of agriculture. The benefits of organic bio filter materials are the nutrients contained in them to provide for the exploitation of the biofilm growth and possibility of further exploitation of the material.

A variety of straw bio filter solutions, bonding of the nutrients to the straw and the effect of the filter on the nutrient levels in the ditch were studied. The duration of the trial periods ranged from two to six weeks. The use of straw bio filters in capturing solids released during the study was also examined.

As a result of the thesis a functional straw bio filter solution was developed, with a sufficiently better perfusion. The results of the straw biomass analysis showed that there was nitrogen bonding to the filter mass. However, the straw bio filter was not found to have an obvious impact on the nutrient concentration of the steam water. On the basis of the results obtained from the test using straw bio filters in capturing solids, the straw bio filter is an interesting application for further examination.

Keywords Biofilter, leaching, biofilm, straw.

Pages 34 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	MAATALOUDEN RAVINNEHUUHTOUMAT	2
2.1	Typen huuhtoutuminen	2
2.2	Fosforin huuhtoutuminen	3
2.3	Ravinteiden huuhtoutumisen vähentäminen	4
3	ELOPERÄISET SUODINMATERIAALIT.....	5
3.1	Olki.....	5
3.2	Muita eloperäisiä suodinmateriaaleja	6
3.3	Suodatinratkaisuja.....	7
4	BIOFILMI	8
4.1	Biofilmin muodostuminen.....	9
4.2	Biofilmin kehityskaari	10
5	KOKEELLINEN OSIO	11
5.1	Alustavat kokeet.....	11
5.2	Koejärjestelyt	14
5.3	Olkinäytteiden analyysit.....	19
5.4	Vesinäytteiden analyysit	19
5.5	Online mittaukset.....	19
6	OLKIBIOSUOTIMEN TEHO RAVINTEIDEN JA KIINTOAIKSEN KERUUSSA.....	19
6.1	Sääolot koejakson aikana	19
6.2	Muutokset olkibiosuotimissa	20
6.3	Online-mittausten tuloksia.....	22
6.4	Muutokset vesinäytteissä kokeen ensimmäisessä vaiheessa.....	25
6.5	Työnaikainen kiintoaineksen keruu	25
6.6	Muutokset vesinäytteissä kokeen mylläysvaiheessa	28
6.7	Ongelmatarkastelu	29
7	POHDINTA.....	30
7.1	Oljen käyttömahdollisuus ravinteiden keruussa jatkuvatoimisesti	30
7.2	Oljen käyttömahdollisuus työnaikaisessa kiintoaineksen keruussa	30
	LÄHTEET	32

1 JOHDANTO

Suomi on sitoutunut vähentämään vesistöjen ravinnekuormituksia ja maatalous on niiden suurin yksittäinen aiheuttaja. Typpi- ja fosforikuormitus ovat suurimpia tekijöitä vesien rehevöitymisessä. Kasvukaudella biomassalla sitoo itseensä pellolle levitettäviä ja siellä jo olevia ravinteita, mutta esimerkiksi yllannoitus, runsaat sateet, kasvipeitteen puuttuminen ja voimakas muokkaus lisäävät ravinteiden huuhtoutumisen riskiä. (Lamminparras 2013, 4, 10–13.)

Vesistöjen rehevöitymisen lisäksi viime vuosien aikana on puhuttu myös ravinteiden kierrätyksestä (Lamminparras 2013, 4). Ravinnekiertoa voidaan tehostaa esimerkiksi kerääjäkasveilla tai biosuotimilla, jotka voidaan kyntää peltoon seuraavan kasvukauden alussa tai käyttää muuten hyödyksi maataloudessa esimerkiksi katteina (HAMK n.d.).

Tämä työ oli osa Hämeen ammattikorkeakoulun, Luken, Helsingin Yliopiston ja Etelä-Suomen Salaojakeskuksen yhteistä Ravinteet pellossa vaan ei vesistöön -hanketta (Ravinneresurssi) (2015–2017). Hanke kuuluu Ympäristöministeriön RaKi-ohjelmaan (<http://www.ym.fi/ravinteidenkierratys>). Hankkeen taustana on lupaus tehdä Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa. Ravinteiden kierrätysaste on heikentynyt Suomessa maatalouden alueellisen erikoistumisen vuoksi (Lamminparras 2013, 4). Hankkeen tärkein tavoite on ravinteiden kierrätyksen tehostamiseen ja vesistöihin valuvien ravinnekuormien ehkäisy, etenkin typen ja fosforin osalta, jotka ovat vesistöjen rehevöitymisen kannalta tärkeimpiä huomioitavia ravinteita. Menetelmiä vesistöjen ravinnekuormituksen ehkäisyyn tarvitaan myös sisämaassa eikä pelkästään rannikkoalueilla. Hankkeen tavoitteena on myös tuottaa maataloilta suoraan käyttökelpoisia ratkaisuja, jakaa tietoa ravinteiden kierrätyksestä ja vesiensuojelusta sekä aktivoida maanviljelijöitä käyttämään niihin liittyviä menetelmiä. Hankkeen osa-alueita ovat kerääjäkasvit, olkibiosuotimet ja säätösalaajitus. (HAMK n.d.)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää olkibiosuodinkäsittelyn vaikutusta valumavesien ravinnekiteisyyteen analysoimalla ja mittaamalla olkeen sitoutuneiden typen ja fosforin määriä sekä oljen toimivuutta suodinkäytössä. Näiden tulosten ohella seurattiin myös Riuskanojan asennettujen online-mittareiden tuottamaa dataa ojassa tapahtuneista muutoksista. (HAMK n.d.)

2 MAATALOUDEN RAVINNEHUUHTOUMAT

Maatalous on suurin yksittäinen ihmisen aiheuttama vesistöjen ravinnekuormittaja (Kipinä-Salokannel 2013, 2). Verrattuna metsämaastoon peltoalueilla yksittäiset tapahtumat, kuten sade, pystyvät vaikuttamaan nopeasti alueella olevien ojien virtaamaan ja lisäämään voimakkaasti veden sameutta, kiintoaineksen määrää ja fosforipitoisuutta (Valkama 2014, 2).

Kasvukaudella biomassa sitoo ravinteita itseensä (Hartikainen 2013, 3), joten ravinteiden huuhtoutuminen silloin on helpommin hallittavissa. Suurin osa vesistökuormituksista tulee kasvukauden ulkopuolella, jonne vesiensuojelutoimenpiteet olisi hyvä keskittää (Kipinä-Salokannel 2013, 4). Kasvukauden ulkopuolella tulevia maatalouden ravinnekuormituksia on vaikea paikantaa ja hallita, sillä niihin vaikuttavat esimerkiksi maaston kaltevuus, maalaji, kasvipeitteisyys sekä sää (Lamminparras 2013, 11).

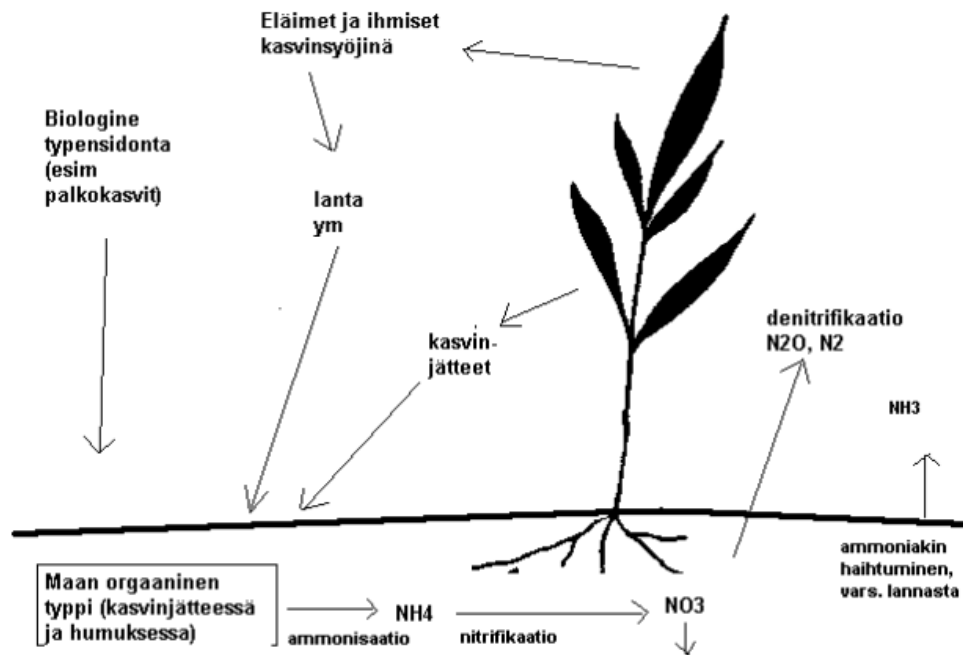
Savimailla eroosioriski on suuri ja niistä ravinteet kulkeutuvat pääasiassa maa-aineksen mukana vesistöihin (Lamminparras 2013, 11).

Pellon ominaisuudet ja viljelytoimenpiteet vaikuttavat ravinteiden huuhtoutumiseen (Valkama 2014, 2). Keinoja huuhtoutumisen vähentämiseen ovat esimerkiksi tarpeenmukainen lannoitus, syysmuokkauksesta luopuminen, kevennetty muokkaus, talviaikainen kasvipeite, suojakaistat, viljelyn monipuolistaminen, alus- ja kerääjäkasvien käyttö, peltojen vesitalouden säätö sekä monivaikutteisten kosteikkojen perustaminen ja hoito. Myös tilakohtainen neuvonta olisi tärkeää. Ravinnekiertoa tehostamalla voitaisiin myös vähentää ravinteiden joutumista vesistöihin. (Lamminparras 2013, 4, 11–13.)

2.1 Typen huuhtoutuminen

Typpeä esiintyy maaperässä sen eloperäiseen ainekseen sitoutuneena orgaanisena typpinä sekä mineraalimuotoisina ammonium- (NH_4^+) ja nitraattityppinä (NO_3^-) (Kuva 1., s. 3). Orgaaninen muoto on yleisin typen esiintymismuoto maaperässä. Kasvit eivät pysty suoraan hyödyntämään orgaanista typpeä vaan sen on ensin muututtava ammonium- tai nitraattitypeksi. Orgaanisen typen vapautumista mikrobiologisessa hajotustoiminnassa ammoniakkina tai ammoniumina kutsutaan mineralisaatioksi ja ammoniumin hapettumista nitraattitypeksi kutsutaan nitrifikaatioksi. (Hartikainen 2013, 6–14; Laurila & Saarinen 2014, 15.)

Typpeä poistuu maaperästä kasvien mukana, huuhtoutumalla ja haihtumalla. Haihtuvat typen muodot ovat typpikaasu (N_2) ja typen oksidit (NO ja N_2O), joita muodostuu mikrobiologisessa denitrifikaatiossa matalissa tai hapettomissa olosuhteissa. Typpeä voi haihtua myös ammoniakkina. (Laurila & Saarinen 2014, 16.)



Kuva 1. Typen kierto (Pekkarinen n.d.).

Hiili-typin suhde sekä monet muut ympäristötekijät vaikuttavat typen mineralisaatioon. Korkea hiili-typin suhde voi aiheuttaa epäorgaanisen typen sitoutumista ja matala typen vapautumista. Typpi hapettuu herkästi maaperässä nitraattityppimuotoon (NO_3^-), joka on helposti huuhtoutuva. Nitraattityppi liikkuu maanesteessä vapaasti, jos kasvit eivät saa sidottua typpeä itseensä, se huuhtoutuu herkästi valumavesien mukana tai maan syvempiin kerroksiin kasvien juurten ulottumattomiin. (Hartikainen 2013, 6–14; Laurila & Saarinen 2014, 15–16.)

