

# BIOSUODATTIMET METSÄ- TALOUDEN VESIENSUOJELUSSA

Kalle Karosto (toim.)



**MAMK**  
University of Applied Sciences





# BIOSUODATTIMET METSÄTALOUDEN VESIENSUOJELUSSA

KALLE KAROSTO (TOIM.)

TAPIO 



ETELÄ-SAVON  
MAAKUNTALIITTO

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU  
MIKKELI 2016

D: VAPAAMUOTOISIA JULKAISUJA – FREE-FORM PUBLICATIONS 85

© TEKIJÄ(T) JA MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

KANSIKUVA: KALLE KAROSTO

PAINO JA TAITTO: GRANO OY

ISBN: 978-951-588-579-1 (NID.)

ISBN: 978-951-588-580-7 (PDF)

ISSN: 1458-7629 (NID.)

JULKAISUT(A)XAMK.FI



## SISÄLTÖ

<b>Lukijalle.....</b>	<b>5</b>
<b>Kirjoittajat.....</b>	<b>7</b>
<b>Kestävää vesiensuojelua .....</b>	<b>9</b>
Kati Kontinen	
<b>Metsätalouden vesiensuojelun tavoitteet.....</b>	<b>11</b>
Samuli Joensuu	
<b>Metsätalouden vesiensuojelun jatkuva kehitys .....</b>	<b>17</b>
Samuli Joensuu	
<b>Kunnostusojitukset ja vesiensuojelu –tulevaisuuden mahdollisuudet ..</b>	<b>19</b>
Kati Kontinen	
<b>Turpeen humuksen käyttäytyminen vedessä.....</b>	<b>29</b>
Kalle Karosto & Laura Lukkarinen	
<b>Valumavesien käsittelyyn soveltuvat biosuodatinmateriaalit ja niiden laboriotestaukset .....</b>	<b>37</b>
Laura Lukkarinen & Tuija Ranta-Korhonen & Sari Seppäläinen & Hanne Soininen	
<b>Biosuodattimien testaus vesiensuojelukohteissa – analyysitulokset....</b>	<b>55</b>
Kalle Karosto & Laura Lukkarinen & Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen	
<b>Suodatinratkaisut tulevaisuuden vesiensuojelussa.....</b>	<b>75</b>
Samuli Joensuu & Kalle Karosto	



# LUKIJALLE

”VETU – Metsätalouden vesiensuojelun tehostaminen biosuodattimilla” hanke on Mikkelin ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -painoalan hanke. Mikkelin ammattikorkeakoulu toteuttaa hanketta yhdessä Tapio Oy:n kanssa. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, RPK-Hiili Oy, Tapio Oy ja Vapo Oy.

Hanke käynnistyi 1.1.2015. Hankkeen projektipäällikkönä toimii MMM Kalle Karosto ja laboratorioinsinöörinä aloitti Sari Seppäläinen (Ins. AMK). Sari Seppäläisen siirtyessä toisiin työtehtäviin, aloitti laboratorioinsinöörinä 4.3. tutkimusinsinööri Tuija Ranta-Korhonen (Ins. AMK, FM). Tuija Ranta-Korhosen siirryttyä toisiin tehtäviin 15.6.2016, laboratorioinsinöörinä hankkeessa aloitti Laura Lukkarinen (Laboratorioanalyttikko AMK). VETU-hankkeen vastuullisina johtajina ovat olleet tutkimusjohtaja, TkT Kati Manskinen (1.1.-31.7.2015) ja tutkimusjohtaja, dosentti, FT Yrjö Hiltunen (1.8.2015-31.12.2016). Hankkeen yhteyshenkilönä on ollut tutkimuspäällikkö, MML Kati Kontinen. Hankkeen toteutukseen ovat osallistuneet myös hankesihteeri Marjut Huttunen, harjoittelijat ins. (AMK) opiskelijat Henri Hiltunen, Tuomas Pöyry, Henri Kettunen, Ville Viljanen, Niko Räsänen, Salla Thil, Johanna Kainulainen ja Michiel De Groot.

Hanketyön etenemistä ohjasi ja valvoi ohjausryhmä, johon kuuluivat ympäristöpäällikkö Sanna Poutamo Etelä-Savon maakuntaliitto, asiakkuuspäällikkö Tarja Härmäläinen Suomen Metsäkeskus, ympäristöinsinööri Teemu Tuovinen Etelä-Savon ELY-keskus, johtaja Petri Pajunen Metsänhoitoyhdistys Etelä-Savo, kehityspäällikkö Jaakko Soikkeli Vapo Oy, erityisasiantuntija Ari Erkkilä Vapo Oy, bioenergiainsinööri Jussi Karppanen Etelä-Savon Energia Oy, toimitusjohtaja Jari Rissanen RPK-Hiili Oy, projektipäällikkö Lauri Saaristo Tapio Oy, vesiensuojelun asiantuntija Samuli Joensuu Tapio Oy, tutkimuspäällikkö Kati Kontinen Mamk Oy ja tutkimuspäällikkö Hanne Soininen Mamk Oy.

Tekijät kiittävät hankkeen rahoittajia kehittämistyön mahdollistamisesta sekä hankkeen sisäisten työryhmien jäseniä ja hankkeeseen osallistuneita yrittäjiä aktiivisesta osallistumisesta hanketyöhön.

Mikkelissä 8.12.2016





# KIRJOITTAJAT

**Samuli Joensuu, MMT, vesiensuojelun asiantuntija**

Tapio Oy

**Kalle Karosto, MMM, projektipäällikkö**

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia –painoala

**Kati Kontinen, MML, tutkimuspäällikkö**

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia –painoala

**Laura Lukkarinen, laboratorioanalyytikko (AMK), tuotekehitysinsinööri**

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia –painoala

**Tuija Ranta-Korhonen, FM, insinööri (AMK), projektipäällikkö**

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia –painoala

**Sari Seppäläinen, insinööri (AMK), laboratorioinsinööri**

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia –painoala

**Hanne Soinen, DI, tutkimuspäällikkö**

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia –painoala





# KESTÄVÄÄ VESIENSUOJELUA

*Kati Kontinen*

Metsätalouden vesistökuormitus kohdistuu usein herkimpiin latvavesiin, joissa muu kuormitus on yleensä vähäistä. Metsätalouden osuus ihmistoiminnan aiheuttamasta vesistöjen ravinnekuormituksesta on noin 6 % fosforipäästöistä ja 5 % typpipäästöistä. Merkittävintä haittaa aiheutuu lisääntyneestä kiintoaineen huuhtoutumisesta; ravinnekuormituksen merkitys on vähäisempi. Vesistökuormituksen kannalta erityisen merkittäviä ja pohjavesille pilaantumisriskiä aiheuttavia metsätaloustoimenpiteitä ovat kunnostusojitus, maanmuokkaus, lannoitus, kantojen nosto sekä hakkuut osin suurien toteutusmääriensä vuoksi. Hakkuiden ja lannoitusten yhteydessä vesistöjä suojellaan suojakaistojen avulla, kunnostusojitusten yhteydessä puolestaan tekemällä ojitusalueelle lietekuoppia, kaivu- ja perkauskatkoja, laskeutusaltaita sekä pintavalutusta. Lisäksi käytössä ovat pohja- ja putkipadot sekä kosteikot.

## Metsätalouden vesiensuojelun ohjauskeinot

Pitkäjänteisessä ja vastuullisessa metsätaloudessa metsiä hoidetaan ja käytetään ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestäväällä tavalla. Jokainen metsänomistaja hoitaa ja käyttää metsiään omien tavoitteidensa mukaisesti. Yhteiskunta asettaa metsien käsittelyä koskevat vähimmäisvaatimukset metsälainsäädännössä. Myös sertifiointijärjestelmät (PEFC ja FSC) sisältävät vaatimuksia metsien hoidolle ja käytölle. Nämä velvoitteet ja vaatimukset ovat metsänhoitosuosituksen lähtökohtana, johon myös vesiensuojelu kuuluu olennaisena osana. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion ylläpitämät vesiensuojelusuositukset päivitettiin viimeksi keväällä 2013. Metsätalouden vesiensuojelua ohjaavaa lainsäädäntöä sisältyy useisiin lakeihin, kuten vesilakiin, ympäristönsuojelulakiin, metsälakiin sekä vastaaviin asetuksiin. Suometsätalouden vesiensuojelua voidaan ohjata jossakin määrin myös kestävä metsätalouden rahoituslain avulla, kuten suurempia vesiensuojelurakenteita rahoittamalla.

Vuonna 2012 voimaan tulleeseen vesilakiin sisältyy ilmoitusmenettely, jonka mukaan vähäistä suuremmista ojituksista tulee tehdä ilmoitus ELY-keskukselle. Ilmoituksen perusteella arvioidaan luvitus- tai ojitustoimituksen tarve sekä ojituksen vaikutukset valuma-aluekohtaisesti. Tämän ennakkovalvonnan lisäksi ELY-keskus voi jälkikäteen valvoa kohteiden vesiensuojelun toteutumista maastotarkastuksin ja kehottaa tarvittaessa tehostamistoimiin.

## **Metsätalouden vesiensuojelun haasteet**

Metsätaloudessa on jatkuvasti tarvetta kehittää entistä tehokkaampia vesiensuojelumenetelmiä erityisesti turvemaille ja hienojakoisille maille kohdistuvilla kunnostusojituskohteilla. Hienoainesten ja ravinteiden kulkeutumista virtaavien vesien mukana on perinteisillä menetelmillä vaikea täysin estää. Erityyppisiä suodatinratkaisuja ovat testanneet ja tutkineet mm. Vapo Oy, Luke ja Syke. Suodattimien toiminnan haasteena ovat luonnonvesien vaihtelevuus ja kylmyys. Suodattimien pinnoille oletetaan muodostuvan biofilmi, joka toimiessaan varastoi ravinteita. Erilaisilla suodattimilla ei vesiensuojelun ongelmakenttää kuitenkaan ratkaista, vaan ne toimisivat parhaiten vesiensuojelua täydentävänä komponenttina esimerkiksi tehostaen altaiden toimivuutta.

Mikkelin ammattikorkeakoulussa toteutettiin Metsätalouden vesiensuojelun tehostaminen biosuotimilla (Vetu) -niminen hanke. Sen tavoitteena oli kehittää metsätalouden vesiensuojeluun suodattimia, jotka vähentävät kiintoaine- ja ravinnekuormitusta alapuolisiin vesistöihin. Materiaaleina suodattimissa käytettiin mm. haketta, biohiiltä, palaturvetta ja kalkkikiveä. Tässä julkaisussa kerrotaan hankkeesta tehdyistä laboratorio- ja maastokokeista sekä hankkeen tuloksista. Hanketta toteuttivat Mikkelin ammattikorkeakoulun metsätalouden ja ympäristötekniikan laitos sekä Tapio Oy. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta sekä RPK Hiili Oy ja Vapo Oy.

# METSÄTALouden VESIENSUOJELUN TAVOITTEET

*Samuli Joensuu*

## Metsätalous ja vesistöt

Luonnonhuuhtouman lisäksi vesistöihin tulee kuormitusta useista ihmistoimintaan kytkeytyvistä lähteistä. Maataloutta pidetään suurimpana yksittäisenä ihmistoiminnasta johtuvana vesistöjen kuormittajana kiintoaineen, typen ja fosforin osalta. Kun asiaa arvioidaan valtakunnallisesti huomioiden Itämereen (myös Pohjanlahteen ja Suomenlahteen) laskevat joet, metsätalouden typpikuormituksen osuus on noin viisi prosenttia ja fosforikuormituksen osuus noin kuusi prosenttia. Sisävesistöissä metsätalouden kuormitusosuus vaihtelee kuitenkin huomattavasti. Erityisesti latvavesistöjen, kuten pienten järvien, lampien ja jokien sekä purojen ja norojen valuma-alueilla metsätalous voi olla ainoa kuormittaja. Merkittävintä haittaa aiheutuu lisääntyneestä kiintoaineen huuhtoutumisesta.

Metsätalouden vesiensuojelua ohjaavat vesi- ja ympäristönsuojelulainsäädäntö (Vesilaki 587/2011 ja Ympäristönsuojelulaki 527/2014) sekä EU:n vesiputedirektiivi (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi [2000/60/EY] yhteisön vesipolitiikan suuntaviivoista). Metsätalous ei ole kuitenkaan ympäristöluvan varaista toimintaa. Tästä syystä esimerkiksi metsätaloudessa sovellettu vesiensuojelu perustuu yhteisesti sovittuihin ja käytännön toiminnassa testattuihin suosituksiin. Yksityismailla ja metsäyhtiöiden mailla noudatetaan pääsääntöisesti Tapion laatimia vesiensuojelusuosituksia, joita on laadittu ja aika ajoin päivitetty 1990-luvun alusta lähtien. Viimeisin päivitys on tehty vuosina 2012–2013 (Joensuu ym. 2013). Valtion mailla noudatetaan Metsähallituksen Ympäristöoppaassa (Savolainen ym. 2012) kuvattuja vesiensuojelumenetelmiä. Käytännössä suositukset ovat sisällöllisesti samat niin yksityis- kuin valtion maillakin.

Valumavesien kiintoainekulkeumat ja samentuminen ovat metsätalouden näkyvin vesistöhaitta. Metsätaloustoimenpiteistä kunnostusojitus, maanmuokkaus, uudistushakkuut, energiapuun korjuu ja jossakin määrin myös metsäautoteiden rakentaminen aiheuttavat kiintoainekuormaa. Metsänlannoitus ja hakkuut aiheuttavat ravinne-



huuhtoutumia. Esimerkiksi vuonna 2014 Suomessa tehtiin hakkuita hieman vajaan 700 000 hehtaarin alalla (Luke 2016). Tästä lähes neljännes oli uudistushakkuita ja kolme neljännestä harvennushakkuita. Metsämaata muokattiin 110 000 hehtaaria. Metsänlannoitusta tehtiin 2014 runsaat 44 000 hehtaaria. Tästä määrästä oli terveyslannoitusta vähän vajaat 12 000 hehtaaria. Kunnostusojitusta tehtiin 2014 runsaat 61 000 hehtaaria (Luke 2016).

Kunnostusojitus lisää kiintoaineen huuhtoutumista, kun kaivutyön yhteydessä maainesta irtoaa ja sekoittuu veteen. Myös lumensulamisedet ja ojissa virtaava vesi syövyttävät ojaluiskia ja kaivumassoja. Kunnostusojituksen aiheuttama kuormituksen lisääntyminen on suurimmillaan noin kahden vuoden ajan toimenpiteen jälkeen, ja vaikutus näkyy vähintään kymmenen vuoden ajan (Joensuu 2002).

## **Metsätaloudessa käytetyt vesiensuojelumenetelmät**

Metsätalouden suositusten mukaisia vesiensuojelumenetelmiä ovat kaivu- ja perkauskatkot, lietekuopat, pintavalutus, laskeutusaltaat, virtaaman säätö, kosteikot ja vesien hallittu viivyttäminen. Vesistöjen ja pohjavesien kannalta merkityksellisimpiä metsätaloustoimenpiteitä ovat kunnostusojitus, maanmuokkaus, lannoitus, kantojen nosto sekä hakkuut osin suurien toteutusmääriensä vuoksi. Hakkuiden ja lannoitusten yhteydessä valumavesiä puhdistetaan yleensä suojakaistan avulla, kunnostusojitusten yhteydessä puolestaan toteuttamalla lietekuoppia, kaivu- ja perkauskatkoja, laskeutusaltaita sekä pintavalutusta tai virtaamansäätöä tai kosteikkoja. Samoin valumavesiä voidaan hallitusti ohjata luonnontilaisille alueille, esimerkiksi soille.

Hakkuiden yhteydessä jätetään suojakaista hakkuualueen ja vesistön väliin. Suojakaistan leveys riippuu maanpinnan kaltevuudesta ja maaperän eroosioherkkyydestä. Vesistöjen varteen jätettävän suojavyöhykkeen maanpintaa ei rikota koneilla. Ravinnehuuhtoumien välttämiseksi myös hakkuutähteet suositellaan korjattavaksi pois suojavyöhykkeeltä. Hakkuissa vältetään purojen ja norojen ylityksiä.

Kunnostusojituksen yhteydessä kiintoainekulkeumaa voidaan vähentää jättämällä ojiin kaivu- tai perkauskatkoja. Veden virtausnopeutta voidaan hidastaa ojien pohjille rakennettavilla pohjapadoilla tai rumpujen yhteyteen tehtävillä virtaamansäätöpadoilla. Pintavalutus on oikein järjestettynä yksi tehokkaimmista keinoista vähentää vesistöön tulevaa kiintoainehuuhtoumaa, ja sillä voidaan jonkin verran vähentää myös liuenneiden ravinteiden, muun muassa liukoisen fosforin, kulkeutumista vesistöön (Silvan 2004, Väänänen 2008). Pintavalutuskenttänä on käytetty osaa vanhasta ojitusalueesta, kunnostusojituskelvotonta ojitusalueen osaa tai kunnostusojitusalueen välittömässä läheisyydessä olevaa soistunutta kivennäismaata tai luonnontilaista suota. Luonnontilainen suo ei kuitenkaan tähän saakka ole saanut olla metsälain 10. §:n mukainen erityisen tärkeä elinympäristö (Kestävän metsätalouden määräaikainen rahoituslaki 2015, Metsälaki 27.6.2014/567, HE 75/2014). Tulevaisuudessa mahdol-

lisuudet hyödyntää jopa elintärkeitä ympäristöjä vesiensuojelussa saattavat laajentua, koska ainakin tällä hetkellä vesien johtamiselle esimerkiksi Natura-kohteille ollaan hyvin avoimia (Alanen & Aapala 2015). Hyvin toimiville pintavalutuskentille jää 70–90 prosenttia kiintoaineesta.

Kunnostusojitetun alueen sarkaojissa noin 100 metrin välein sijoitetuilla lietekuopilla voidaan vedestä poistaa ojan pohjaa pitkin kulkeutuvaa kiintoainetta. Laskeutusaltaat ovat tärkein vesiensuojelutoimenpide sellaisilla kunnostusojitusalueilla, joilla pohjamaa on keskikarkeaa tai karkeaa kivennäismaata. Laskeutusaltailla voidaan poistaa veden mukana tulevasta kiintoaineesta 30–50 prosenttia, parhaissa tapauksissa jopa 60–70 prosenttia. Kosteikolla taas tarkoitetaan aluetta, joka on runsaan virtaaman aikana veden peittämä ja pysyy muun ajan märkänä tai kosteana. Toimiva kosteikko sisältää syvänteen ja matalan veden osan, joka on kasvukauden aikana kasvillisuuden peitossa (Joensuu ym. 2012).

Suosittelun mukaisesti mitoitettuina vesiensuojelumenetelmät täyttävät metsätaloudessa parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) kriteerit. Metsätalouden vesiensuojelussa päähuomio kiinnitetään kiintoainehuuhtouman vähentämiseen. Menetelmävalikoimalla tähdätään edellä mainitun ohella myös siihen, että samalla voitaisiin vähentää kiintoaineeseen sitoutuneiden ravinteiden lisäksi jossakin määrin myös liukoisessa muodossa olevia ravinteita. Esimerkiksi kunnostusojituksen suunnittelun yhteydessä on mahdollista hyödyntää pitkäaikaiseen seurantaan perustuvaa laskentamenetelmää arvioitaessa kunnostusojituksen kiintoainekuormitusta (Joensuu ym. 2014a).

Metsätaloudessa käytetyt vesiensuojelumenetelmät ovat sovelluksia muillakin vastaavilla elinkeinoaloilla käytetyistä vesiensuojelumenetelmistä. Vastaavia menetelmiä käytetään muun muassa turvetuotannon ja kaivosteollisuuden yhteydessä. Toimenpiteiden mitoitussuosituksukset poikkeavat näillä elinkeinoaloilla vastaavista metsätalouden suosituksista. Osa näistä menetelmistä on käytössä myös maataloudessa.

Metsätalouden vesiensuojelumenetelmiä kehitettäessä tavoitteena ja peruslähtökohdana on ollut, että toimenpide olisi mahdollisimman luonnonmukainen ja huoltovapaa eikä menetelmä tarvitsisi toimiakseen ulkopuolista energiaa tai sellaisia rakenteita, joita pitäisi varta vasten käydä päivittäin tai viikoittain huoltamassa. Poikkeuksena ovat mahdolliset laskeutusaltaiden tyhjentämiset.

Rakenteiden toimintaperiaate perustuu veden virtaaman hidastamiseen ja sen kautta ylivirtaaman aikaisen uomaerosion estämiseen sekä veden mukana kulkeutuvan hiukkasen tai aineen laskeuttamiseen tai suodatukseen. Laskeuttamiseen perustuvissa menetelmissä virtaaman tuntemus ja veden virtausnopeuden hallinta ovat tärkeitä. Mitä kauemmin vesi saadaan viipymään rakenteessa, esimerkiksi laskeutusaltaassa, sitä parempi reduktiotulos saadaan. Laskeuttamiseen perustuvia menetelmiä ovat lietekuopat ja laskeutusaltaat sekä uomaerosiota estävät virtaaman hallintaan pe-

rustuvat menetelmät, kuten erilaiset patorakenteet. Pelkästään laskeuttamiseen perustuvilla menetelmillä ei käytännössä pystytä pidättämään kaikkia veden mukana kulkeutuvia hiukkasia tai aineita. Esimerkiksi laskeutusaltaiden mitoituksessa lähdetään siitä, että altaalla pystytään pidättämään hienoa hietaa ja sitä suurempia hiukkasia tulvajaksonkin aikana. Siitä syystä veden viipymä altaassa on vähintään yksi tunti tulvahuippujenkin aikana.

Suodatukseen perustuvilla menetelmillä pystytään pidättämään hienojakin aineksia, kuten savihiukkasia. Samoin ravinteiden ja muiden alkuaineiden pidättyminen näihin rakenteisiin toimii. Suodatukseen perustuvia menetelmiä ovat muun muassa pintavalutuskentät ja kosteikot. Parhaat vesiensuojelun tulokset metsätaloudessa on saatu yhdistelemällä erilaisia rakenteita toistensa kanssa maasto-olosuhteisiin sopeuttaen. Esimerkiksi yhdistämällä virtaamansäätö laskeutusaltaiden yhteyteen voidaan altaiden pidätystehoa tehostaa huomattavasti (Jämsen & Marttila 2011).