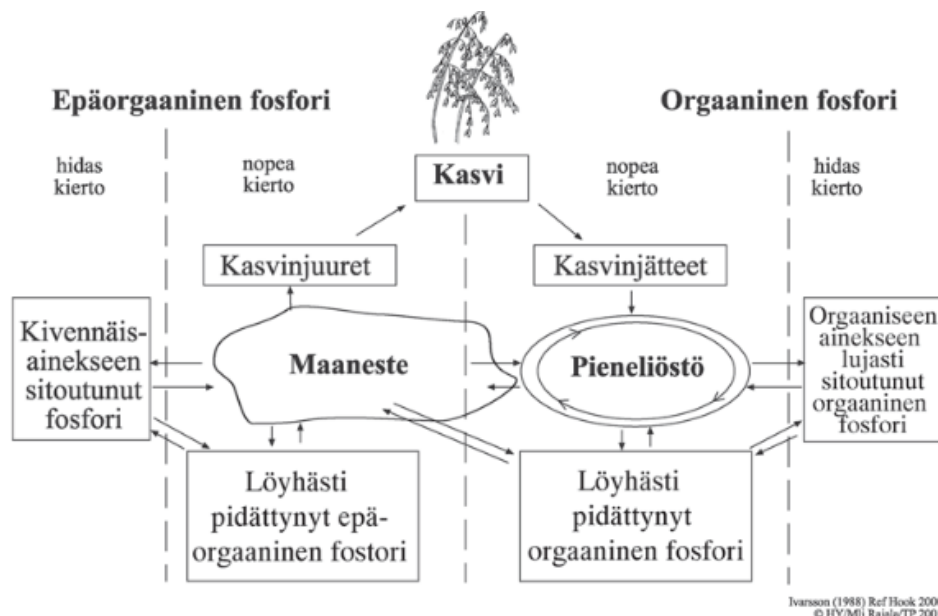
Typen huuhtoutumiseen vaikuttavat sademäärät, lannoitemäärät ja -aineet, maalaji, pohjaveden korkeus, viljelysystemi ja viljelykasvi (Hartikainen 2013, 14).

2.2 Fosforin huuhtoutuminen

Vesistöjen fosforikuormitukseen vaikuttavat maatyypin (mineraali/organinen), maalaji (oksidien määrä), maan rakenne (veden liikkuminen), sääolot, fosforin kemiallinen muoto ja sitoutuneisuus sekä alueen lannoitushistoria (Hartikainen 2013, 28). Suojavyöhykkeet ovat myös tärkeitä ravinnekuormituksen vähentämisessä. 30–40 % fosforikuormituksesta ja jopa 60 % eroosiosta voidaan torjua niiden avulla. (Lamminparras 2013, 15.)

Humus edistää fosforin biosaattavuutta, mutta hienojakoisissa maissa fosfori pidättyy tehokkaasti, jolloin lannoitustarve voi kasvaa, jotta kasveilla olisi riittävästi käyttökelpoista fosforia. Voimakkaasti maa-ainekseen sitoutunut fosfori voi lisätä eroosiosta johtuvaa vesistökuormitusta. (Valkama 2014, 6–7; Hartikainen 2013, 15–32.) Maaperä pyrkii pitämään sitä

ympäröivässä maavedessä tiettyä fosforipitoisuutta ja kun maavedestä poistuu fosforia, joko kasvien sitomana tai sateen laimentaessa maavettä, niin maahiukkasten pinnoilta irtoaa fosforia tasaamaan maaveden fosforipitoisuutta. Eroosiossa huuhtoutunut kiintoaines luovuttaa sitomansa fosforin pyrkien ylläpitämään ympäröivän veden fosforipitoisuutta. (Hartikainen 2013, 30–32.) Kuvassa 2. on esitetty fosforin kierto maassa.



Kuva 2. Fosforin olomuotoja ja kierto maassa (Rajala, Leinonen & Schepel 2006, 137).

2.3 Ravinteiden huuhtoutumisen vähentäminen

Ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin on pyritty vähentämään ja vuosien 2010–2015 vesienhoitosuunnitelmassa maataloudelle esitettyjä lisätoimenpiteitä olivat esimerkiksi peltojen pitäminen kasvipeitteisenä ympäri vuoden, kosteikkojen rakentaminen ja ylläpitäminen, karjanlannan jatkokäsittelyn tehostaminen, ravinnepäästöjen hallinta esimerkiksi optimoimalla lannoitusta, karjanlannan ravinteiden hyödyntäminen ja energia-kasviviljely, suojavyöhykkeet peltojen ja vesistön välissä sekä salaojituksen muuttaminen säätösalojituksiksi (Kipinä-Salokannel 2013, 7).

Fosforin huuhtoutumisen vähentämisen kannalta hyviä menetelmiä ovat talviaikainen kasvipeitteisyys, maan rakenteen parantaminen ja eroosion sekä fosforin huuhtoutumisen vähentäminen kipsillä tai rakennekalkilla, orgaanisen aineksen määrän kasvattaminen ja syväjuuristen, runsaasti biomassaa sisältävien kasvien kasvattaminen. Typen osalta hyviä toimenpiteitä ovat kerääjä- ja aluskasvien kasvatusta, typpilannoituksen jakaminen ja satotason mukainen lannoitus, myös lohkon sisäiset vaihtelut huomioon. (Valkama 2014, 8.)

3 ELOPERÄISET SUODINMATERIAALIT

Eloperäiset suodinmateriaalit voivat olla halpa ja helposti saatavissa oleva vaihtoehto kalliille muovisille suodinmateriaaleille typen poistamisessa korkean nitraattipitoisuuden omaavista vesistä (Ruane, Murphy, Healy, French & Rodgers 2011, 6668; Saliling, Westerman & Losordo 2007, 222). Eloperäiset suodinmateriaalit toimivat hitaasti liukenevana hiililähteenä biosuotimissa. Hapettomissa olosuhteissa maaperässä luonnollisesti esiintyvät heterotrofiset bakteerit käyttävät anoksisessa aineenvaihdunnassa nitraattiin sitoutunutta happea hiilen hapettamiseen, jolloin nitraatti pelkistyy typeksi. Hiilen hidas liukenevuus hiililähteestä on tärkeää, sillä korkea hiili-typpisuhde voi aiheuttaa hapettomissa olosuhteissa nitraatin muuntumisen ammoniumtypeksi. (Capodici, Morici & Viviani 2014, 43–44.)

Salilingin (2005) mukaan Dussertin ja Tramposchin ehdottivat, että ”biosuodinmedialla tulisi olla hyvä huokoinen ja karkea pintarakenne, korkea adsorptiokyky ja suotuisa pintakemia eli ettei se reagoi ympäröivän liuoksen kanssa hajoten herkästi”.

Eloperäisten suodinten tehoa voidaan lisätä erilaisilla aineilla, joko kemiallisilla tai toisilla eloperäisillä. Esimerkiksi biologisen prosessin alkua voidaan nopeuttaa jo toimivilla ympyeillä, joko olemassa olevasta prosessista tai esimerkiksi vesistöjen sedimenteistä tai maa-aineksesta. (Capodici ym. 2014, 44; Kannisto 2016, 1; Nummela, Kannisto, Pakarinen & Kymäläinen 2015, 8.)

Puhuttaessa maatalouden sivutuotteiden käytöstä biosuotimissa on tärkeää ottaa huomioon niiden biohajoaminen. Toiset biomassat hajoavat toisia nopeammin, esimerkiksi olki hajoaa nopeammin kuin puulastut. Myös biomassan kappaleiden koolla on merkitystä, sillä hienojakoisempi tavara hajoaa nopeammin. Biohajoamisajan perusteella voidaan arvioida erilaisten maatalouden sivutuotteiden käyttömahdollisuuksia eloperäisissä biosuotimissa. (Saliling 2005, 13–14.) Seostamalla erilaisia eloperäisiä suodinmateriaaleja voidaan pidentää suotimen käyttöikä ja tasata hiilen saatavuutta (Feyereisen, Moorman, Christianson, Venterea, Coulter & Tschirner, 2016).

3.1 Olki

Olkea syntyy Suomessa viljelyn sivutuotteen noin 2–3 miljoonaa tonnia vuodessa, josta hyödynnetään vain noin 10–20 %. Suurin osa hyödynnettävästä oljesta käytetään karjan kuivikkeena. Jonkin verran sitä käytetään karjan rehuna, katemateriaalina sekä esimerkiksi rehu-, puunjalostus- ja kemianteollisuudessa. Loput oljesta pääasiassa kynnetään takaisin maahan. Peltoon kynnetty olki vaikuttaa maahan parantaen sen rakennetta ja biologista aktiivisuutta. Orgaanisen aineksen lisääntyessä ja maan vesita-

louden parantuessa myös maan muokattavuus ja ravinteiden pidätys paranevat. (Korpinen 2011, 5; Laurila & Saarinen, 2014, 5–6; Äijäläinen, 2016, 4–5.)

Oljen potentiaalia denitrifikaatiota tutkineessa kokeessa oljessa havaittiin vähenemistä, väri- ja rakennemuutoksia sekä hiili-typpisuhteen heikkenemistä (Saliling ym. 2007, 222). Denitrifikaatio bioreaktoreissa yleisesti käytettyihin puupohjaisiin suodinmateriaaleihin verrattuna erilaiset viljelyn sivutuotteet, kuten olki, ovat kasvualusta, jonka hiili on helpommin käyttökelpoinen ravinteita sitoville mikrobeille. Viljelyn sivutuotteiden hiilipitoisuus kuitenkin laskee verrattain nopeasti. Viljelyn sivutuotteiden suodinkäytön ongelmana on havaittu olevan ravinteiden huuhtoutuminen, jota voidaan vähentää matalammalla aloituslämpötilalla, lyhyemmällä suotimen käyttöajalla ja esihuuhtelulla. (Feyereisen ym. 2016.)

Saliling ym. (2007) kirjoittivat Soaresin ja Abeliovichin raportoineen, että käytettäessä vehnäolkea hiilen lähteenä biologisessa denitrifikaatiossa, se menetti kaikki vesiliukoiset yhdisteensä sekä merkittävän osan selluloosasta ja hemiselluloosasta, mutta ligniini ja mineraaliyhdisteet säilyivät muuttumattomina. Saliling ym. (2007) kokeissa denitrifikaatioprosessissa kantaja-aineena käytetty vehnäolki menetti $37,7 \pm 2,7$ % kuiva-aineestaan 140 päivän koejakson aikana.

Kiinassa on tutkittu riisinoljen käyttöä typpiyhdisteiden poistossa, saastuneista leväkasvuston valloittamista (eutrophic) vesistä matalissa lämpötiloissa. Olkea käytettiin osana kelluvaa rakennettua kosteikkoja. Oljen hyvinä puolina verrattuna aiempiin biofilmin kantaja-aineisiin nähtiin huomattavasti alhaisempi hinta maatalousjätteiden käsittelyssä, ympäristöä säästävä tekniikka veden, ilman ja maaperän suojelussa sekä jätteiden vähentämisessä. Toissijaista jätettä ei myöskään juuri synny, koska lähes kaikki olki kuluu prosessin aikana. (Cao, Wang, Sun, Jiang & Zhang, 2015, 77–80.)

3.2 Muita eloperäisiä suodinmateriaaleja

Monia erilaisia eloperäisiä suodinmateriaaleja on tutkittu. Osaa vasta laboratoriossa, mutta myös pilotti-mittakaavassa sekä laajemmin. Puulastut on jo käyttöönotettu eloperäinen suodinmateriaali, jonka hyviä ominaisuuksia on esimerkiksi sen hyvä rakenteellinen kestävyys, mutta jonka biologisesti käyttökelpoinen hiili on vaikeammin saatavilla, mikä voi olla sekä hyvä, että huono puoli. (Cao ym. 2015, 77–80; Capodici ym. 2014, 43–44; Feyereisen ym. 2016; Nummela ym. 2015, 1–5; Ruane ym. 2011, 6668–6670; Saliling 2005, 10–13; Saliling ym. 2007, 222–223.)