Vesiensuojelumenetelmien mitoitus perustuu pääsääntöisesti vesimäärälaskelmiin. Rakenteen yläpuolisen valuma-alueen ominaisuuksien perusteella arvioidaan kulloisessakin tilanteessa kevään keskiylivirtaama, jonka perusteella toimenpiteen dimensiot ja tarvittava pinta-ala määräytyvät. Yleisesti keskiylivirtaaman määrittämiseen on käytetty Seunan (1983) väitöskirjassaan esittämiä metsäisiä valuma-alueita koskevia yhtälöitä. Tällöin muun muassa puuston tilavuutta kuvaavan tunnuksen avulla sen haihduttava vaikutus tulee huomioiduksi valuma-alueen pinta-alan ja sijaintipisteen korkeusaseman ohella. Mitoituksen perustana on mahdollista käyttää myös suoraan metsäisillä valuma-alueilla tai kunnostusojitusalueilla toteutettujen jatkuvatoimisten pitkäaikaisten virtaamanmittausten tuloksia (Joensuu ym. 2014b).

## Lähteet

- Alanen, A. & Aapala, K. 2015. (toim.) Soidensuojelutyöryhmän ehdotus soidensuojelun täydentämiseksi. Ympäristöministeriön raportteja 26/2015. 175 s.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (2000/60/EY) yhteisön vesipolitiikan suuntaviivoista. HE 75/2014
- Joensuu, S., Kauppila, M., Lindén, M. & Tenhola, T. 2013. Hyvän metsänhoidon suositukset – Vesiensuojelu. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.
- Joensuu, S. 2002. Effects of ditch network maintenance and sedimentation ponds on export loads of suspended solids and nutrients from peatland forests. Seloste: Kunnostusojituksen vaikutus kiintoaineen ja ravinteiden huuhtoutumiseen suometsistä. Finnish Forest Research Institute, Research Papers 868. Doctoral thesis. 85 + 59 p.
- Joensuu, S., Kauppila, M., Tenhola, T., Lindén, M. & Vuollekoski, M. 2012. Kosteikot metsätaloudessa. Taso-hankkeen selvitys. 13 s.
- Joensuu, S., Vuollekoski, M. & Kauppila, M. 2014a. Ojien ja vesiensuojelurakenteiden kunto vanhoilla ojitusalueilla. Raportti, 50 s.
- Joensuu, S., Vuollekoski, M. & Kauppila, M. 2014b. Metsätalouden kustannustehokkaat vesiensuojelumenetelmät. Raportti, 74 s.
- Jämsén, J. & Marttila, H. 2011. Ohjeistus virtaamansäätöpadon rakentamiseen. Keski-Suomen metsäkeskuksen julkaisu 5/2011, 16 s.
- Kestävän metsätalouden määräaikainen rahoituslaki 34/2015
- Luke 2016: [http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_\\_04%20Metsa\\_\\_02%20Rakenne%20ja%20tuotanto\\_\\_12%20Metsanhoito-%20ja%20metsanparannustyot/01\\_Metsanhoito\\_ja\\_metsparant\\_tyomaar.px/?rxid=67918315-0416-47a0-88b4-4ca9172a3db7](http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__04%20Metsa__02%20Rakenne%20ja%20tuotanto__12%20Metsanhoito-%20ja%20metsanparannustyot/01_Metsanhoito_ja_metsparant_tyomaar.px/?rxid=67918315-0416-47a0-88b4-4ca9172a3db7)
- Metsälaki 27.6.2014/567
- Savolainen, R. & Taivainen, J.: Kulttuuripalvelut. Teoksessa: Päivinen, J., Björkqvist, N., Karvonen, L., Kaukonen, M., Korhonen, K.-M., Kuokkanen, P., Lehtonen, H. & Tolonen, A. (toim.) 2011. Metsähallituksen metsätalouden ympäristöopas. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 67. 162 s.
- Seuna, P. 1983: Smal Basins – A Tool in Scientific and Operational Hydrology. Vesientutkimuksen julkaisuja. Vesihallitus. Valtion painatuskeskus, Helsinki.

Silvan, N. 2004. Nutrient retention in a restored peatland buffer. Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen julkaisuja 32, 44 s.

Vesilaki 587/2011

Väänänen, R. 2008. Phosphorus retention in forest soils and the functioning of buffer zones used in forestry. Dissertationes Forestales 60, 42 s.

Ympäristönsuojelulaki 527/2014

# METSÄTALouden VESIENSUOJELUN JATKUVA KEHITYS

*Samuli Joensuu*

Paikkatietoaineistojen saatavuuden paraneminen ja teknisten laskentaresurssien lisääntyminen ovat luoneet mahdollisuuden kehittää ohjelmistoja, joiden avulla voidaan mallintaa kustannustehokkaasti tuhansien hehtaarien kokoisten valuma-alueiden ominaisuuksia. Paikkatietoanalyysien tavoitteena on tuottaa kunnostusojitusten suunnittelussa tarvittavaa tietoa täydentämään ja tehostamaan maastossa tapahtuvaa suunnittelua. Tämän kaltaista tietoa ovat esimerkiksi ojien valuma-alueiden pinta-alat sekä arvio ojien eroosioriskin suuruudesta.

Paikkatietoa voidaan hyödyntää mm. vesiensuojelurakenteiden mitoittamisen ja sijoittamisen optimoinnissa valuma-alueelle. Ennen kaikkea sillä on mahdollista ehkäistä kuormituksen syntymistä välttämällä eroosioherkkien uomien tarpeetonta perkaamista.

Mallinnuksen keinoja käytetään tulevaisuudessa myös entistä enemmän hyväksi arvioitaessa metsätalouden vesistökuormitusvaikutuksia. Mallinnusta tarvitaan EU:n vesipuitedirektiivin alueellisen toteutuksen yhteydessä, kun arvioidaan toimijoiden aiheuttaman kuormituksen osuuksia ja kuormituslähteitä eri vesistöalueilla.

Automaattiseen jatkuvaan maastoseurantaan perustuvaa veden laadun mittaustietoa tarvitaan välttämättä jatkossa, sillä ilman tätä havainnointia ei voida luotettavasti ennustaa ilmaston muutoksesta tai metsätaloustoimenpiteistä johtuvia muutoksia. Lisäksi suunnittelussa käytetyt paikkatietomenetelmät ja kuormituksen laskentamallit eivät toimi ilman maantieteellisesti edustavasti jakautuvaa laadukasta empiiristä havaintoaineistoa. Arviot metsätaloustoimenpiteiden vaikutuksesta valumavesien laatuun perustuvat tällä hetkellä monelta osin suhteellisen suppeaan seuranta-aineistoon ja siitä laskettuihin ominaiskuormituslukuihin. Mikäli metsätalouden toimenpiteistä halutaan luotettavaa ja kattavaa kuormitusvaikutustietoa, pitää hakuuden, maanmuokkauksen, kunnostusojituksen ja lannoituksen havaintoverkkoa laajentaa valtakunnallisesti kattavaksi.

Vesilakiin sisältyy ilmoitusmenettely, jonka mukaan vähäistä suuremmista ojituksista tulee tehdä ilmoitus ELY-keskukselle. Ilmoituksen perusteella arvioidaan luvitus- tai ojitustoimituksen tarve sekä ojituksen vaikutuksia valuma-aluekohtaisesti. Tämän ennakkovalvonnan lisäksi ELY-keskus voi jälkikäteen valvoa kohteiden vesiensuojelun toteutumista maastotarkastuksin ja kehottaa tarvittaessa tehostamistoimiin. Alueelliset vesienhoitosuunnitelmat tärkeä vesiensuojelun lähtökohta

EU:n vesipuitedirektiivi tuli voimaan vuoden 2000 lopulla. Sen toimeenpanoa on siitä alkaen valmisteltu alueellisesti ja valtakunnallisesti. Direktiivin vaikutukset ulottuvat niin lainsäädäntöön kuin myös alemman tason ohjeisiin ja suosituksiin.

Alueelliset vesienhoitosuunnitelmat ja niihin liittyvät toimenpideohjelmat ovat tärkeä osa EU:n vesipuitedirektiivin toteutusta tavoiteltaessa vesistöjen hyvää tilaa vuoteen 2015 mennessä. Vuoden 2009 lopulla valtioneuvosto hyväksyi toimijoiden ja viranomaisten yhteistyössä valmistelemat alueelliset vesienhoitosuunnitelmat vuosille 2010–2015 ja teki samalla periaatepäätöksen vesienhoitosuunnitelmien toteuttamisesta (Liite 15). Metsätalouden osalta valtioneuvoston periaatepäätöksessä esitetään muun muassa tarve kehittää metsätalouden vesistökuormituksen seurantaverkkoa.



# KUNNOSTUSOJITUKSET JA VESIENSUOJELU –TULEVAISUUDEN MAHDOLLISUUDET

*Kati Kontinen*

## Suomen metsien pinta-ala

Suomen maapinta-alasta (30,4 milj. ha) metsätalousmaa kattaa 86 prosenttia eli 26,2 miljoonaa hehtaaria. Metsätalousmaa sisältää sekä puuntuotantoon käytettävissä olevan maan että sen ulkopuolelle jäävät alueet. Puuntuotannon ulkopuolelle jäävillä alueilla metsätalouden harjoittaminen ei ole sallittua suojeluun, lakiin, kaavaan tai muuhun omistajan päätökseen liittyvien rajoitusten vuoksi. Metsätalousmaa jaetaan puuntuotoskykynsä perusteella metsämaahan (20,3 milj. ha), kitumaahan (2,5 milj. ha) ja lähes tai täysin puuttomaan joutomaahan (3,2 milj. ha). Lisäksi metsätalousmaahan kuuluu 0,2 miljoonaa hehtaaria muuta metsätalousmaata, joita ovat esimerkiksi metsätiet ja pysyvät puutavaran varastopaikat. Suomi on soinen maa: metsätalousmaasta kolmannes luokitellaan suoksi. Etelä-Suomessa suot kattavat metsä- ja kitumaista 23 ja Pohjois-Suomessa 35 prosenttia. Kun mukaan luetaan joutomaat, osuudet ovat hieman suuremmat. Yli puolet (58 %) Suomen soista luokitellaan rämeiksi, ja korprien osuus koko maassa on noin neljännes. Puuttomia avosoita on Etelä-Suomessa 7 ja Pohjois-Suomessa 23 prosenttia soiden pinta-alasta (Metsätilastollinen vuosikirja 2014).

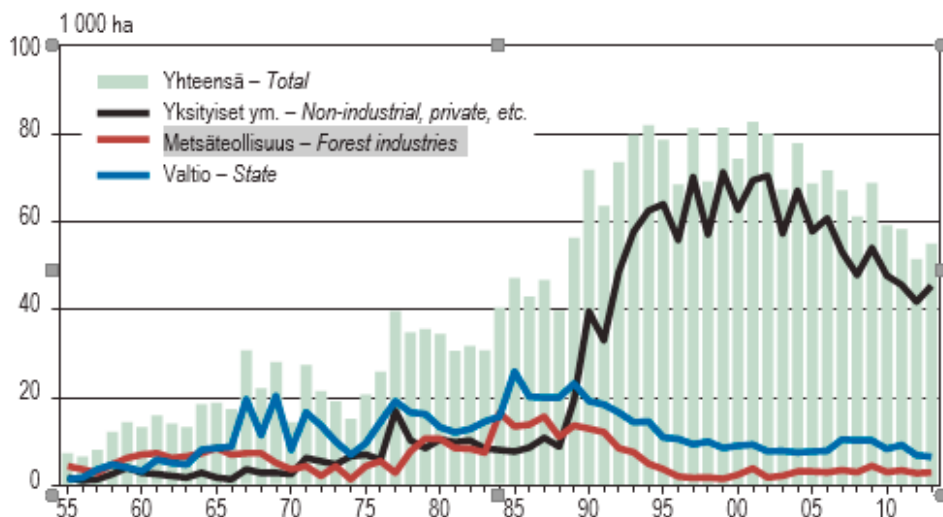
Metsän kasvun parantamiseksi koko maan nykyisestä suoalasta on ojitettu hieman yli puolet – Etelä-Suomessa osuus on 77 ja Pohjois-Suomessa 41 prosenttia. Ojitukset ovat muuttaneet kitu- ja joutomaan soita metsämaaksi ja parantaneet puuston kasvuolosuhteita huonokasvuisilla metsämaan soilla. Metsätaloudellisesta näkökulmasta virheellisiä eli puuntuotantoon liian karujen tai muuten soveltumattomien kohteiden ojituksia on 13 prosenttia ojitetusta suoalasta. Nykyisin soiden uudisojitus on lopetettu ja ojitusalueita hoidetaan kunnostusojituksin. Suometsien metsätaloudellinen merkitys kasvaa tulevaisuudessa, sillä on ennakoitu, että ojitusalueiden osuus Suomen metsien hakkuumahdollisuuksista nousee parin seuraavan vuosikymmenen aikana noin viidennekseen (Metsätilastollinen vuosikirja 2014).

## Suopuustot

Suopuustojen osuus tilavuudesta on suurin Pohjanmaalla ja pienin Hämeessä. Koko maassa kangasmailla kasvaa puuta 1 806 miljoonaa ja soilla 551 miljoonaa kuutiometriä (23 %). Puuntuotannon maalla vastaavat tilavuudet ovat 1 611 ja 511 miljoonaa kuutiometriä. Verrattuna vuosien 1996–2003 inventointiin tilavuus on kasvanut kankailla 12 prosenttia ja soilla 15 prosenttia (Metsätilastollinen vuosikirja 2014).

## Kunnostusojitukset

Kunnostusojitusten ala ylsi 55 000 hehtaariin (+7 %) vuonna 2013. Yksityismetsissä ojitusala kasvoi 46 000 hehtaariin (+9 %), ja lähes 60 prosenttia kunnostuksista tehtiin Pohjanmaalla.



KUVA 1. Kunnostusojitusmäärien kehittyminen Suomessa vuosina 1955–2013 (Metsätilastollinen vuosikirja 2014).

## Suometsien puustojen vaikutus puuhuoltoon

Suometsien merkitys teollisuuden puuhuollossa on voimakkaasti kasvamassa, kun turvemaille tehdyt investoinnit alkavat tuottaa tulosta. Nykyisin suometsistämme hakataan vuosittain vajaat 10 miljoonaa kuutiometriä raakapuuta. Valtakunnan metsien inventointien tuloksiin perustuvien skenaarioiden mukaan vuotuiset hakkuumäärät voisivat nousta 15–20 miljoonaan kuutiometriin seuraavien 20 vuoden aikana. Tämä vastaisi noin 30:tä prosenttia metsiemme kokonaishakkuumääristä. Turvemaihin

kohdistettujen tuotto-odotusten täysmittainen toteutuminen edellyttää kuitenkin ensiharvennusten ja metsänparannustöiden tekemistä ajallaan, jottei hakkuumahdollisuuksien suotuista kehitys vaarannu.

Suomessa metsätalouden käytössä olevasta maasta noin kolmannes on turvemaita, joista tällä hetkellä on ojitettu yli puolet. Suometsien merkitys maamme teollisuuden raaka-aineen lähteenä on jatkuvasti kasvanut. Nykyisellään soiden vuotuinen kasvu on 17,7 miljoonaa kuutiometriä, josta ojitettujen soiden osuus on 14,9 miljoonaa kuutiometriä. Metsänparannustoimenpiteiden ja metsänhoidon vaikutuksen suupuuston kasvuun arvioidaan olevan vähintään 15 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Tämä koostuu suurimmaksi osaksi massateollisuuden raaka-aineeksi soveltuvasta puusta. Suometsien ja yleensäkin ensiharvennusmetsien hakkuiden vähäisyyteen on viime vuosina kiinnitetty entistä enemmän huomiota niihin syntyneiden harvennusrästien vuoksi. Ensiharvennustarve kokonaisuudessaan on 2,4 miljoonaa hehtaaria, josta on toteutettu vain 30 prosenttia. Suometsien osuus ensiharvennustarpeesta on noin 30 prosenttia (Nuutinen ym. 2000).

Vuotuiset ojituspinta-alat olivat suurimmillaan 1960–1970-lukujen vaihteessa. Tästä syystä erityisesti ensiharvennusten sekä niihin liittyvien kunnostusojitusten tarve ojitetuilla turvemaita on lisääntynyt nopeasti. On kuitenkin ollut havaittavissa, että ensiharvennukset viivästyvät helposti ojitusalueilla pienen hakkuukertymän ja kangasmaita vaikeimpien puunkorjuuolosten vuoksi. Seurauksena on kasvutappioita ja myöhästyviä hakkuutuloja, jotka heikentävät ojitusinvestointien kannattavuutta. Suometsien harvennushakkuut, kunnostusojitukset ja muut metsänhoitotyöt ovat viime aikoina jääneet vähäisemmiksi kuin mitä metsänhoidollinen tarve edellyttäisi.

Hoitamattomuuden seurauksena puuston arvokasvu heikkenee, puunkorjuu vaikeutuu ja korjuun yksikkökustannukset kasvavat. Turvemaiden puunkorjuuta vaikeuttavat mm. maaston huono kantavuus, pitkät lähikuljetusmatkat, vähäinen hakkuukertymä, puuston pieni rungonkoko ja epätasainen jakautuminen leimikolla, puiden pinnallinen juuristo sekä ojaverkoston ja ajourien yhteensovittamisen haasteet.

Ojitusalueiden puunkorjuun suunnittelussa ja toteutuksessa toiminnan kokonaisvaltaisuus ja pitkäjänteisyys tulevat korostuneesti esille. Puunkorjuu on saatava käyntiin mahdollisimman pian ojitussuunnitelman teon jälkeen. Hakkuu on toteutettava siten, ettei ojitusaluetta tarvitse hakata ainakaan lähimpään 10 vuoteen. Vähänkin tarpeelliset hakkuut ja metsänhoitotyöt on tehtävä kunnostusojituksen yhteydessä. Pelkkä ojalinjosten avaaminen ei riitä, vaan ojien väliset alueet käydään aina läpi ja käsitellään niiden kehitystilan edellyttämällä tavalla. Ojituksen ja puunkorjuun kannalta tärkevän hankkeen aikaansaaminen edellyttää tavallisesti usean tilan yhteistoimintaa. Ojituksen ja puunkorjuun niveltäminen edellyttää, että metsänomistajat, metsäkeskus, metsänhoitoyhdistykset ja puunostajat toimivat yhdessä. Valtaosa ojitusalueiden hakkuista on ensiharvennusluonteisia. Suopuustot ovat yleensä epätasaisia, puulajeja on useita ja puusto on epätasaisesti jakautunutta ja erikokoista. Tästä syystä suomet-

sien harvennuksiin soveltuvat paremmin runkolukuun perustuvat harvennussuosituks<sup>1</sup>et kuin pohjapinta-alaan perustuvat mallit. Harvennuksen voimakkuutta harkittaessa on syytä ottaa huomioon myös se, että puunkorjuun taloudellisuuden vuoksi harvennus-kertoja tulisi vähentää.

## Kunnostusojituksen tarkoitus

Suometsien harvennushakkuut, kunnostusojitukset ja muut metsänhoitotyöt ovat viime aikoina jääneet vähäisemmiksi kuin mitä metsänhoidollinen tarve edellyttäisi. Osittain tähän vaikuttaa metsänomistajakunnan rakenteen muuttuminen, osittain metsänparannustoiminnon henkilöstön väheneminen sekä puutteellinen neuvonta. Tällä hetkellä kunnostusojituksia tehdään metsissä, joissa kasvaa suurimmaksi osaksi nuoria kasvatusmetsiä. 1960- ja 1970-luvulla tehdyt laajat ojitukset alkavat nyt tuottaa maanomistajille puukauppatuloja; ojien kunto sen sijaan on huono (Kontinen 2005).

Kunnostusojituksen tarkoituksena on alentaa pohjaveden pintaa ojitettavalla alueella. Tällä parannetaan juuriston elinoloja, kun hapekas ilmatila lisääntyy. Kunnostusojitus tarkoittaa vanhojen ojien perkaamista. Uudisojitus on sertifiointikriteerien mukaan kielletty, mutta kunnostusojituksen yhteydessä voidaan kuitenkin tehdä kuivatusta vaativia täydennysojia tai sarkojen halkaisuja. Yleensä kunnostusojitukseen tuleva ojasto on mataloitunut monestakin syystä. Se voi olla liestynyt, eli ojiin on kulkeutunut hienoainesta. Ojat ovat voineet sortua esimerkiksi tulvien aikana, tai uudisojituksen jälkeen maan pinta on painunut useita kymmeniä senttejä veden poistumisen seurauksena. Ojien reunoilla ja pohjalla saattaa kasvaa rakkasammalkeros, joka estää veden vapaan virtauksen, ja monin paikoin ojissa kasvaa jopa puustoa (Kontinen 2005).

Suometsien hoitohanke lähtee käyntiin kunnostusojitusta kaipaavien alueiden löydyttyä. Edellisestä ojituksesta tulee olla kaksikymmentä vuotta, jotta ojitukseen voidaan hakea kestävän metsätalouden rahoitusta, Kemera-tukea. Suunnitelmatilauksen tekee maanomistaja, ja hanketta markkinoidaan myös muille ojaston piirissä oleville maanomistajille. Hanke voi siis olla yhden tilan hanke tai yhteishanke, jossa on mukana kaksi tai useampia tiloja. Toteutukseen voi saada tukea, joka kattaa 30–60 prosenttia kuluista tilan maantieteellisen sijainnin mukaan. Pohjois-Suomessa tuki on suurempi kuin etelässä. Etelä-Suomen viljavammat maat ja pidempi kasvukausi tekevät metsätaloudesta kannattavampaa, mikä vaikuttaa tuen määrään.