Muita mahdollisia eloperäisiä biosuodinmateriaaleja, joita on tutkittu, ovat esimerkiksi puuvilla, sahanpuru, puunkuori, korkki, oliivin puristusjäte, järviruoko, puutarhajätteet, palaturve, rahkasammal ja sanomalehdet. Monissa tutkimuksissa eloperäistä suodinmateriaalia käytettiin denitrifi-

kaatioprosessissa kantaja-aineena. Puhdistettavia nesteitä olivat esimerkiksi erilaiset maatalouden jätevedet, jo saastuneet vesistöt, salaojituksen ja kaatopaikkojen suotovedet, biokaasulaitosten rejktivedet, bioenergian varastoalueiden ja metsäojitusalueiden valumavedet sekä suljetunkkierron kalankasvatuksen vedet. (Cao ym. 2015, 77–80; Capodici ym. 2014, 43–44. Feyereisen ym. 2016; Kannisto 2016b, 7–8; Karisto 2016, 37–73; Nummela ym. 2015, 1–5; Ruane ym. 2011, 6668–6670 Saliling 2005, 10–13; Saliling ym. 2007, 222–223.)

3.3 Suodatinratkaisuja

On olemassa useita erilaisia suodatinratkaisuja, joissa voi käyttää elopeärsiä suodinmateriaaleja. Ojanpohjasuodatuksessa ojanpohjalle asetettujen salaojaputkien päälle laitetaan suodinmateriaalia ja patoamalla pakotetaan vesi kulkemaan suodatinmassan läpi. Eräs vaihtoehto ovat suodatinsäkit (Kuva 3.) tai -kasetit, joiden läpi vesi johdetaan. Näitä on testattu sekä salaojavesien, että turpeentuotantoalueen vesien puhdistuksessa. Ojiin asennettuna niiden yhteyteen tarvitaan myös patoamista, jotta vesi saataisi kulkemaan suodinmassan läpi. Suodatinsäkkien ja -kasettien ongelmana on ollut niiden tukkeutuminen ja rakenteiden rikkoutuminen talvella jäätyamisen myötä. (Kannisto 2016a, 7; Karisto 2016, 62–63.)



Kuva 3. Mikkelin ammattikorkeakoulun vetämän VETU-hankkeen Mikkelin Hiirolaan, Kovalansuolle, Vapo Oy:n turvetuotantoalueelle perustetun biosuodattimien pilottikokeen suodatinsäkki (Karisto 2016). (Kuva: P. Lohela)

Monenlaisia kehikkoja (Kuva 4., s. 8), jotka on täytetty suodinmateriaalilla, on myös testattu. Suodinmateriaali on ollut joko verkkosäkeissä tai, jos

suodatinmateriaalin palakoko on ollut riittävän suuri, on riittänyt, että kehikon verkko on ollut tarpeeksi tiheäsilmainen. Suodatuskehikkoja on voinut olla vain yksi tai useampi peräkkäin sopivin välimatkoin. (Kannisto 2016a, 7; Karisto 2016, 55–62.)



Kuva 4. Mikkelin ammattikorkeakoulun vetämän VETU-hankkeen Ota-van Hippalaan, Mikkelin ammattikorkeakoulun opetusmetsään perustetun biosuodattimien pilottikokeen suodatin (Karisto 2016). (Kuva: P. Lohela)

On myös kokeiltu suodinratkaisuja, joissa vesi pumpataan paksun suodinmassan läpi yläkautta (Kannisto 2016a, 8). Tämän kaltaisella ratkaisulla voidaan myös testata suodinmateriaalien toimivuutta laboratoriossa (Nummela ym. 2015, 7–9; Ruane ym. 2011, 6670).

Suodatusvaikutuksen lisäksi suodattimet myös hidastivat veden kulkua, jolloin kiintoaineksen laskeutuminen tehostui. Patoutuminen voi kuitenkin aiheuttaa, että vesi lähtee etsimään vaihtoehtoisia reittejä suotimen vierestä. (Kannisto 2016a, 7; Karisto 2016, 73.)

4 BIOFILMI

Biofilmi on määritelty useilla eri tavoilla, mutta erään näistä mukaan ”biofilmi on pinnalle kiinnittynyt mikrobien eliöyhteisö, joka on sulautunut orgaaniseksi polymeeri matriisiksi” (Varnam & Evans 2000, 8). Laboratoriokasvatuksia lukuun ottamatta voidaan sanoa, ettei juurikaan puhtaasti yksilajisia biofilmejä esiinny vaan ne ovat useampien lajien muodostamia

rakenteelta, fysiologialtaan, kemialtaan, ekologiaaltaan jne. heterogeenisiä eliöyhteisöjä (Montana State University, n.d.).

Edellisen perusteella biofilmit ovat heterogeenisiä mikro-organismikokoelmia. Niiden matriisin muodostaa pääasiassa vesi, jonka lisäksi biofilmi sisältää paljon, 50–95 % kuiva-aineesta, solun ulkopuolisia polymeerejä, kuten glykoproteiineja ja polysakkarideja. Nämä solun ulkopuoliset polymeerit, joista käytetään myös lyhennettä EPS (extracellular polymeric substances), ovat biofilmin solujen tuottamia ja ne pitävät biofilmin rakenteen kasassa ja auttavat sitä muodostamaan kolmiulotteisen muodon. (Karatan & Watnick 2009, 329–333; Montana State University, n.d.; Varnam & Evans 2000, 10.)

Mikro-organismit hyötyvät biofilmissä elämisestä, sillä siinä ympäristöolot, kuten kosteus ja pH, säilyvät vakaampina. Biofilmissä mikrobit ovat paremmassa suojassa myös ulkoisilta tekijöiltä, kuten UV-valolta, säteilyltä, kuumuudelta sekä inhiboivilta aineilta ja saasteilta. Mikrobit ovat biofilmissä suojassa faageilta eli bakteerien viruksilta sekä mahdollisesti myös eukaryoottisilta pedoilta. (Montana State University, n.d.; Varnam & Evans 2000, 10–11.)

Biofilmejä voisi sanoa olevan käytännössä kaikkialla, missä on riittävästi kosteutta, ravinteita ja pintoja mille ne voivat kiinnittyä. Ne voivat olla haitaksi, mutta niitä on myös jo pitkään osattu hyödyntää erilaisissa sovelluksissa, kuten veden- ja saastuneiden maa-ainesten puhdistuksessa. Ongelmia biofilmit aiheuttavat ainakin teollisuudessa esimerkiksi tukkien putkistoja ja pilaten tuotteita sekä heikentäen niiden laatua. (Montana State University, n.d.; Varnam & Evans 2000, 9–11.)

4.1 Biofilmin muodostuminen

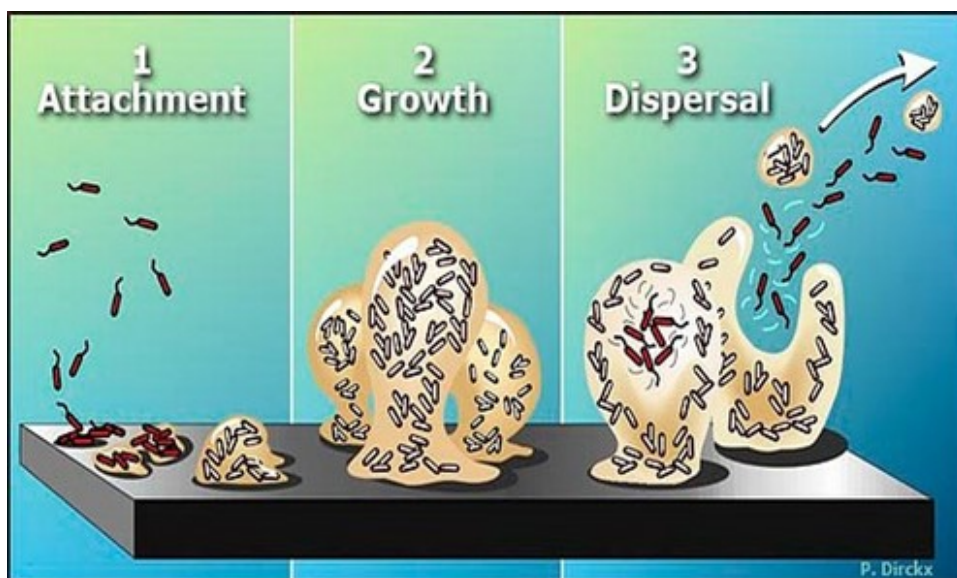
Biofilmin muodostumiseen liittyy neljä eri vaihetta: siirtyminen, molekyylien adsorptio, mikro-organismien yhteen kasvaminen ja kolonisaatio. Ensimmäiseen vaiheeseen sisältyy molekyylien, inerttien kappaleiden ja mikro-organismien liikkuminen mahdolliselle kasvualustalle. Lähes välittömästi seuraa toinen vaihe, jossa molekyylit adsorboituvat kasvualustan pinnalle. Kolmannessa, hitaammin etenevässä, vaiheessa mikro-organismit kiinnittyvät toisiinsa ja luovat kestävämmän rakenteen. Tämän yhteen kasvuvaiheen alussa kehittyvä bakteerimassa on vielä herkästi irtoavaa, mutta kun solujen ja kasvualustan välille muodostuneet vuorovaikutukset muuttuvat pysyviksi sidoksiksi, eivätkä solut enää voi irrota alustastaan. Viimeinen vaihe eli kolonisaatio johtaa biofilmin kehittymiseen, kun mikro-organismit lisääntyvät muodostamansa EPS-massan sisällä. Viimeinen vaihe voi kestää muutamasta tunnista useisiin kuukausiin. (Talvitie 2014, 3–6; Varnam & Evans 2000, 10–12.)

4.2 Biofilmin kehityskaari

Biofilmin kehityskaaressa voidaan sanoa olevan kolme vaihetta: ensimmäisessä vaiheessa nesteessä vapaasti liikkuvat tai planktoniset bakteerit kiinnittyvät pintaan ja alkavat tuottaa solun ulkopuolista polymeerimassaa (Kuva 5.) (Montana State University, n.d.). Tätä vaihetta kuvattiin tarkemmin luvussa 4.1 Biofilmin muodostuminen.

Toisessa vaiheessa tapahtuu biofilmin kasvu ja kehitys (Kuva 5.). Jotta biofilmin biomassasta ei tulisi liian tiivistä, ravinteita riittäisi mahdollisimman tasaisesti biofilmin eri kerroksiin ja haitalliset sekä myrkylliset aineenvaihduntatuotteet saataisiin pois, biofilmit joskus kasvattavat pilarimaisia ulokkeita, joiden välillä on kanavia, joissa ympäröivä neste pääsee virtaamaan tuoden ravinteita ja vieden pois tarpeettomat aineenvaihduntatuotteet. (Montana State University, n.d.; Talvitie 2014, 5; Tortora, Funke & Case 2010, 163–164.)

Kolmannessa vaiheessa eli hajoamisvaiheessa biofilmistä, joka on saavuttanut maksimikokonsa alkaa irrota sekä yksittäisiä soluja, että pieniä biofilmin kappaleita (Kuva 5.). Yksittäiset solut muuntuvat takaisin planktoniseen kasvuvaiheeseen ja voivat aloittaa biofilmin kehityskaaren uudessa paikassa, jossa on suotuisat tekijät biofilmin kasvulle. Irronneet biofilmin kappaleet säilyttävät jossain määrin vastustuskykynsä antimikrobisia aineita vastaan. (Montana State University, n.d.; Talvitie 2014, 6.)



Kuva 5. Biofilmin elämänkaari (Montana State University, n.d.).