Alueen ojat kartoitetaan käyttämällä hyväksi vanhoja ojituskarttoja ja pohjakarttoja. Samalla tutkitaan vesien johtaminen ja vesiensuojelutoimenpiteet sekä mahdolliset täydennysojitukset. Lisäksi tutkitaan, ettei ojituskohdeella ole metsälain 10. §:n tarkoittamia erityisen tärkeitä elinympäristöjä. Tällaisia voivat olla vähäpuuistoiset ja puuttomat suot, rehevät, lehtomaiset suot sekä purot, norot tai lähteet. Alueella

saattaa olla myös luonnontilaisia metsälampia, joiden läheisyydessä oja ei saa ryhtyä perkaamaan. Tällaisten alueiden ympäristössä ei kunnostusojitusta saa tehdä eikä esimerkiksi puroja tai noroja saa perata. Kohteisiin jätetään suojavyöhyke, joka merkitään maastoon selkeästi (Kontinen 2005).

## Vesiensuojelu

Vesiensuojelun tarkoituksena on pysäyttää ojitusalueelta lähtevät kiintoaineet ja ravinteet ennen niiden joutumista vesistöön. Nykyään vesiensuojelutoimenpiteinä käytetään yleisesti lietekuoppia, joilla tarkoitetaan ojissa olevia noin 1–2 m<sup>3</sup>:n laajuisia syvennyksiä, joihin liete pysähtyy, sekä kaivukatkoja, pohjapatoja, suojavyöhykkeitä, pintavalutuskenttiä sekä laskeutusaltaita. Toimenpiteitä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon maapohjan laatu eli eroosioriski, kaltevuudet, vesistöjen läheisyys sekä vesiensuojelurakenteiden hoito ja kunnossapito. Esimerkiksi laskeutusaltaat pitää pysyttyä tyhjentämään tarvittaessa. Vesiensuojelun tehostamiseksi on tutkittu monia eri menetelmiä, joiden on arvioitu pysäyttävän kiintoainetta ja ravinteita jo käytettyjen menetelmien tukena.

## Kiintoaineen ja ravinteiden pysäyttämässä tutkitut menetelmät

### Alumiinihydroksipolymeerisaostus

Menetelmän teho perustuu pienimolekyylisten, positiivisesti varautuneiden ja lievästi happamien alumiinihydroksipolymeerien kykyyn murustaa vedessä olevia savihiukkasia. Kuten moniarvoiset kationit myös alumiinihydroksipolymeerit yhdistävät tehokkaasti savihiukkasia toisiinsa. Kun vesiliukoinen fosfori sitoutuu muodostuvien savimurujen sisässä oleviin oksideihin, se muuttuu leville käyttökeltomaan muotoon. Yhdistyneet savihiukkaset kasvavat ja painuvat altaan pohjaan, jolloin vesi selkiytyy ja ravinteet jäävät altaaseen. Jotta alumiinihydroksipolymeerisaostusmenetelmä toimisi kunnolla, kemikaalin ja veden määrien täytyy olla oikeassa suhteessa (Kulmala 2011).

### Ferrisulfaattisaostus

Ferrisulfaatti on kemialliselta kaavaltaan Fe<sub>2</sub>(SO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>, ja se sisältää aktiivisia kolmiarvoisia rautayhdisteitä, jotka veteen liuetessaan saostavat siitä epäpuhtauksia ja fosforia (Lepistö 2012). MTT:n ferrisulfaattisaostusta koskevassa tutkimuksessa veden pH laski kemikaalin vaikutuksesta vajaan 2 yksikköä arvoon 5,7. Kemiallisessa saostuksessa hyötysuhde on parempi, kun fosforipitoisuus on korkea. TEHO-hankkeen tulosten mukaan testatut laitteistot sopivat parhaiten ojiin, joiden virtaus on alle 100

l/s. Tutkimuksen mukaan kemiallinen käsittely tulisi kohdistaa kevään suuriin fosforivaluntoihin tai pienehköihin ojiin. Tällä tavoin mahdolliset haitat kevään kalan kudulle jäävät pieniksi (Kulmala 2011).

## Kalkkisuodatus

Kalkkisuodinojat, kalkkihiekkasuodatuskentät, ojapohjasuodatus sekä fosforiloukkumenetelmä ovat eri variaatioita kalkilla suodattamisesta (Kulmala 2011). Kalkkisuodinoja on salaoja, jonka täyttömaahan on sekoitettu poltettua kalkkia. Ojakaivannon vedenläpäisevyys parantuu kalkkiseoksen ansiosta, ja veden mukana kulkeva fosfori suodattuu ojakaivannon rakenteisiin. Fosfori sitoutuu salaojan kalkkiin, ja seos vähentää myös happamien sulfaattimaiden happamuutta. Kalkkisuodinojat soveltuvat erityisesti viettävälle savimaille sekä alunamaille (Kulmala 2011). Kalkkihiekkasuodatuskenttä on kalkkihiekkaseoksella täytetty suorakaiteen muotoinen ja metrin syvyinen imeytyskenttä. Valumavedet suodattuvat kalkkihiekkaseoksessa, jolloin siihen sitoutuu kiintoainetta ja siihen sitoutunutta fosforia sekä liukoista fosforia. Ojapohjasuodatuksessa avo-ojan pohjalle levitetään 5–15 cm:n paksuinen kalkkihiekkaseos, joka suodattaa fosforin (Kulmala 2011). Fosforiloukussa valumavedet johdetaan suodinkaivantoon suurehkolla avo-ojalla.

Suodattimilla on tapana menettää suodatustehoajan myötä, ja näin käy myös kalkkisuodattimille. Alustavien kokeiden mukaan niiden kyky sitoa fosforia häviää muutamassa vuodessa. Kun teho on heikentynyt, sitä voidaan parantaa suodatinmassan vaihdolla tai sekoittamalla uutta kalkkimassaa vanhaan (Kulmala 2011). Fosforiloukun kokeiluissa ollaan vasta alkutekijöissä ja alussa ongelmana ovat olleet suuret virtaamat. Vantaanjoen alueella kokeillaan rauta-kalsiumseosta saostamaan liukoista fosforia entistä tehokkaammin (Kulmala 2011).

## Biohiili

Biohiilestä ja hiilellä suodattamisesta ei ole raportoitu tutkimustuloksia. Biohiili on maanparannusaineena hyvin lupaava, ja sen on havaittu sitovan hyvin eri aineita, kuten vettä ja ravinteita peltomaassa. Tämä selittyy biohiilen huokoisuudella. Biohiiltä voidaan käyttää monipuolisesti: maanparannuksen lisäksi se soveltuu muun muassa energiakäyttöön. Biohiili on hyvin monimutkainen aine, joten sen käytön optimointi on nykyisin tiedoin vaikeaa. Biohiilen ominaisuudet riippuvat pyrolyysissä **käytettävästä materiaalista sekä** pyrolyysin kestosta ja maksimilämpötilasta. Näiden vielä tuntemattomien tekijöiden takia ei tiedetä varmaksi, millä tavalla biohiili käytetty erilaisissa maa-aineksissa (Kettunen & Saarnio 2014).

## Tuhka

Tuhkaa käytetään lannoitteena, ja siitä irtoaa raskasmetalleja, jotka ovat ympäristölle haitallisia korkeina pitoisuuksina. Fa-Forest Oy on kehittänyt pinnoitteen, joka

mahdollistaa tuhkan pysymisen liukeamattomana sekä fosforin sitoutumisen. Samalla pinnoite estää sellaisten aineiden irtoamista tuhkasta, jotka voivat olla haitallisia ympäristölle. Tutkimukset Fa-Forestilla ovat kesken, eikä yritys ole vielä patentoinut menetelmää, joten tarkempia tietoja ei tällä hetkellä ole saatavissa (Karosto 2015a).

## **Puuhakesuodatus**

Johanna Lantto ja Ismo Lindfors (2005) ovat omassa tutkimuksessaan kehittäneet puuhakesuodattimen, joka koostuu rautakehikosta ja verkosta. Hakesuodattimet tulee sijoittaa sellaiseen kohtaan ojaa, että suodattimelle on hyvä kulkuyhteys. Hakesuodattimien eteen kertyy lietettä, ja se täytyy saada poistettua ojasta loka-autolla. Hyvä paikka suodattimelle olisi kovapientareinen ja -pohjainen oja, jolloin voidaan minimoida veden virtaamisesta aiheutuva ohijuoksu. Ohijuoksu syövyttää pientareen, johon rautakehikko on asetettu, ja saattaa siten siirtää koko suodattimen pois paikaltaan (Lantto & Lindfors 2005). Hakesuodatus toimii parhaiten melko paljon kiintoainetta sisältävissä ojissa, joissa virtaama on tasaista. Hakesuodattimia voidaan käyttää myös laskeutusaltaiden osana tasaamaan virtausta sekä tehostamaan kiintoaineen pidättymistä (Lantto & Lindfors 2005). Kokeissa keskimääräiset kiintoainereduktiot olivat parhaimmillaan lähes 50 % ajanjaksolla, joka sijoittui vuoden 2004 toukokuusta vuoden 2005 huhtikuuhun. Fosforia saatiin vähennettyä 8–24 % ja typpeä 2–10 %. Kesällä 2005 suodattimet eivät toimineet käytännössä ollenkaan. Kiintoaine väheni tuolloin vain yhdellä ojalla ja ravinteet eivät lainkaan (Lantto & Lindfors 2005).

## **Pajukerpputorni**

Henna Niemelän (2010) opinnäytetyössä selvitetään pajun hyödyllisyyttä puhdistamokäytössä. Pajukerpputorneja käytetään neljällä eri kaatopaikalla Suomessa. Pajukerpputorni toimii kaatopaikkavesien puhdistamisessa yhtenä vaiheena. Pajujen pinnalle muodostuu bakteerikasvustoja, jotka hajottavat typpeä ja fosforia eli suotovesien tavallisimpia haitta-aineita. Suotimen raaka-aineeksi valikoitui paju, koska se kasvaa nopeasti ja sen muu käyttö on vähäistä. Tornin runkona toimii hirsistä koottu, noin 12 metriä korkea kehikko. Kehikkoon rakennetaan 2,5 metrin välein tasot, joihin asetetaan pajuniput. Vesi pumpataan tornin päälle, mistä se valuu pajuja pitkin alas. Kiintoaine valuu tornin alle rakennettuun saostusaltaaseen. Osa altaan pinnalta pumpattavasta vedestä nostetaan takaisin ylös ja osa pumpataan kahteen seuraavaan saostusaltaaseen. Saostusaltaiden jälkeen vesi pumpataan keinotekoiseen kosteikkoon (Niemelä 2010).

## **Rahkasammal**

Vapon oma rahkasammalsuodatin on ollut koekäytössä kesän 2015. Laboratorio- ja kenttäkokeen tulokset ovat olleet positiivisia, mutteivät mullistavia. Koesuodattimen puhdistusteho on jäänyt vielä pieneksi, sillä puhdistettavassa vedessä on ollut val-



miiksi vähän kiintoainetta (Jokisuu 2015). Rahkasammaleeseen biosuodattimena on päädytty, koska sen suodatusominaisuuksia ei ole aikaisemmin kokeiltu käytännössä ja koska rahkasammal on luontaisesti soilla kasvava edullinen biosuodatinmateriaali (Jokisuu 2015).

Turpeen metalliensitomiskyvyn katsotaan perustuvan pääasiassa humushappoihin. Yleisesti turpeen kyky sitoa metalleja kasvaa pH:n noustessa. Rahkasammal on happanta, ja sillä on matala tilavuuspaino sekä korkea veden läpäisevyys. Kyseiset ominaisuudet indikoivat hyvää kyllästävyyttä ja sopivuutta suodatinaineeksi (Kalmykova ym. 2007). Rahkasammaleen kestävää keräämistä on tutkittu, ja siitä on saatu hyviä tuloksia. Niko Silvanin (2012) mukaan rahkasammal uusiutuu 30 vuodessa. Rahkasammalta ei saa korjata 25:tä senttimetriä syvemmältä, sillä rahkasammaleen eläviä hankasilmuja esiintyy varmuudella vielä siinä syvyydessä ja uudistuminen on taattua (Silvan 2012).

## Lähteet

- Jokisuu, R. 2015. Sähköpostikeskustelu 2.9.2015 – 8.9.2015. Biologi, projektityöntekijä, Vapo Oy.
- Kalmykova, Y., Strömvall, A. & Steenari, B. 2007. Adsorption of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn on Sphagnum peat from solutions with low metal concentrations. *Journal of Hazardous Materials* 152.
- Karosto, K. 2015a. Haastattelu 14.9.2015. VETU-hankkeen projektipäällikkö.
- Kettunen, R. & Saarnio, S. 2014. Kirjallisuusselvitys biohiilestä Suomen maataloudessa – sen käytettävyys ja saatavuus. Savonia-ammattikorkeakoulu. Kirjallisuusselvitys. PDF-dokumentti. <http://rae.savonia.fi/tietopankki/maatilan-tietopaketti/viewdownload/6-lanta-ja-lannoitteet/58-biohiili-maatalouskaytossa>.
- Kontinen, K. 2005. Suometsien hakkuiden ja hoitotöiden toteutuminen Etelä-Savon Metsäkeskuksen alueella vuonna 2004. *Metsäteknologian pro gradu -tutkielma*. Helsingin yliopisto.
- Kulmala, A. 2011. TEHO-hankkeen raportteja, osa 1. TEHO-hankkeen julkaisuja 1/2011, 57–78.
- Lantto, J. & Lindfors, I. 2005. Joutsijärven ja Tuurujärven vesiensuojelusuunnitelma: hakesuodatuskokeet. PDF-dokumentti. <http://www.pori.fi/material/attachments/porinvesi/5tagNe4O9/Hakesuodatinraportti.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 6.12.2014.
- Lepistö, L. 2012. Ferix-3:n soveltuvuus kemialliseen fosforinsaostukseen maatalouden ojavessissä. Turun ammattikorkeakoulu. *Kestävän kehityksen koulutusohjelma*. Opinnäytetyö.
- Metsäntutkimuslaitos 2014. *Metsätilastollinen vuosikirja 2014*. Tampere; Tammerprint Oy
- Niemelä, H. 2010. Pajukerpputorni kaatopaikkavesien käsittelyssä. Tampereen ammattikorkeakoulu. *Environmental Engineering*. Opinnäytetyö.
- Nuutinen, T., Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K. T. & Salminen, O. 2000. The role of peatlands in Finish wood production – an analysis based on large scale forest scenario modelling. *Silva Fennica* 34(2): 131–153.
- Silvan, N. 2012. Rahkasammalbiomassan korjuu, korjuupotentiaali Suomessa ja nostopaikan uudistuminen. Metsäntutkimuslaitos. PowerPoint-esitys.



# TURPEEN HUMUKSEN KÄYTTÄYTYMINEN VEDESSÄ

*Kalle Karosto & Laura Lukkarinen*

## Johdanto

### Humus

Humuksella tarkoitetaan luonnonvesissä esiintyviä, veteen liuenneita eloperäisiä orgaanisia aineita. Humus muodostuu hajoavasta eläin- ja kasviaineksesta, joka on peräisin vesistöä ympäröivältä valuma-alueelta ja vesistön omasta tuotannosta (Kunnostusojituksen vaikutus vesistöjen humuskuormitukseen 2013). Humus värjää veden kellertäväksi tai ruskeaksi pitoisuudesta ja koostumuksesta riippuen (Vapo.fi, Tietoa humuksesta).

Humus koostuu aromaattisten orgaanisten yhdisteiden muodostamasta ytimestä, johon on kiinnittynyt muita pienimolekyylisiä orgaanisia yhdisteitä. Humuksessa on hiiltä noin 50 %, happea 35–40 %, vetyä 4–5 % ja typpeä 1–2 % (Hessen & Tranvik 1998, Hayes ym. 2001). Humuksen rakenne sitoo tehokkaasti metalleja, kuten rautaa (Kunnostusojituksen vaikutus vesistöjen humuskuormitukseen 2013).

Koska humuksen rakenne on niin vaihteleva, sen pitoisuus ilmoitetaan usein kokonaishiilipitoisuuden (TOC, Total Organic Carbon) avulla. Liukoisen humuksen pitoisuus ilmoitetaan sen sijaan liukoisen hiilen pitoisuutena (DOC, Dissolved Organic Carbon). Humuspitoisuus luonnonvesissä vaihtelee välillä 0,1–50 ppm. Meripintavedessä DOC-arvo on tyypillisesti väliltä 0,5–1,2 ppm, ja pohjavesissä sen arvo on 0,1–10 ppm. Toinen tapa ilmoittaa vedessä olevan humuksen määrä on kemiallinen hapenkulutus (COD, Chemical Oxygen Demand) (Antikainen 2014).

Suomi sijoittuu pohjoiseen havumetsävyöhykkeeseen, jossa humusta muodostuu yli omien tarpeiden. Suomi on yksi maailman soisimmista alueista, sen kokonaispinta-alasta on 28,2 % soita, joten humuksen esiintyminen on tällöin runsasta. Sadevedet huuhtovat soilta ja kangasmailta humusta, joka värjää veden tummaksi. (Berger ja Kaukonen 1984, Peuravuori 1993.)

## Humusaineet

Humusaineet esiintyvät vedessä liukoisena, kolloideina sekä kiinteässä muodossa (Kunnostusojituksen vaikutus vesistöjen humuskuormitukseen 2013). Humusaineet jaetaan kolmeen ryhmään: humushappoihin, fulvohappoihin ja humiineihin. Humushappo ei liukene veteen olosuhteissa, joissa pH on alle 2, mutta sitä korkeammissa pH-arvoissa kyllä. Fulvohappo on humusaineiden osa, joka liukenee veteen kaikissa pH-olosuhteissa. Humiini taas ei liukene veteen missään pH-arvoissa. (Peuravuori 1993.)

Fysikaalisilta ominaisuuksiltaan humus on hyvin samankaltaista kuin turve. Turpeen ominaisuuksia, joita voidaan verrata humuksen ominaisuuksiin, ovat ainakin märkätilavuus-paino, kuivatilavuuspaino, tiheys, kokonaishuokostila, vesipitoisuus ja vedenläpäisevyys. (Berger ja Kaukonen 1984.) Humuksella on hyvin suuri pinta-ala ja kationinvaihtokapasiteetti, ja usein se myös edistää maapartikkeleiden aggregoitumista (Seppänen 2009).

## Humus turvemaille

Humusta löytyy kaikkialta maaperästä, joten sitä löytyy myös kaikkialta vesistöistä. Merivesissä, pohjavesissä, sadevedessä sekä useimmissa järvi- ja jokivesissä on huomattavasti vähemmän humusta kuin suovesissä ja soisten valuma-alueiden jokivesissä. Metsämaiden läpi virtaavissa puroissa vesi on kirkkaampaa kuin suoalueiden puroissa. Tämä johtuu siitä, että kariekerroksessa syntyvä humus pidättyy tehokkaasti maakerroksiin. Soissa vastaavaa pidättymismekanismia ei ole.

Suot muodostavat ihanteellisen ympäristön humuksen muodostumiselle. Hajoaminen tapahtuu hitaasti kosteassa ympäristössä, eikä vedessä ole juurikaan humusta saostavia suoloja. Suomessa runsas soiden määrä ja veden suuri humuspitoisuus liittyvät kiinteästi toisiinsa. (Kurri 2011.)

Luonnontilaisessa suossa vesi virtaa pääasiallisesti pintakerroksessa eikä siten huuhtelee mukaansa pohjakerrosten hajonneempaa humusainesta. Humusta syntyy soissa pääasiassa turpeen hapellisessa pintakerroksessa, sillä turvetta hajottavat bakteerit tarvitsevat happea. Ojitus johtaa suon kuivumiseen ja hapellisen pintakerroksen lisääntymiseen. Seurauksena voi olla humuksen huuhtoutumisen lisääntyminen (Kurri 2011).

Ojitukset lisäävät valunnan vaihtelua ja siten kuormitusta ylivirtaamatilanteessa. Keväällä suuret sulamisvesimäärät laimentavat humuspitoisuuksia, mutta virtaamien kasvu voi lisätä humuksen ainevirtaamia (Kangasluoma, Kainua 2012). Maan käytön ja muokkauksen myötä (ojitukset, kaivut) pohjakerrosten humusaineet pääsevät paremmin valumaan vesistöihin (Kurri 2011).

# Turpeen humuksen saostus

## Koagulaatio ja flokkulaatio

Koagulaatio ja flokkulaatio muodostavat perustan monille vedenpuhdistusmenetelmille. Kun liuksesta saostetaan pois epäpuhtauksia, muodostuva sakka on monesti niin hienojakoista (halkaisijaltaan luokkaa nm– $\mu\text{m}$ ), ettei se laskeudu. Tällaisen saostuman suodattaminen on vaikeaa, koska se voi läpäistä suodattimet tai tukkia ne (Antikainen 2014).

Vedenkäsittelyssä koagulaatio on prosessi, jossa negatiivisesti varautuneet kolloidit, jotka yleensä ovat humus- ja savikolloideja, neutraloidaan kemikaalin avulla. Koagulaatio antaa pohjan suspendoituneiden ja kolloidikoossa olevien epäpuhtauksien poistamiseen vedestä. Kolloidishiukkaset, joita kutsutaan miselleiksi, ovat kooltaan noin 0,1–0,01  $\mu\text{m}$ . Koagulaatiossa syntyneet suuremmat hiukkaset kasvatetaan suuremmiksi hämmennyksen eli flokkauksen avulla (Karttunen 2004).

Kun hiukkaset ovat suurentuneet koagulaation ja flokkauksen avulla, tapahtuu lopullinen poisto suodatuksen, laskeutuksen tai flotaation avulla. Usein vedenpuhdistuksessa käytetään kaikkia näitä menetelmiä. Humuksen poiston lisäksi koagulaatio- ja flokkausprosessia tarvitaan monien veteen liuenneiden aineiden poistamiseksi (Karttunen 2004).