Hajoamisvaiheen alkamisen syistä on useita teorioita. Yhtenä vaihtoehtona on, että kun biofilmin paksuus kasvaa riittävän suureksi, niin ravinteiden ja hapen riittävyys heikkenee sekä haitallisten aineenvaihduntatuotteiden kertyminen lisääntyy biofilmin alemmissä kerroksissa ja mikrobeita kuolee niistä kerroksista, jolloin biofilmistä tulee vähemmän stabiili. Toinen vaihtoehto hajoamisen syistä on, että heikentyneen ravinnepitoisuus-

den myötä, biofilmi alkaa luovuttaa soluja, jotta ne löytäisivät suotuisemman kasvuympäristön. (Karatan & Watnick 2009, 334–339; Montana State University, n.d.; Talvitie 2014, 6.)

5 KOKEELLINEN OSIO

Työn tarkoituksena oli selvittää oljesta valmistetun biosuotimen potentiaalia ravinteiden ja kiintoaineksen kerääjänä maatalouden valumavesistä. Kokeen aikana seurattiin Mustialan Riuskanojaan sijoitetuissa olkibiosuotimissa ja ojasta otetuissa vesinäytteissä tapahtuvia muutoksia analysoimalla niitä sekä seurattiin ojan ravinnepitoisuuksien muutoksia online-mittareiden avulla. Tulosten perusteella tehtiin arvio menetelmän soveltuvuudesta.

Olkibiomassasta seurattiin kokonaistyyppi ja -fosforipitoisuuksissa sekä kuiva-aineessa ja orgaanisessa kuiva-aineessa tapahtuneita muutoksia.

5.1 Alustavat kokeet

Oljen adsorptiokykyä typen osalta oli selvitetty laboratoriossa alkuvuodesta 2016 ja sen tutkimuksen tulokset on esitetty Laura Kanniston raportissa Nitraatin adsorboituminen olkimateriaaliin (Kannisto 2016b). Tärkeimpänä huomiona on, että tutkitussa Riuskanojassa kulkevan nitraattimäärän sitomiseen tarvittava olkimäärä olisi epärealistisen suuri käytettäväksi käytännössä, joten olkibiomassan pinnalle kehittyvä mikrobimassa eli biofilmistö olisi tärkeää riittävän suodatustehon saavuttamiseksi. (HAMK n.d.)

Kevään 2016 aikana testattiin mahdollisia suodinratkaisuja Riuskanojassa. Tarkoituksena oli löytää yksinkertainen, helppokäyttöinen ja edullinen suodinratkaisu maanviljelijöiden käyttöön. Suodinratkaisua kehitettiin eteenpäin käytännön kokemusten mukaan vaiheittain. (HAMK n.d.)

Kokeet aloitettiin helpoimmalla olkimateriaaliratkaisulla eli olkipyöröpäälillä. Kuormaliinoilla nostoa varten vahvistettu pyöröpaali nostettiin ojaan ja kuormaliinat löysättiin, jotta pyöröpaali asettuisi paremmin ojanpohjalle (Kuva 6., s. 12). Pyöröpaalin läpäisykyky ei ollut riittävä, joten vesi lähti etsimään vaihtoehtoisia reittejä ja lopulta voimakas virtaus nosti paalia, joka lähti kulkemaan virtauksen mukana (Kuva 6., s. 12). (HAMK n.d.)



Kuva 6. Olkipyöröpaalin testaus Riuskanojassa 21.4.2016 (HAMK n.d.).

Pyöröpaalin jälkeen siirryttiin ratkaisuun, jossa oljella täytetty klapisäkki asetettiin IBC-konttiin ja tämä laskettiin jokeen (Kuva 7.). Klapisäkin leveämmät sivut olivat silmäkooltaan noin 1 millimetristä verkko- ja kaapeimmat tiivistä muovilankaommalta. Säkki asetettiin verkkopinta virtausta kohden. Ohivirtauksen estämiseen käytettiin vanerinpaloja. (HAMK n.d.)



Kuva 7. Oljella täytetty klapisäkki IBC-kontissa -suodinkokeilu (HAMK n.d.).

Toisen vaiheen aikana virtausmäärät vaihtelivat suuresti välillä 90–400 l/s. Kun virtaus on suuri, myös ohivirtaus kasvoi suureksi mahdollisesti klapisäkin ja liian tiiviisti täytetyn olkimassan aiheuttamasta virtausvastuksesta johtuen. Alhaisilla virtauksilla vesi alitti suotimen. Ohivirtausta tapahtui mahdollisesti myös koska säkki ei asettunut tiiviisti IBC-konttiin. Säkkiä purettaessa alimmissa olkikerroksissa havaittiin kuitenkin mikrobikasvustoa. Kokeen tämä vaihe kesti 11 vuorokautta. (HAMK n.d.)

Kolmannessa kokeilussa päädyttiin jatkamaan IBC-kontin käytön testaamista. Kontin sisäpuoli vuorattiin kananverkolla ja täytettiin oljella, kuitenkin kevyemmin pakaten ja huomioiden tarkemmin sivut ja nurkat, jotka klapisäkki-ratkaisussa jäivät heikommalle peitolle. Ohivirtauksen riskin vähentämiseksi ojaan lasketun IBC-kontin ja ojan penkkojen väliin asetettiin hiekalla täytettyjä suursäkkejä. (Kuva 8., s. 13) (HAMK n.d.)



Kuva 8. Kanaverkolla vuorattu ja oljilla täytetty IBC-kontti Riuskanojassa (HAMK n.d.).

Suurilla virtauksilla ohivirtausta edelleen tapahtui, mutta suotimen läpivirtaus oli kuitenkin huomattavasti parempi kuin ensimmäisessä testausvaiheessa, jossa käytettiin IBC-konttia. Tämä kokeen osa kesti 21 vuorokautta ja se jouduttiin lopettamaan virtauksen laskettua niin alas, että olkimassa ei ollut enää kosketuksissa siihen. (HAMK n.d.)

Neljännessä vaiheessa otettiin huomioon, että myös pienet virtaamat tulisi saada kulkemaan suodinmassan läpi. Neljä noin 280 millimetriä halkaisijaltaan ja 600 millimetriä pituudeltaan olevaa ojarumpupätkää suljettiin toisesta päästä kanaverkolla ja täytettiin löyhästi oljella. Ojarummut asetettiin ojaan avoinpäätä yläjuoksun suuntaan ja niiden päälle asetettiin vaneripala ja hiekkapussit, jotta ne saatiin asettumaan kunnolla ojan pohjalle. (Kuva 9.) (HAMK n.d.)



Kuva 9. Riuskanojaan asennetut ojarumpupätkät, jotka oli täytetty olkimassalla (HAMK n.d.).

Kokeen tämän vaiheen kesto oli 18 vuorokautta. Runsastuneet virtaukset olivat siirtäneet suodinrumpuja koejakson loppuun mennessä. Suodinmassassa oli selkeästi havaittavaa biofilmikasvustoa ja kiintoaineskertymää. (HAMK n.d.)

Koevaiheissa kaksi, kolme ja neljä olkibiosuodinmassasta otettiin näytteet osista, jotka olivat selvästi olleet kosketuksissa veteen suurimman osan kokeen ajasta. Näytteistä sekä alkuperäisestä paalatusta oljesta analysoitiin kokonaistyyppi ja kuiva-aine sekä orgaaninen kuiva-aine (Taulukko 1.). (HAMK n.d.)

Taulukko 1. Alustavien olkibiosuodinkokeiden kokonaistyyppi ja kuiva-ainetuloja (HAMK n.d.)

	N-tot		N-tot		TS, kuiva-aine		VS, org.aines		VS/TS-suhde
	mg N/g	hajonta	mg N/g ka	hajonta	%	hajonta	%	hajonta	
Alkuperäinen olki	5,81	0,61	6,28	0,66	92,59	0,25	84,40	0,44	0,91
Olki 2.vaiheen jälkeen 3.5.2016. KESTO 11 vrk	1,56	0,17	6,31	0,70	24,71	0,39	21,51	0,51	0,87
Olki 3.vaiheen jälkeen 25.5.2016. KESTO 21 vrk	1,26	0,14	8,17	0,90	15,37	0,79	10,25	0,48	0,67
Olki 4.vaiheen jälkeen 21.6.2016. KESTO 18 vrk	1,07	0,15	7,28	1,05	14,76	0,45	11,22	0,35	0,76

Olkimassan kuiva-ainepitoisuus oli laskenut alkuperäisestä yli 90 %:sta noin 20 %:iin massan vettymisen takia. Orgaanisen kuiva-aineen osuus kuiva-aineesta laski koejakson pidentyessä, mikä voi olla osoitus olkimassaan kertyneestä epäorgaanisesta aineksestä tai olkimassan orgaanisen aineen liukenemisestä. Kokonaistyyppipitoisuus kuiva-ainetta kohden nousi koejakson pidentyessä. (HAMK n.d.)

5.2 Koejärjestelyt

Työn kokeellinen osuus tehtiin Mustialassa Riuskanojassa. Riuskanojan sameutta ja typpipitoisuutta seurattiin online-mittareilla (Kuva 10., s. 15) kokeen aikana virrasta ennen ja jälkeen olkibiosuotimia. Online-mittareiden tiedot kertyivät EMMI-järjestelmään (Kuva 11., s. 15) ja tietojen perusteella arvioitiin biosuotimien toimivuutta ja Riuskanojan tilassa tapahtuvia muutoksia koejakson aikana. Ojan virtaamaa seurattiin tasaisesti kokeen aikana tehtävillä manuaalisilla mittauksilla.



Kuva 10. Riuskanojaan sijoitettu online-mittari. (Kuva: P. Lohela)

Hämeen ammattikorkeakoulu Jarkko Nummela

emmi Riuskanoja 1

Oma näkymä Yleiset tiedot Mittaukset Johdetut tulokset Raportit Litetiedostot

Kartat

Kohitteet

Kirjoita hakusanasi tähän Hae

- Hämeen Ammattikorkeakoulu
 - Ravinneresurssihanke
 - Davis-sääsema
 - Riuskanoja 1
 - Riuskanoja 2
 - Säätöalagolituksen seuranta
 - Sämeusmittaukset LUO Nex

Riuskanoja 1

Muuttajanimi: HAMK_riuskanoja_1_2016
 Viimeksi muokattu: 2017-04-12 08:05:06+03:00
 Lähde: Luode: Riuskanoja 1
 Mittausryhmän aloitusaika: 2016-04-14 08:00:00
 Kuvaus: Tähän mittausryhmään kertyy data laitekokoonpanolta: Scan spectrolyser mm 5, laite no 15450080 ja loggeri no 6.88.

Taulukko	Kuvaaja	Kanavat	Alkaleimi (Europe/Helsinki)	Sämeus raaka (FTT)	Nitraattityppi raaka (mg/l)	DOC raaka (mg/l)	TOC raaka (mg/l)	Akku (V)	Pullopaine (bar)	Toiminnot
2016-11-28 14:00:00	2000.0	100.0	200.0	200.0	12.6	0.0				
2016-11-28 13:30:00	2000.0	100.0	200.0	200.0	nan	2510.0				
2016-11-28 13:00:00	2000.0	100.0	200.0	200.0	571.5	2510.0				
2016-11-28 12:30:00	2000.0	100.0	200.0	200.0	nan	2510.0				
2016-11-28 12:00:00	2000.0	100.0	200.0	200.0	571.5	2510.0				
2016-11-28 11:30:00	2000.0	100.0	200.0	200.0	nan	2510.0				
2016-11-28 11:00:00	2000.0	100.0	200.0	200.0	571.5	2510.0				
2016-11-28 10:30:00	2000.0	100.0	200.0	200.0	nan	2510.0				
2016-11-28 10:00:00	2000.0	100.0	200.0	200.0	571.5	2510.0				

Kuva 11. Havainnekuva EMMI-järjestelmän sivulta.

Olkibiosuotimet valmistettiin 30 senttimetriä halkaisijaltaan ja metrin pituudeltaan olevaan ojarumpuun. Ojarummun toinen pää suljettiin jänisverkolla, joka kiristettiin rautalangalla paikoilleen (Kuva 12., s. 16). Ojarumpu täytettiin kevyesti painaen oljella jättäen 25 senttimetriä tyhjäksi (Kuva 13., s. 16). Ojarummut kiinnitettiin toisiinsa ja asetettiin ojan pohjalle avoin pää yläjuoksun suuntaan ja päälle asetettiin painoksi kiviä (Kuva 14., s. 17). Ensimmäistä koejaksoa varten rakennettiin yhteensä kolme olkibiosuodinta.



Kuva 12. Olkibiosuotimena käytetyn ojarummun toinen pää suljettiin kanaverkolla ja kiristettiin paikoilleen rautalangalla. (Kuva: P. Lohela)



Kuva 13. Ojarummut täytettiin oljella jättäen noin 25 cm tyhjäksi. (Kuva: P. Lohela)



Kuva 14. Olkibiosuotimet kiinnitettiin rinnakkain toisiinsa, laskettiin Riuskanojaan avoin suu yläjuoksua kohti ja suodinsetin päälle asetettiin painoksi kiviä. (Kuva: P. Lohela)

Kokeen ensimmäisessä osassa otettiin näytteet kahden viikon välein olkibiosuotimesta; yksi suodin purettiin joka kerta (Kuva 15.) ja näyte otettiin vesitason alapuolella olleesta osasta, keskivaiheelta suodinmassaa. Näytteitä kertyi kolme koejakson aikana.



Kuva 15. Näytteenotossa olkibiosuodin purettiin ja näyte otettiin veden alapuolelle jääneestä osasta olkimassaa, noin puolesta välistä suodinmassan pituutta. (Kuva: P. Lohela)

Kokeen toisessa osassa eli niin sanotussa mylläyskokeessa oli tarkoitus ottaa kaksi kertaa kolme näytettä. Mylläyskokeen tarkoitus oli selvittää olkibiosuotimen kykyä sitoa työnaikaista kiintoaineista esimerkiksi ojien perkuun yhteydessä. Mylläys suoritettiin kaivamalla Riuskanojan pohjaa ylävirran puolelta noin 15 minuutin ajan (Kuva 16.). Koska pakkaset tulivat aiemmin kuin oli odotettu ja Riuskanoja jäätynyt, jouduttiin puhtaalla ojjella tehtävä mylläyskoe jättämään pois. Nyt tehtiin vain mylläyskoe neljä viikkoa ojassa olleilla olkibiosuotimilla. Biosuotimia oli yhteensä neljä mylläyskokeessa, joten ojaan saatiin parempi peitto koko sen leveydeltä. Kolme suotimista jouduttiin siirtämään sillä ne olivat alajuoksun puolella ensimmäisen vaiheen aikana kehitymässä eli tavoitteena oli, että olkimassan päälle ehtisi kehittyä biofilmiä. Yksi suodin oli mahtunut ensimmäisen vaiheen suodinten viereen. Näytteet otettiin ylävirran puolelta katsottuna suotimen alku-, keski- ja loppuosasta.



Kuva 16. Riuskanojan pohjaa myllättiin lapiolla kaivaen olkibiosuotimista katsottuna yläjuoksun puolelta. (Kuva: S. Suoranta)

Vesinäytteet otettiin joka kerta olkinäytteiden oton yhteydessä. Vesinäytteet otettiin Riuskanojaan olkibiosuotimista katsottuna ylä- ja alajuoksuun sijoitettujen vedenlaatua seuraavien online-mittareiden kohdalta eli yhteensä kaksi näytettä per näytteenottokerta.

Mylläyskokeen aikana vesinäytteet otettiin online-mittareiden kohdalta 30 ja 90 minuuttia ojan pohjan mylläyksen aloituksesta.

Laboratorioanalyysit näytteistä tehtiin marraskuun aikana. Olkinäytteistä analysoitiin kuiva-aine, orgaaninen kuiva-aine, kokonaistyyppi ja -fosfori. Vesinäytteistä analysoitiin orgaaninen kokonaishiili (TOC), kokonaistyyppi, nitraattityppi, kokonaisfosfori ja fosfaatti.

Kokeen aikana seurattiin myös oljen rakenteen muuttumista aistinvaraisesti.

5.3 Olkinäytteiden analyysit

Olkibiomassasta analysoitiin kuiva-aine (TS), orgaaninen kuiva-aine (VS) kokonaistyyppi ja kokonaisfosfori. Näytteitä otettiin kolme kertaa ensimmäisen vaiheen aikana eli kaksi, neljä ja kuusi viikkoa ojassa olleista biosuotimista. Toisesta vaiheesta otettiin yhteensä neljä näytettä. Kolme siirretystä olkibiosuotimesta, sen alku- eli yläjuoksunpuoleisesta päästä, yksi keskivaiheilta kuten ensimmäisen vaiheen näytteetkin ja yksi loppu- eli alajuoksunpuoleisesta päästä. Yksi näyte otettiin ei-siirretyn suotimen keskivaiheelta vertailukappaleeksi.

Kuiva-aineen (TS) ja orgaanisen kuiva-aineen (VS) pitoisuudet määritettiin standardin SFS 3008:1990 mukaisesti. Kokonaistyyppi määritettiin Fossin Kjeltec™ 2300-laitteistolla laitteiston ohjeiden mukaisesti Kjeldahl-N-analyysimenetelmällä. Kokonaisfosfori tutkitutettiin tilauspalveluna Novalab Oy:n laboratoriossa.

5.4 Vesinäytteiden analyysit

Kokeen aikana otettiin vesinäytteitä suotimista katsoen ylä- ja alajuoksulta. Vesinäytteet otettiin samoina päivinä kuin olkibiosuodinnäytteet. Vesinäytteistä tutkittiin TOC (LCK380), N_{tot} (LCK138), N/NO₃ (LCK339), P_{tot} (LCS349) ja P/PO₄ (LCS349) käyttäen Hach Lange pikamenetelmiä.

5.5 Online mittaukset

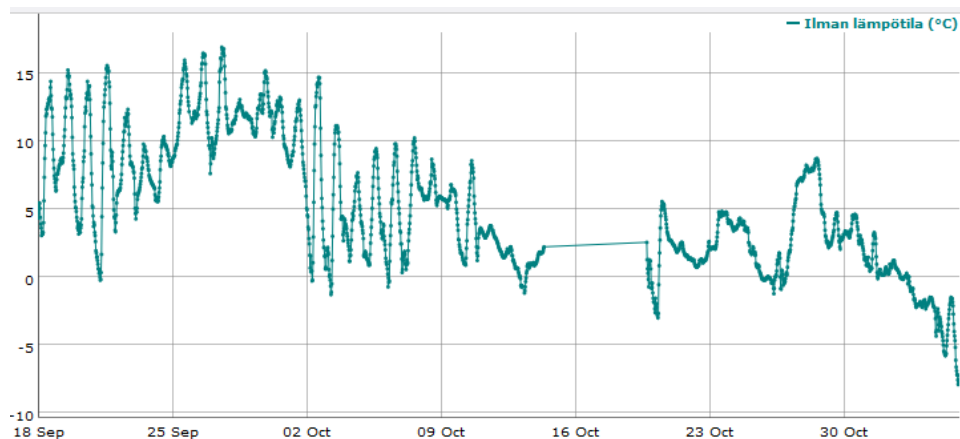
Lammin biologinen asema seurasi Riuskanojan tilaa jatkuvatoimisilla Scan-mittareilla, joiden toimintakykyä seurattiin kerran kuussa otetuilla vesinäytteillä, joiden avulla laskettiin korjauskertoimet jatkuvatoimisten mittareiden tuloksille. Tuloksia korjattiin koko kauden 2016 aikana otetuilla vesinäyteanalyysituloksilla, sillä koejakson aikaiset tulokset eivät olisi riittäneet luotettavan korjauskertoimen saamiseksi.

6 OLKIBIOSUOTIMEN TEHO RAVINTEIDEN JA KIINTOAINEKSEN KERUUSSA

6.1 Sääolot koejakson aikana

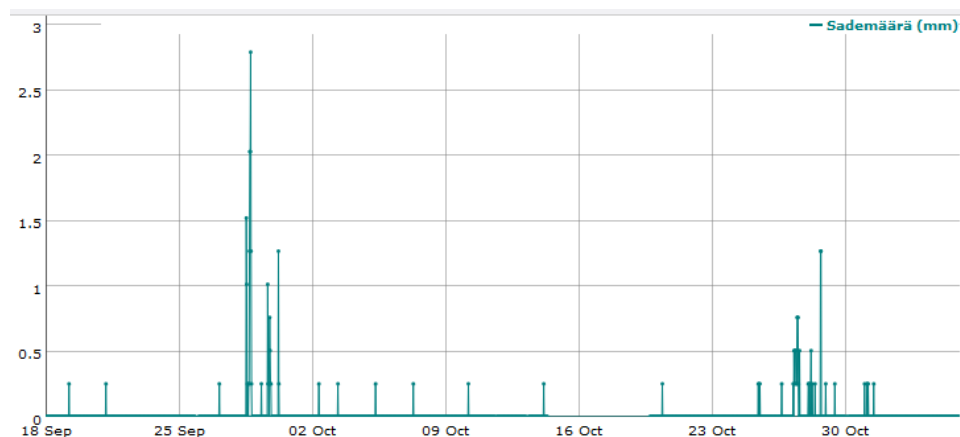
Hämeen ammattikorkeakoulun Mustialan yksikön alueella sijainneesta Davis-sääasemasta kertyy myös online-tietoja EMMI-järjestelmään. Ku-

vissa 17.–18. näkyy sääolot koejakson aikana ilman lämpötilan ja sademäärän osalta.



Kuva 17. Ilman lämpötila koejakson aikana Mustialassa.

Ilman lämpötila pysyi suhteellisen vakaana koejakson ensimmäisen kuu-kauden aikana, jonka jälkeen se lähti laskemaan (Kuva 17.). Koejakson lopulla sää meni pakkaselle ja Riuskanoja jäättyi.



Kuva 18. Sademäärä koejakson aikana Mustialassa.

Sademäärät olivat hyvin vähäisiä koejakson aikana ja sateita tuli vain kahdessa kohtaan (Kuva 18.).

Riuskanojan virtaamaa seurattiin manuaalisesti noin kerran viikossa. Mitatut virtaamat olivat matalia välillä 2–3 litraa sekunnissa ja sateet painottuivat kohtiin joissa virtaamaan ei päästy mittaamaan.

6.2 Muutokset olkibiosuotimissa

Taulukkoon 2. (s. 21) on kerätty ensimmäisen vaiheen olkinäytteistä tehtyjen analyysien tiedot kokonaistypen ja -fosforin osalta kuiva-ainetta kohden sekä orgaanisen kuiva-aineen ja kuiva-aineen pitoisuudet sekä näiden suhde.

Taulukko 2. Olkinäytteiden analyysitiedot kokeen ensimmäisestä vaiheesta. Ensimmäisenä näkyy vertailuna kuiva olki, seuraavat kolme ovat kokeen ensimmäisestä osasta kaksi, neljä ja kuusi viikkoa ojassa olleista olkibiosuotimista

	Ntot mg/gka	/TS	Ptot mg/gka	/TS	TS %	VS %	VS/TS
Kuiva olki	4,4355		2,1		92,22	83,11	0,90
2. vko	3,8344		0,51		14,80	14,31	0,97
4. vko	4,5803		0,49		17,39	16,24	0,93
6. vko	4,9425		0,36		12,67	11,79	0,93

Kokeen ensimmäisen vaiheen näytteissä olkimassan kuiva-ainepitoisuus laski massan alkuperäisestä reilusta 90 %:sta jopa lähelle 10 %:a massan vettymisen ja vesiliukoisten yhdisteiden huuhtoutumisen takia sekä myös mahdollisesti biofilmin, jolla yleisesti tiedetään olevan pieni kuiva-ainepitoisuus, kasvun myötä.