## Kemiallinen saostus

Kemiallisessa saostuksessa kemikaalia lisätään ionireaktioiden aikaansaamiseksi tai kolloidien sähköisiä poistovoimia aiheuttavien varausten poistamiseksi. Tämä tehdään tavallisesti Al- tai Fe-suolaliuoksella. Suomessa humuksen poistossa käytetään pääasiassa kolmiarvoisia rautasuoloja eli ferrisulfaattia  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ , ferrikloridia  $\text{FeCl}_3$  tai näiden esipolymeroituja laatuja. Rautakoagulanttien käyttö on mahdollista laajemmalla pH-alueella kuin alumiinikoagulanttien.

## Koejärjestelyt

### Laskeutuskoe

Laskeutuskoe tehtiin  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -kemikaalilla (CAS 10025-77-1), ja lisäksi testattiin myös kaupallista Aquaminerals Palpower K10 -koagulanttia. Ferrikloridista tehtiin 1-prosenttinen liuos. Suoveteen lisättiin ferrikloridiliuosta 5 ml, 10 ml, 15 ml tai 20 ml. Näin saatiin pitoisuuksiksi 0,05 mg/ml, 0,1 mg/ml, 0,15 mg/ml sekä 0,2 mg/ml. Kaupallisesta koagulantista tehtiin noin 2-prosenttinen liuos, jonka pitoisuus suovedessä oli 0,4 mg/ml. Referenssinäytteenä käytettiin Kovalansuon (Vapo Oy:n turvesuo, Mikkeli) vettä.

Suovesi ja ferrikloridiliuos annosteltiin 1 000 ml:n mitta-astiaan, minkä jälkeen astia laitettiin magneettisekoittajan päälle. Näytteitä sekoitettiin ensin 60 sekuntia täydellä nopeudella sekä tämän jälkeen hiljaisemmalla nopeudella 20 minuuttia, kuitenkin niin, että vesi sekoittui pintaa myöten. Lopuksi näytteiden annettiin laskeutua 2 tuntia. Näytepinnoista pipetoitiin 350 ml analysointia varten.



**KUVA 1. Flokkaamisen koejärjestelyt ja flokin laskeutuminen (kuvat Laura Lukkarinen).**

Näytteistä analysoitiin pH, sähkönjohtokyky, sameus ja väri. Jotta vesinäytteistä olisi voitu määrittää todellinen väri – siis väri, jonka aiheuttavat ainoastaan liuenneet aineet – ne olisi pitänyt suodattaa kalvosuodattimen läpi, jonka huokoskoko on  $0,45 \mu\text{m}$ . Kalvosuodatin kuitenkin tukkeentui näytteiden kiintoaineesta, ja näytteet suodatettiin  $1,2 \mu\text{m}$ :n paperilla ja imusuodatuksella. Näin ollen määritettiin veden näennäinen väri, joka on väri, jonka aiheuttavat liuenneet aineet ja osittain liukene-maton kiintoaine. Näytteet oli laimennettava, jotta väri saatiin määritettyä Lovibond-laitteistolla.

### **Tulokset ja tulosten arviointi**

Veden väri korreloi kokonaishiilipitoisuuden kanssa, ja siihen vaikuttavat humusai-neiden lisäksi myös rauta, mangaani, levät sekä vedessä olevat kiinteät ja liuenneet aineet. Suomen vesistöjen keskimääräinen väriarvo on  $51 \text{ mg/l Pt}$ . Mitä tummempaa



vesi on väriltään, sitä korkeampi on humuspitoisuus. Veden väri 6,6 mg/l Pt vastaa suunnilleen määrää 1 mg/l humusta (www.ymparisto.fi). Väriin perusteella voidaan arvioida, että Kovalansuon suovedessä on humusta 160 milligrammaa litrassa.  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -liuoksen lisäyksellä (pitoisuus 0,10 mg/ml) saatiin supernatantin humuspitoisuus laskemaan 6 milligrammaan litrassa.

Kuvassa 2 on dekanttereissa näytteiden supernatantit, vasemmalta lukien referenssinä käytetty suovesi, seuraavina 1-prosenttisella  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -liuoksella flokatut suovedet rautakloridipitoisuuksiltaan 0,05 mg/ml, 0,10 mg/ml, 0,15 mg/ml ja 0,20 mg/ml. Kuvassa 2 oikealla on referenssi ja vieressä 2-prosenttisella kaupallisella koagulantilla flokattu vesi, joka on pitoisuudeltaan 0,40 mg/ml.



**KUVA 2. Vesinäytteet flokkauksen jälkeen (kuvat Laura Lukkarinen).**

Yleensä käytetyt saostuskemikaalit laskevat veden pH:ta. Rautakloridi vaikutti näin, kun taas kaupallinen koagulantti vastaavasti nosti pH:ta. Rautakloridipitoisuuden ollessa 0,10 mg/ml saatiin parhaat tulokset sameuden ja värin suhteen.

## TAULUKKO 1. Analyysitulokset flokkausnäytteistä

Näytteen nimi	FeCl <sub>3</sub> *6H <sub>2</sub> O pitoisuus (mg/ml)	Aquaminerals Palpower K10 pitoisuus (mg/ml)	pH	Sähkönjohtokyky (μS/cm)	Sameus (NTU)	Väri mg/l Pt
ref.suovesi			5,65	55,3	20,8	1050
5 ml	0,05		4,01	126,3	23,7	420
10 ml	0,10		3,42	277	1,98	40
15 ml	0,15		3,24	405	3,01	60
20 ml	0,20		3,14	512	5,68	130
AQM 20 ml		0,40	6,13	67,5	51,5	945

Flokkauskokeissa suovedestä saatiin poistettua 96 prosenttia humuksesta lisäämällä siihen FeCl<sub>3</sub>\*6H<sub>2</sub>O-liuosta niin, että rautakloridiliuoksen pitoisuus oli suovedessä 0,1 g/l. Vaikutus arvioitiin värin muutoksen perusteella.

## Johtopäätökset

Suomen sijainti pohjoisella havumetsävyöhykkeellä ja soiden suuri määrä takaavat erinomaiset olosuhteet humuksen muodostumiselle. Tästä johtuen vesistöt ovat monin paikoin hyvin humuspitoisia. Varsinkin suurten suoalueiden läheisyydessä vesistöjen humuspitoisuudet voivat olla luonnostaan suuria. Suot yleensäkin luovat ihanteelliset olosuhteet humuksen muodostumiselle. On kuitenkin selvää, että myös ihmistoiminnalla (maatalous, metsätalous, turvetuotanto) on ollut vaikutuksensa humuksen runsauteen. Yleensä ottaen maankäyttö, erilaiset muokkaukset ja ojitukset helpottavat humuksen liikkeellelähtöä ja joutumista vesistöihin. Sitä, mikä osuus humuksen määrästä vesistöissä on luonnon ”omaa tuotantoa” ja mikä ihmistoiminnan aiheuttamaa, on vaikea ainakin jälkikäteen erotella. Tehokkailla vesiensuojelutoimenpiteillä ja -menetelmillä humuksen päätymistä vesistöihin on kuitenkin pystytty vähentämään.

Usein vesiensuojelussa ja vesien puhdistamisessa puhutaan ravinteista (fosfori, typpi) sekä niiden määrästä ja kiinniottamisesta. Metsätaloudessa humusaineet eri muodoissaan ovat kuitenkin veden puhtauden kannalta suurempi ja näkyvämpi ongelma, etenkin maatalouteen verrattuna. Metsätaloudessa on käytössä kiintoaineen ja ravinteiden kiinniottamiseen tehokkaita vesiensuojelumenetelmiä, ja erityisesti kiintoaine saadaan pidättymään hyvin. Metsätalouden ravinnekuormitus on yleensä ottaen varsin pientä, pois lukien hakkuiden yhteydessä tehdyt kunnostusojitukset. Silti vesistöjen likaantumisesta uutisoidaan jatkuvasti. Puhtaat vesistöt ovat suomalaisille elinehto, ja keskustelu on ymmärrettävästi kärkeästä. Humuksen suhteen tulisi lisätä tietoutta ja selvittää tarkemmin ihmistoiminnan vaikutukset sekä luonnon oma osuus.

Kuten edellä mainituilla hankkeen laboratoriokokeillakin voitiin osoittaa, kemiallisilla vedenpuhdistusmenetelmillä esimerkiksi humuksen poistaminen vedestä onnistuu melko helposti. Vie varmasti aikaa, ennen kuin samanlaisiin tuloksiin päästään eri vesiensuojelumenetelmillä ja -rakenteilla, mutta hyötyjensä takia tämä on tavoittelemisen arvoista. Humus eri muodoissaan kuuluu Suomen luontoon ja vesistöihin, mutta uusia vesiensuojelumenetelmiä tulee jatkossakin kehittää.

## Lähteet

- Berger, M. ja Kaukonen, M-R. 1984. Humus – raakavesiemme erikoisuus. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu.
- Peuravuori, J. 1993. Humus – luonnon erikoisuus. Turku: Turun yliopisto, kemian laitos.
- TASO-hanke. Kunnostusojituksen vaikutus vesistöjen humuskuormitukseen [verkkoaineisto].
- Karttunen, E. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL R.Y.
- VTT. Humusvesi-hanke [verkkoaineisto].
- Vapo.fi [verkkoaineisto].
- Kainua, K. ja Kangasluoma, M. Turvetuotannon humuskuormitus ja humus vesistöissä [verkkoaineisto].
- Hessen, D. O. & Tranvik, L. J. (eds) 1998. Aquatic humic substances. Ecology and Biogeochemistry. Ecological studies vol. 133. Springer-Verlag, Berlin.
- Seppänen 2009, <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/18112/Seppänen.pdf?sequence=1>
- Hayes, M. H. B. & Clapp, C. E. 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. Soil Science 166:723-737.
- Antikainen, J. 2014. Fosforin ja humuksen poisto vedenpuhdistuksessa tuhkapohjaisilla materiaaleilla. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopisto.
- Kurri, A.-K. 2011. Humuksen karakterisointi ja analytiikka. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto.

# VALUMAVESIEN KÄSITTELYYN SOVELTUVAT BIOSUODATINMATERIAALIT JA NIIDEN LABORATORIOTESTAUKSET

*Laura Lukkarinen & Tuija Ranta-Korhonen & Sari Seppäläinen & Hanne Soininen*

Hankkeessa on testattu biosuodatinmateriaalivaihtoehtojen soveltuvuutta bioenergian varastoalueiden ja metsäojitusalueiden valumavesien käsittelyyn laboratoriomittakaavassa. Laboratoriotutkimuksissa on otettu huomioon hankkeessa kehitetyt uudet suodatinratkaisut ja nykyiset jätevedenpuhdistuksessa käytettävät suodatinmateriaalit.

Materiaaleina kokeissa on käytetty epäorgaanisia materiaaleja: tuhkaa, biohiiltä, kalkkia, kevytsoraa ja kantokappaleita. Lisäksi on kokeiltu orgaanisten materiaalien, kuten kuusenkuoren ja lehtipuuhakkeen, sekä epäorgaanisten kaupallisten tuotteiden toimivuutta suodattimessa.