Orgaanisen aineen osuus kuiva-aineesta (VS/TS) nousi alkuun verrattuna kuivaan olkeen, jonka jälkeen se lähti laskemaan. Kevään kokeisiin verrattuna tulos oli poikkeava. Kevään kokeen aikana oli voimakkaita sateita, jotka saattoivat laittaa enemmän kiintoainesta liikkeelle. Syksyn koejakson aikana ei satanut juuri lainkaan (Kuva 18. luvussa 6.1, s. 20), mahdollisesti suotimiin ei kertynyt niin paljon kiintoainesta vaan todennäköisemmin humusta tai sen pinnalle kehittyi biofilmiä, jotka selittäisivät alun korkeamman orgaanisen kuiva-aineen määrän. Syksyn viiletessä biofilmin kasvaminen mahdollisesti heikkeni tai ojassa työskentely sekä pienten sadekuurojen liikkeelle saama epäorgaaninen aines tai olkimassan orgaanisen aineen liukeneminen aiheuttivat orgaanisen kuiva-aineen määrän alenemisen toisen viikon jälkeen.

Kokonaistyyppipitoisuus kuiva-ainetta kohti laski ensimmäisen kahden viikon aikana, mutta lähti sen jälkeen nousemaan ohittaen oljen sisältämän alkuperäisen kokonaistyyppipitoisuuden neljänteen viikkoon mennessä ja jatkoi nousuaan vielä tämän jälkeen.

Kokonaisfosforipitoisuus kuiva-ainetta kohti laski neljännekseen ensimmäisen kahden viikon aikana, jonka jälkeen kokonaisfosforipitoisuuden lasku jatkui.

Olkimassassa tapahtui myös silmin havaittavia muutoksia. Vettyneen oljen väri muuttuu kirkkaamman keltaisesta kellanruskeaksi ja suodinmassa painui, kuten kuvaryhmästä 16. (s. 23) näkee. Oljen vetokestävyys myös heikkeni.



Kuva 19. Olkibiosuotimien täytön ulkonäkö muuttui ensimmäisen koejakson aikana. Olkimassa painui voimakkaasti kun suotimet nostettiin vedestä. Ensimmäisessä kuvassa lähtötilanne, jolloin 25 cm vajausta (ylävas.), toinen kahden viikon jälkeen, jolloin 32 cm vajausta (yläoik.), kolmas neljän viikon jälkeen, jolloin 56 cm vajausta (alavas.) ja viimeinen kuuden viikon jälkeen, jolloin 51 cm vajausta (alaoik.). (Kuvat: P. Lohela)

6.3 Online-mittausten tuloksia

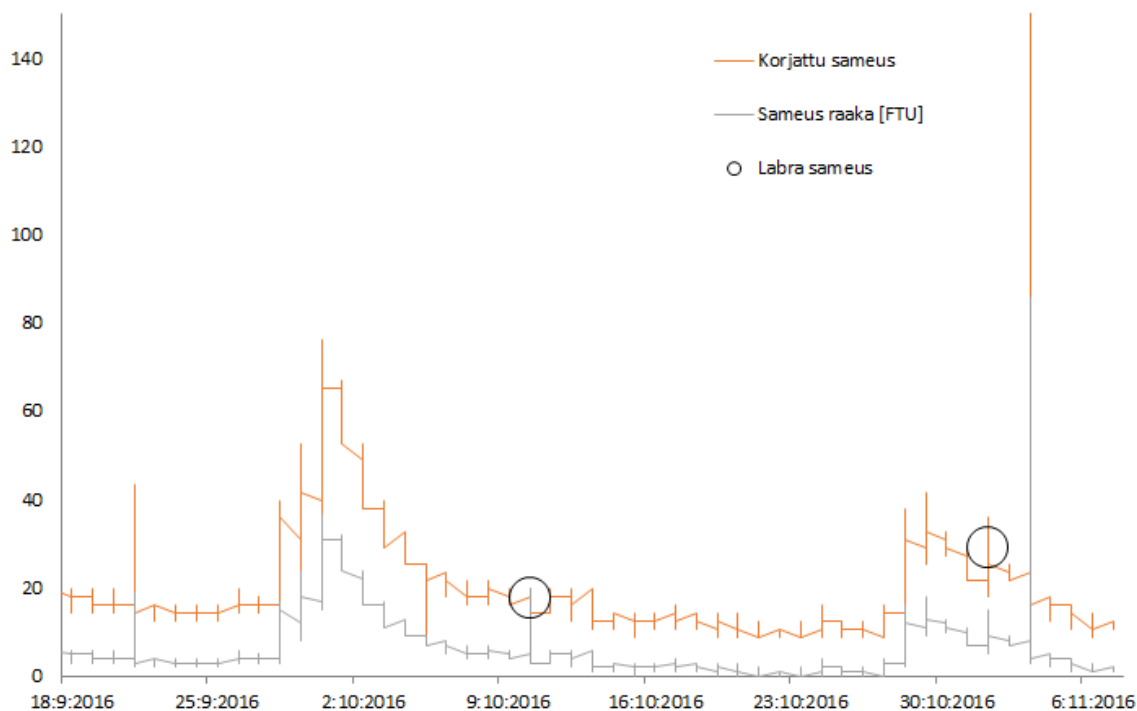
Helsingin yliopiston Lammin biologisen aseman ottamien vesinäytteiden analyysitiedot löytyvät taulukosta 3. (s. 23) Niitä käytettiin online-mittareiden toimivuuden seuraamiseen ja tulosten kalibrointiin.

Taulukko 3. Lammin biologisen aseman vesinäytteiden analyysitietoja koejakson ajalta

	sameus FTU	kiintoaine mg/l	PO ₄ - P mg/l	NH ₄ - N mg/l	NO ₂ + NO ₃ - N mg/l	P _{tot} mg/l	N _{tot} mg/l	TOC mgC/l
6.9.2016	36,7	20,2	0,079	0,032	0,053	0,200	0,890	13,0
10.10.2016	17,5	5,8	0,040	0,010	0,038	0,089	0,616	9,5
1.11.2016	29,2	13,6	0,033	0,015	0,735	0,095	1,255	
28.11.2016	66,2	21,0	0,049	0,026	3,802	0,146	4,720	

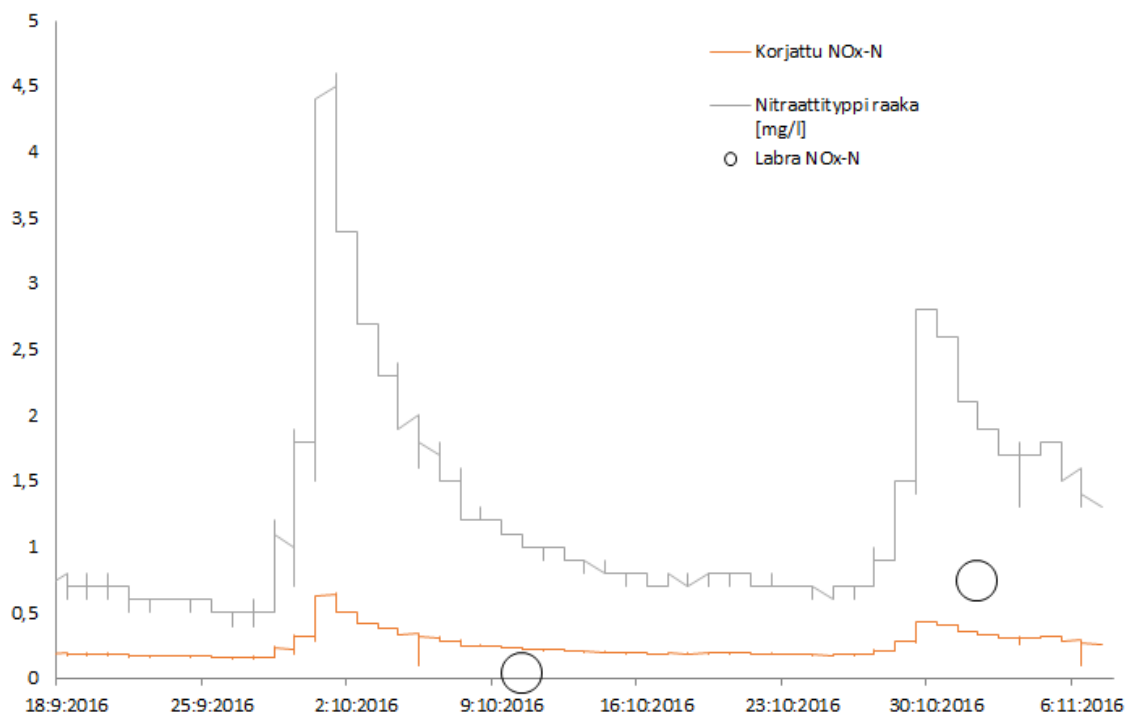
Kuvissa 20.–22. on kuvattu online-mittareiden tuloksia koejakson aikana. Kuvissa näkyy sekä korjaamaton tulos että laboratorioanalyyseiden avulla korjattu tulos.

Sameus



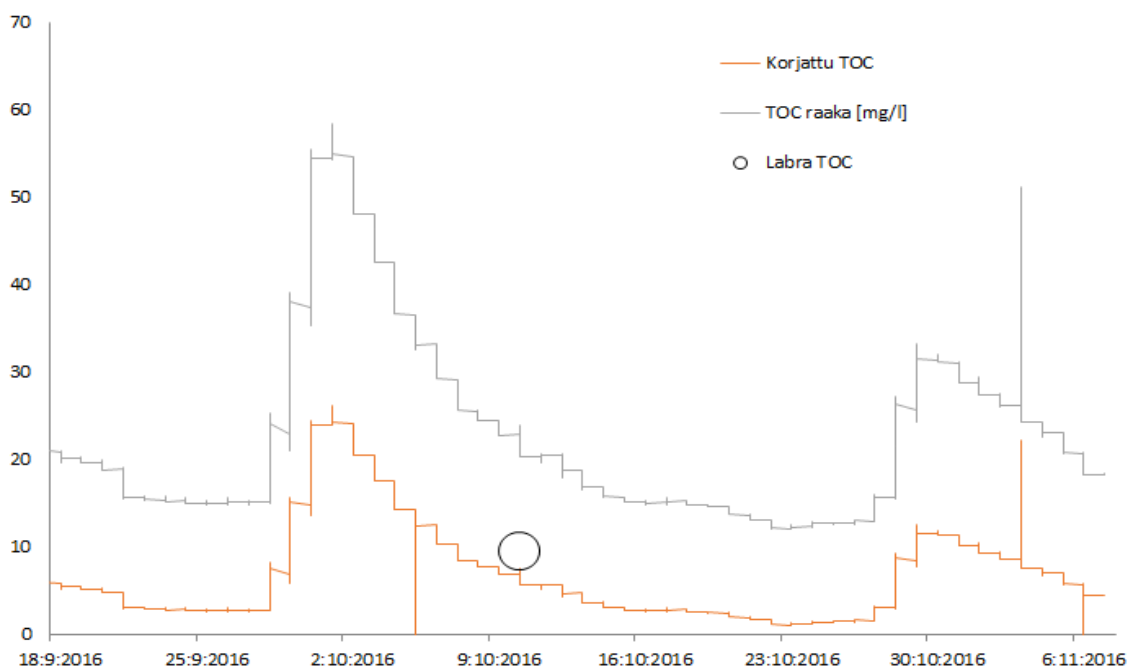
Kuva 20. Online-mittarin sameustuloksia koejakson aikana. Sameustulos (harmaa viiva) on korjattu (oranssi viiva) laboratorioissa saadulla mittaustuloksilla (ympyrät).

NO_x-N



Kuva 21. Online-mittarin raakanitraattityppi tuloksia koejakson aikana. Nitraattityppitulos (harmaa viiva) on korjattu (oranssi viiva) laboratoriossa saaduilla mittaustuloksilla (ympyrät).

TOC



Kuva 22. Online-mittarin TOC-tuloksia koejakson aikana. TOC-tulos (harmaa viiva) on korjattu (oranssi viiva) laboratoriossa saaduilla mittaustuloksilla (ympyrät).

6.4 Muutokset vesinäytteissä kokeen ensimmäisessä vaiheessa

Verrattaessa Lammin biologisen aseman standardimittausmenetelmillä tekemiin vesinäytteiden analyysituloksiin voidaan todeta, että yläjuoksun puoleiset näytteet neljännen ja kuudennen viikon kohdalla kokonais- ja nitraattitypen osalta on hylättävä johtuen suurista eroista Lammin tuloksiin sekä alajuoksun tuloksiin verrattaessa.

Taulukossa 4. on kuvattu ensimmäisen vaiheen vesinäyteanalyysien tuloksia.

Taulukko 4. Ensimmäisen vaiheen vesinäytetulokset

	2. vkon jälkeen yläjuoksu 4.10	2. vkon jälkeen alajuoksu 4.10	4. vkon jälkeen yläjuoksu 18.10	4. vkon jälkeen alajuoksu 18.10	6. vkon jälkeen yläjuoksu 1.11	6. vkon jälkeen alajuoksu 1.11
Ntot mg/l	1,45	-	8,80	1,13	8,94	2,02
NO₃ -N mg/l	0,793	-	3,66	-	4,42	-
Ptot mg/l	0,120	0,150	0,395	0,505	0,372	alle
PO₄ -P mg/l	0,094	-	0,325	-	0,299	-

6.5 Työnaikainen kiintoaineksen keruu

Taulukkoon 5. on kerätty toisen vaiheen olkinäytteistä tehtyjen analyysien tiedot kokonaistypen ja -fosforin osalta kuiva-ainetta kohden sekä kuiva-aineen ja orgaanisen kuiva-aineen pitoisuudet sekä näiden suhde. Mylläyskokeen näytteitä oli pidetty ojassa neljä viikkoa ennen mylläys-toimenpidettä.

Taulukko 5. Olkinäytteiden analyysitiedot. Ensimmäisenä näkyy vertailuna kuiva olki ja seuraava on kokeen ensimmäisestä osasta neljä viikkoa ojassa olleesta olkibiosuotimista. Viimeiset neljä ovat mylläyskokeen (M) näytteitä; ensimmäiset kolme niistä siirretystä (s) suotimesta, sen yläjuoksun puoleisesta päästä (alku), keskivaiheilta (keski) sekä alajuoksun puoleisesta päästä (loppu)

	Ntot /TS mg/gka	Ptot /TS mg/gka	TS %	VS %	VS/TS
Kuiva olki	4,4355	2,1	92,22	83,11	0,90
4. vko	4,5803	0,49	17,39	16,24	0,93
M s. alku	6,4838	0,54	15,76	15,42	0,98
M s. keski	3,7185	0,62	18,15	17,11	0,94
M s. loppu	4,3306	0,45	15,32	13,99	0,91
M es. keski	6,7397	0,54	14,85	13,70	0,92

Kokeen toisen vaiheen eli mylläysvaiheen näytteitä voi jossain määrin verrata ensimmäisen vaiheen neljännen viikon tuloksiin. Tulosten eroavaisuuksiin voi olla vaikuttanut erilaiset sääolot. Erot ei-siirretyn ja siirretyn suotimen välillä voivat ainakin osittain johtua siirron aiheuttamasta olkimassan tiivistymisestä.

Mylläysvaiheessa näkyy näytteiden VS/TS suhteessa eroja sekä suotimen eri osissa, että ei-siirretyn ja siirretyn suotimen välillä. Keskivaiheilta suotimia otetuissa näytteissä ei VS/TS suhteessa juuri näy eroa, myöskään verrattaessa ensimmäisen vaiheen neljännen viikon tuloksiin. Suotimen eri osien välinen ero VS/TS suhteessa voi kertoa, että mylläysvaiheessa irtotettu pohjasedimentti saattoi sisältää paljon orgaanista ainesta joka jäi suotimen alkuosaan paremmin.

Kokonaistyyppipitoisuus kuiva-ainetta kohti oli myös korkea suodinmassan alkupäässä, mikä tukee oletusta, että paljon orgaanista ainetta sisältävää pohjasedimenttiä irtosi mylläyksen aikana. Keskivaiheen matalampi kokonaistyyppipitoisuus kuiva-ainetta kohti voi johtua epäorgaanisen aineen pitoisuuden kasvamisesta esimerkiksi suodinmassa on hidastanut veden virtausta ja epäorgaanisen ainesta on jäänyt enemmän suotimen keskivaiheille.

Kokonaisfosforipitoisuus kuiva-ainetta kohti oli korkein suodinmassan keskivaiheilla, mikä myös tukisi teoriaa siitä, että suodinmassan keskivaiheille olisi kertynyt enemmän epäorgaanista ainesta. Kokonaisfosforipitoisuudet kuiva-ainetta kohti olivat kuitenkin huomattavan alhaiset verrattuna oljen alun perin sisältämään fosforimäärään.

Kuvassa 23. (s. 27) on nähtävissä ero ei-siirretyn ja siirretyn biosuotimen välillä. Siirretyn suotimen olkimassa oli painunut tiiviimmin alajuoksun puoleiseen päähän suodinta, koska raskasta suodinta siirrettäessä sen joutui nostamaan pystyasentoon. Kuvassa 24. (s. 27) näkyy samojen suodinmassojen ero, kun ne oli purettu pois ojarummusta.



Kuva 23. Kuvasta näkee eron siirretyn (vasemmalla) ja ei-siirretyn bio-suotimen välillä. Siirrossa putken joutui nostamaan pystyyn ja vettynyt olkimassa painui putken toiseen päähän. Mylläysvaiheen näytteiden keruuvaiheessa kolme päivää mylläyksen jälkeen Riuskanojan pinta oli jo jäätynyt. (Kuva: P. Lohela)



Kuva 24. Salaojaputkista purettujen olkimassojen ero: taempana siirretyssä putkessa ollut olkimassa ja edessä ei-siirretyssä ollut. (Kuva: P. Lohela)

6.6 Muutokset vesinäytteissä kokeen mylläysvaiheessa

Taulukossa 6. on kuvattu toisen vaiheen eli mylläysvaiheen vesinäyteanalyysien tuloksia.

Taulukko 6. Toisen vaiheen vesinäytetulokset. Ensimmäiset kaksi riviä ennen mylläystä ja loput 30 minuuttia ja 90 minuuttia mylläyksen jälkeen (yj. = yläjuoksu, aj. = alajuoksu)

1.11	Ennen yj.	Ennen aj.	30 min. jälk. yj.	30 min. jälk. aj.	90 min. jälk. yj.	90 min. jälk. aj.
N_{tot} mg/l	8,94	2,02	2,71	1,57	1,75	1,65
P_{tot} mg/l	0,372	alle	alle	0,118	alle	0,128
TC mgC/l	18,8	56,4	73,65	59,1	58,95	46,35
TIC mgC/l	15,6	46,8	48,3	48,6	47,85	42,0
TOC mgC/l	3,02	9,4	25,35	10,5	11,1	alle

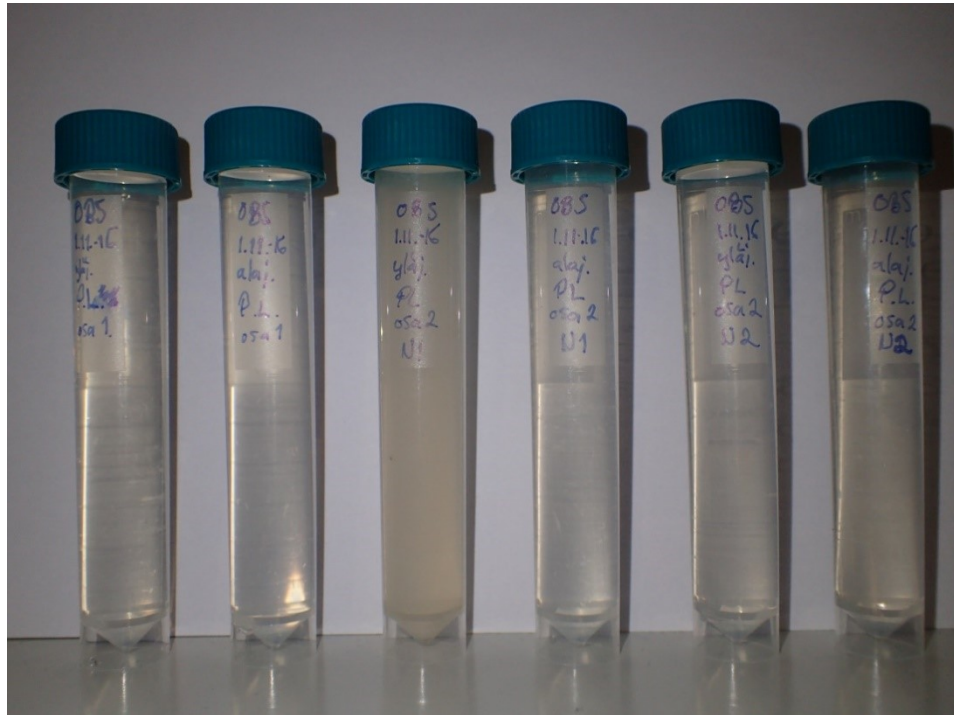
Yläjuoksun näyte ennen mylläystä on hylätty epäuskottavan tuloksen takia. Vesinäytteiden tuloksista näkee muutoksen myllätyn, pohjasedimenttejä sisältävän, vesimassan kulkien näytteenottoalueiden ohi. Jotta olisi voitu saada vesinäytetuloksia, joiden perusteella olisi voitu päätellä jotain olkibiosuotimen toimivuudesta työnaikaisen kiintoaineksen keruussa, olisi tarvittu huomattavasti tiheämpää näytteenottoa.

Mylläyksen aikana pystyi selkeästi erottamaan alueen, jolla pohjasedimenttiä runsaasti sisältävä vesimassa liikkui. Kirkkaan veden ja myllätyn veden raja oli selkeästi havaittava (Kuva 25.).



Kuva 25. Ero myllätyn (kiven oikea puoli) ja ei myllätyn (kiven vasen puoli) veden ulkonäön välillä. (Kuva: P. Lohela)

Vesinäytteissä näkyi sameudessa silmämääräisesti myös eroja. Etenkin 30 minuutin kohdalla otettu näyte, joka oli yläjuoksun puolelta olkibiosuodinta, oli selkeästi sameampana kuin muut näytteet (Kuva 26.), mikä oli nähtävissä myös vesinäytteistä tehtyjen analyysien tuloksissa. 90 minuutin kohdalla ei näkynyt enää silmämääräisesti muutoksia ylä- tai alajuoksun vesinäytteissä verrattuna ennen mylläystä otettuihin vesinäytteisiin.



Kuva 26. Vesinäytteet otettuna ennen mylläystä (ensimmäiset kaksi putkea, joista vasemmanpuoleinen olkibiosuodimesta katsottuna yläjuoksun puolelta ja oikeanpuoleinen alajuoksun puolelta), 30 minuuttia mylläyksen aloituksen jälkeen (kolmas ja neljäs putki, ensin yläjuoksun puoleinen ja sitten alajuoksun) sekä 90 minuuttia mylläyksen aloituksesta (viimeiset kaksi putkea, ensin yläjuoksun puoleinen ja sitten alajuoksun). (Kuva: P. Lohela)

6.7 Ongelmatarkastelu

Syksy oli vähäsateinen, joten virtaamat Riuskanojassa olivat pieniä eikä pintavaluntana tulevaa kiintoainesta todennäköisesti juuri päätynyt ojaan. Pienestä virtaamasta johtuen olkibiosuodinmassa ei myöskään ollut kovin paksusti veden kanssa kosketuksissa.

Mylläysvaiheessa tarve siirtää olkibiosuotimia saattoi vaikuttaa tuloksiin, kun suodinmassa tiivistyi.

Vesinäytteiden pienuuden takia osaa analyyseistä ei voitu tehdä kaikille näytteille ja matalien ravinnepitoisuuksien takia laimentaminen aiheutti

osalle näytteistä liian matalan pitoisuuden, jotta niitä olisi voitu lukea luotettavasti.

Osa käytetyistä Hach Langen testeistä oli uusia laboratorioissa ja niiden kanssa työskentely ei sujunut ongelmitta. Tämä yhdistettynä pieneen näytemäärään teki vesinäytteiden tulostentarkastelusta hankalaa.

7 POHDINTA

Alustavissa kokeissa pystyttiin kehittämään olkibiosuodintratkaisu, jossa veden läpivirtaama oli riittävä, jotta vesi ei alkanut kiertämään suodinta. Tähän olkibiosuodintrakaisuun tarvittavat raaka-aineet olisi myös mahdollista löytää monilta maataloilta ilman suurempia hankintoja.

7.1 Oljen käyttömahdollisuus ravinteiden keruussa jatkuvatoimisesti

Kokeen aikana olkibiomassa ensin luovutti typpeä ennen kuin alkoi sitoa sitä itseensä. Typen sidonta kuuden viikon kohdalla ei kuitenkaan ollut noussut paljoa oljen alkuperäistä typpimäärää korkeammaksi. Fosforin määrä laski neljännekseen alkuperäisestä jo kahden viikon kohdalla ja jatkoi tippumista kokeen loppuun asti

Ravinnepitoisuudet ojassa olivat alhaiset, joten mahdollisesti ravinteiden määrä ei riittänyt tehokkaan biofilmimassan muodostumiseen. Ojan pohjasedimenteissä on myös denitrifioivia bakteereja, joten heikon virtaaman aikana on myös mahdollista, että typpeä on hävinnyt olkimassasta muuttamalla alkuaineiseen kaasumuotoonsa.

Näissä olosuhteissa oljen kykyä sitoa ravinteita ei voi sanoa riittäväksi.

7.2 Oljen käyttömahdollisuus työnaikaisessa kiintoaineksen keruussa

Työnaikaisen kiintoaineksen keruukoe jäi kesken johtuen Riuskanojan jäätymisestä. Kuivan oljen tehoa kiintoaineksen keruussa ei näin ollen saatu tutkittua. Fosforin voimakasta vähenemistä olkibiomassasta ei olisi ehkä ehtinyt ilmenemään kuivaa olkea käytettäessä, kuten pitkän vedessä olleella oljella tapahtuu ja fosforinpidätyskyky olisi voinut olla parempi.

Alkuosassa olkibiosuodinta oli huomattavan suurtakin typenpidätystä ja myös tämä osa vaatisi lisää tutkimusta.

Olkibiosuotimen käyttö työnaikaisessa kiintoaineksen keruussa vaikuttaa potentiaalisemmalta sovellukselta ravinteiden keräämiseen kuin sen käyttö jatkuvatoimisesti, mutta tarvitaan lisää kokeita asian selvittämiseen.

Amerikassa on tutkittu laajasti kenttäkokeissa typenpoistoa salaojavesistä eloperäisillä biosuodin materiaaleilla denitrifikaatioprosessissa ja siinä on saatu lupaavia tuloksia typenpoistotehokkuudesta sekä menetelmien taloudellisuudesta. Tämän kaltaista tutkimusta voisi olla mielenkiintoista tehdä myös Suomessa. Amerikassa tehdyissä tutkimuksissa käytettiin puulastuja suodin materiaalina. (Christianson 2011, 72–85.)

LÄHTEET

Cao, W., Wang, Y., Sun, L., Jiang, J. & Zhang, Y. (2015) Removal of nitrogenous compounds from polluted river water by floating constructed wetlands using rice straw and ceramsite as substrates under low temperature conditions. *Ecological Engineering*, 88 (2016), 77–81.

Capodici, M., Morici, C. & Viviani, G. (2014) Batch Test Evaluation of Four Organic Substrates Suitable for Biological Groundwater Denitrification. *Chemical Engineering Transactions*, vol. 38, 2014, 43–48. DOI: 10.3303/CET1438008. Haettu 2.10.2016 osoitteesta <http://www.aidic.it/cet/14/38/008.pdf>

Christianson, L. R. (2011) *Design and performance of denitrification bio-reactors for agricultural drainage*. Opinnäytetyö. Iowa State University. Haettu 27.4.2017 osoitteesta <http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1348&context=etd>

HAMK. (n. d.) Ravinteet pellossa vaan ei vesistössä. Ravinneresurssihankeen hankesivut. Haettu 4.4.2017 osoitteesta <http://www.hamk.fi/tyoelamalle/hankkeet/ravinneresurssi/Sivut/default.aspx>

Hartikainen, H. (2013) Ravinnehuhtoumat ja niiden ehkäiseminen. Elin-tarvike- ja ympäristötieteiden laitos. Helsingin yliopisto. Haettu 28.9.2016 osoitteesta http://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2013/02/Hartikainen_27032013.pdf

Kannisto, L. (2016a) *Ravinnekuormituksen vähentäminen ojavesien käsittelyllä*. Ravinteet pellossa vaan ei vesistöön -hanke. Raportti. Hämeen ammattikorkeakoulu.

Kannisto, L. (2016b) *Nitraatin absorboituminen olkimateriaaliin*. Ravinteet pellossa vaan ei vesistöön -hanke. Raportti. Hämeen ammattikorkeakoulu.

Karatan, E. & Watnick, P. (2009) Signals, Regulatory Networks, and Materials That Build and Break Bacterial Biofilms. *Microbiology and molecular biology reviews*, 7/2009, Vol. 73, No. 2, p. 310–347. Haettu 13.9.2016 osoitteesta <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19487730>

Karosto, K. (2016) *Biosuodattimet metsätalouden vesiensuojelussa*. Mikkelin ammattikorkeakoulu, vapaamuotoisia julkaisuja 85. Haettu 6.1.2017 osoitteesta <https://www.xamk.fi/tutkimus-ja-kehitys/biosuodattimia-metsatalouteen/>

Kipinä-Salokannel, S. (2013) Maatalouden ympäristövaikutusten muodostuminen, valuma-aluekohtaisia tarkasteluja. Maatalouden ympäristöneuvojen koulutuspäivät. Varsinais-Suomen ELY-keskus, Vesien tilan yksikkö. Haettu 1.10.2016 osoitteesta <https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjz8PLas7 PAhXBliwKHUupsBjwQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ymparisto.fi%2Fdownload%2Ffname%2F%257B13540E65-5489-425E-97EE-AF02EC0ADABA%257D%2F55828&usg=AFQjCNE6N9RUJg2BhSAED2r3YdT Oa3uzwg>

Lamminparras, A. (2013) Kestävämpi maatalous Uudellemaalle *Tavoitteena vesien hyvä tila ja ravinteiden kierto*. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 38/2013. Haettu 26.9.2016 osoitteesta http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/90623/ELY_maatalous_uudellamaalla.pdf?sequence=2

Laurila, J. & Saarinen, J. (2014). Peltobiomassojen korjuu ja sen ympäristövaikutukset – kohdealueena Varsinais-Suomi ja Satakunta. Satafood Kehittämisyhdistys ry. Haettu 2.1.2017 osoitteesta <http://docplayer.fi/4248792-Peltobiomassojen-korjuu-ja-sen-ymparistovaikutukset-kohdealueena-varsinais-suomi-ja-satakunta.html>

Montana State University. (n. d.) Biofilm Basics. Haettu 3.10.2016 osoitteesta www.biofilm.montana.edu/biofilm-basics.html

Nummela, J., Kannisto, L., Pakarinen, A. & Kymäläinen, M. (2015). *Kierrätettävillä biosuotimilla tehoa rejektivesien puhdistukseen*. Hämeen ammattikorkeakoulu. Tutkimusraportti.

Pekkarinen, M. (n. d.) Kasvinviljelyn perusteita. Haettu 28.4.2017 osoitteesta <http://mattipekkarinen.net/kasvisivut/kasvutek.htm>

Rajala, J., Leinonen, P. & Schepel, I. (2006) Ravinnekierrot ja ravinnehuolto luonnonmukaisessa viljelyssä. Teoksessa J. Rajala (toim.) *Luonnonmukainen maatalous*. Helsingin Yliopiston Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, julkaisu no 80. Haettu 28.4.2017 osoitteesta http://www.luomu.fi/materiaalit/Luonnonmukainen%20maatalous%20-kirja/4_Ravinnekierrot_ja_ravinnehuolto_126_s.pdf

RE-maatila. (2016). Oljesta lämpöenergiaa maataloilille. Ravinne- ja energiatehokas maatila-hanke. Haettu 2.1.2017 osoitteesta <http://ravinnejaenergia.fi/fi/oljesta-lampoenergiaa-maatiloille/>

Ruane, E. M., Murphy, P. N. C., Healy, M. G., French, P. & Rodgers, M. (2011) On-farm treatment of dairy soiled water using aerobic woodchip filters. *Water Research* 45 (2011) 6668–6676. Haettu 2.10.2016 osoitteesta

teesta

http://www.chesapeake.org/stac/presentations/63_Ruane%20E%20et%20al_2011_On%20farm%20treatment%20of%20dairy%20soiled%20water%20using%20aerobic%20woodchip%20filters.pdf

Saliling, W. J. B. (2005) *Denitrification of aquacultural by-products as bio-filter media*. Opinnäytetyö. Biological and Agricultural Engineering. North Carolina State University. Haettu 2.10.2016 osoitteesta <https://repository.lib.ncsu.edu/bitstream/handle/1840.16/35/etd.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Saliling, W. J. B., Westerman P. W. & Losordo, T. M. (2007) Wood chips and wheat straw as alternative biofilter media for denitrication reactors treating aquaculture and other wastewaters with high nitrate concentrations. *Aquacultural Engineering* 37 (2007) 222–233.

Talvitie, S. (2014) *Biofilmit bakteeri-infektioissa*. Lisensiaatti tutkielma. Eläinlääketieteellinen tiedekunta. Helsingin Yliopisto. Haettu 16.4.2017 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135883/Biofilmit%20bakteeri%20infektioissa%20lisensiaatin%20tutkielma.pdf?sequence=1>

Tortora, G. J., Funke, B. R. & Case, C. L. (2010) *Mikrobiology – An Introduction*. Pearson International Edition. Tenth Edition. Pearson Education Inc. San Francisco, USA. 163–164.

Valkama, P. (2014) Ravinnehuhtoumat pelto-ojaan ja metsäpuroon. Uudenmaan ELY-keskus. Havaintoja 2/2014, Haettu 26.9.2016 osoitteesta https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjO_vTk1a_PAhVHliwKHUB0C9AQFggZMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ymparisto.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257BE7164353-CA13-46A9-A4C6-46CE18C567A6%257D%2F99770&usq=AFQjCNEdV1_XvBONJgrRBrGwGj3kTeGS_w&cad=rja

Varnam, A. H. & Evans, M. G. (2000). *Environmental Microbiology*. Manson Publishing Ltd. London. UK. 8–15.

Ympäristöministeriö. (2016) Ravinteiden kierrätyksen edistämistä ja Saa-ristomeren tilan parantamista koskeva ohjelma. Ympäristöministeriö. Haettu 7.5.2017 osoitteesta <http://www.ymparisto.fi/ravinteidenkierratys>

Äijäläinen, T. (2016) *Oljen voimalaitospolton teknis-taloudellinen selvitys Suomessa*. Diplomityö. Konetekniikan koulutusohjelma. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Haettu 6.1.2017 osoitteesta <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/24149/Aijalainen.pdf?sequence=1>