Laboratoriomittakaavan testauksien aikana on selvitetty eri tuotevaihtoehtojen teknistä toimivuutta (rakenteen kestävyys) sekä puhdistustehoa. Laboratoriotesteissä on tutkittu ja analysoitu muun muassa seuraavia ominaisuuksia: tekninen kestävyys, kok. N, kok. P, COD<sub>Mn</sub>, pH, johtokyky, sameus, kiintoaine, väriluku sekä hygieniaindikaattorit (enterokokit, koliformiset bakteerit ja kokonaispesäkeluku). Lisäksi materiaaleista on määritetty MMM-asetuksen (24/11) mukaiset lannoiteanalyysit (kokonaispitoisuudet [mg/kg] muun muassa seuraavista: K, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ja Zn). Lisäksi tutkittiin turpeen humuksen flokkiutumista.

## **Vesianalyysit, käytetyt standardit ja menetelmät**

Metsätalouden vesien käsittelyn yhteydessä voidaan muutoksia seurata vedenlaatu-  
muuttujien avulla, joita ovat pH, sähkönjohtavuus, sameus, kemiallinen hapenku-  
lutus (COD<sub>Mn</sub>), kokonaistyyppi ja -fosfori, liukoinen typpi ja fosfori, veden väri, or-  
gaaninen kokonaishiili (TOC) sekä liennut orgaaninen hiili (DOC). Seuraavassa  
on kuvattu lyhyesti vesianalyysien parametreja ja ominaisuuksia.

pH eli happamuus on Suomen vesissä yleensä 6,5–6,8. Vesi on siis lievästi hapanta luontaisesta humuskuormituksesta johtuen. pH-asteikko on logaritminen, mikä tarkoittaa sitä, että pH:n muuttuessa yhden yksikön verran vetyionikonsentraatio kymmenkertaistuu. pH:n ollessa 7 sekä vetyionien että hydroksyyli-ionien määrä on sama eli vesi on neutraalia. Johtokyky eli sähkönjohtavuus mittaa veteen liuenneiden suolojen määrää. Sisävesien sähkönjohtavuus on yleensä 50–100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ja se perustuu lähinnä natriumiin, kaliumiin, kalsiumiin, magnesiumiin (kationeja) sekä klorideihin ja sulfaatteihin (anioneja). Sähkönjohtavuusarvojen vuodenaikaisvaihtelu on vähäistä, ja yleisesti ottaen Suomen vedet ovat vähäsuolaisia, koska kallioperä on heikosti rapautuvaa.

Sameus kuvaa vedessä esiintyviä pienhiukkasia, kuten mineraaleja, saviainesta, orgaanista ainesta ja kasviplanktonia. Kiintoaineen määrä kuvaa vedessä olevaa hiukkasmaista ainesta. Kiintoainekuormitus on seurausta maaperän eroosiosta ja eroosioaineksen kulkeutumisesta valumaveden mukana vastaanottavaan vesistöön. Kiintoaine vaikuttaa veden humuspitoisuuteen muun muassa sitä kautta, että vedessä maalta huuhtoutunut partikkelimainen orgaaninen kiintoaine hajoaa ajan myötä mikrobien sekä pohjaeläinten yhteistyön tuloksena, jolloin siitä voi syntyä humusaineita.

Kemiallinen hapenkulutus ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ) kuvaa veden sisältämien kemiallisesti hapettuvien orgaanisten aineiden määrää, siis vedessä olevaa eloperäistä ainetta, joka voi olla humusta, jätevettä, karjatalouden päästöjä tai luonnonhuuhtoumaa. Happipitoisuus mittaa vedessä olevan liukoisen hapen määrää. Happea liukenee kylmään veteen enemmän kuin lämpimään veteen.

Kokonaisfosfori tarkoittaa veden sisältämän fosforin eri muotojen kokonaismäärää, ja määrittäminen sisältää sekä kiintoaineeseen sitoutuneen että liuenneen fosforin. Fosforin määrä on tärkeä veden rehevyyden arvioinnissa käytetty ravinnepitoisuus. Fosforia pääsee veteen luonnonhuuhtoutumana fosforipitoisista kivistä rapautumalla sekä teollisuuden päästöistä, yhdyskuntajätteistä sekä jätevesistä.

Kokonaistyyppi on fosforin ohella rehevöitymisen kannalta tärkeä ravinne. Veden koko typpimäärä ilmoitetaan kokonaistyyppipitoisuutena, joka sisältää kaikki tyypin esiintymismuodot. Tyyppiä esiintyy orgaanisissa muodoissa ja liuenneina epäorgaanisina yhdisteinä nitraatti-, nitriitti- ja ammoniumtyyppinä ja ilmakehästä veteen liuenneena vapaana typpinä.

Myös veden väri kuvaa humuspitoisuutta, koska mitä tummempaa vesi on, sitä suurempi on humuspitoisuus. Veden väriä mitataan vertaamalla tutkittavaa vettä platina-asteikkoon värikiekon avulla. Väri ilmaistaan yksikössä  $\text{mg}/\text{l Pt}$ . Lukuarvo ilmaisee veden värin, joka vastaa platinan määrää ( $\text{mg}/\text{l}$ ) vertailuun käytetyssä väliliuoksessa. Veden väri on helppo ja nopea määrittää, mutta menetelmä on subjektiivinen.

Orgaaninen kokonaishiili (TOC) määritetään suodattamattomista vesinäytteistä, ja se sisältää sekä liukoisen että partikkeleihin sitoutuneen orgaanisen hiilen. Liunnut or-

gaaninen hiili (DOC) määritetään 0,2:n tai 0,45 µm:n suodattimien läpi suodatuneesta vesinäytteestä, ja suodattimeen pidähtynyt hiili on partikkelimaista orgaanista hiiltä (POC). DOC ja TOC indikoivat humuspitoisuutta. Veden TOC- ja DOC-pitoisuuden ja kemiallisen hapenkulutuksen (COD<sub>Mn</sub>) välillä on voimakas positiivinen korrelaatio.

Laboratoriossa suodinkolonneista ja maastosta otetuista vesinäytteistä on määritetty taulukossa 1 mainittuja parametreja. Määritetyt parametrit ovat hieman vaihdelleet. Määrittämisessä on käytetty taulukossa esitettyjä menetelmiä ja laitteistoa.

### TAULUKKO 1. Vetu-hankkeen vesinäytteistä määritettyjä parametreja.

Parametri	Analyysimenetelmä	Laitteisto
pH	SFS 3021 Veden pH-arvon määrittäminen	MeterLab PHM210 Standard pH Meter/WTW 3301
Sähkönjohtavuus	SFS-EN 27888 Veden laatu. Sähkönjohtavuuden määrittäminen	WTW 3301
Sameus	SFS-EN ISO 7027 Veden laatu. Sameuden määrittäminen	Oaklon Turbidimeter T-100
Kiintoaine	SFS 872 Veden laatu. Kiintoaineen määrittäminen	
COD <sub>Mn</sub>	SFS 3036 Veden kemiallisen hapenkulutuksen (COD <sub>Mn</sub> -arvon tai KMnO <sub>4</sub> -luvun) määrittäminen. Hapetus permanganaatilla	
Liukoinen happi	SFS-EN25813 Veden laatu. Liuenneen hapen määrittäminen. Jodometrinen menetelmä	
Kokonaisfosfori	SFS 3026 Veden kokonaisfosforin määrittäminen. Hajotus peroksidisulfaattilla	Hach Lange DR 6300
Liukoinen fosfori	Näytteiden suodatus 0,45 µm:n suodattimella, ei hajotusta peroksidisulfaattilla autoklaavissa	Hach Lange DR 6300
Kokonaistyyppi	SFS-EN 5505 Jäteveden epäorgaanisen ja orgaanisen tyypin määrittäminen. Modifioitu Kjeldahl-menetelmä.	
Liukoinen typpi	SFS-EN 5505 suodatetuista näytteistä, 0,45 µm:n suodin	
Värin tarkastelu ja määrittäminen	SFS-EN ISO 7887 Veden laatu. Värin tarkastelu ja määrittäminen	Lovibond-värimittari

Lisäksi maastosta haetuista näytteistä on analysoitu ulkopuolisessa laboratorioissa TOC- ja DOC-pitoisuudet sekä raskasmetallipitoisuudet. Omaa laboratoriotyöskentelyä on validoitu teettämällä ulkopuolisessa laboratorioissa myös maastosta otettujen vesinäytteiden N-, P- ja COD<sub>Mn</sub>-pitoisuudet. Toisen koesarjan laboratoriomittakaavan suodinmateriaaleista on analysoitu ravinteet ja haitalliset aineet MMM:n asetuksen 24/11 mukaisesti. Määrittäminen on suoritettu ennen toisen vaiheen suodatuskokeiden aloittamista ja niiden lopettamisen jälkeen. Veden raskasmetallipitoisuudet on määritetty ALS Environment Oy:n laboratorioissa, ja muut määrittäminen on tehty Eurofins Finland Oy:n laboratorioissa. Vuoden 2016 vesianalyysit teetettiin Nablabs Oy:ssä.



## Laboratoriomittakaavan kokeet – Ensimmäinen koesarja

Ensimmäinen koesarja käynnistettiin toukokuussa 2015, ja sitä jatkettiin elokuun 2015 loppuun. Koesarjan toteuttamisessa oli lomakaudesta johtuva noin kuukauden mittainen tauko heinäkuussa 2015.

### Koejärjestelyt

Ensimmäisessä koejärjestelyssä ympäristölaboratorioon rakennettiin kuusi laboratoriomittakaavan suodinkolonnia. Koejärjestelyn aikana tutkittiin kolmea eri suodinmateriaalia, mikä tarkoittaa sitä, että jokaista suodinmateriaalia pakattiin kahteen rinnakkaiseen suodinkolonneihin. Kolonnien rakennusmateriaalina käytettiin läpinäkyvää polykarbonaattiputkea, viemärijärjestelmiin tarkoitettua muhviputkea ja kierretulppalla varustettuja viemärien puhdistusyhteitä. Kolonnien rakentamisessa käytettiin putkia, jotka olivat läpimitaltaan 160 mm. Kolonnien alaosa rakennettiin muhviputkesta, johon porattiin reiät 1”:n letkunipoille. Letkunippoihin yhdistettiin liittimillä silikoniletkut. Jokaisen kolonnin alaosasta lähtee kaksi letkua, joista toinen on tarkoitettu näytteenottoon ja toinen vedenkierrätyksessä käytettävää pumppua varten. Pumppuja ei kuitenkaan koesarjan aikana käytetty, vaan vesi kaadettiin kolonneihin. Kolonnit on esitetty kuvassa 1.



**KUVA 1. Ensimmäisen vaiheen suodinkolonnit (kuva Tuija Ranta-Korhonen).**

Kevään 2015 koejärjestelyissä tutkittavat suodinmateriaalit olivat biohiili, kevytsora (Kekkilä Oy) ja muoviset jäteveden biopuhdistamoihin tarkoitettut kantokappaleet. Kolonneihin pakattiin suodinmateriaalit siten, että jokaisen kolonnin pohjalle laitettiin koivuhaketta. Tämän jälkeen putkeen laitettiin varsinainen suodinmateriaali. Jokaiseen putkeen laitettiin esisuodattimeksi kerros koivuhaketta.

### **Kokeiden suoritus**

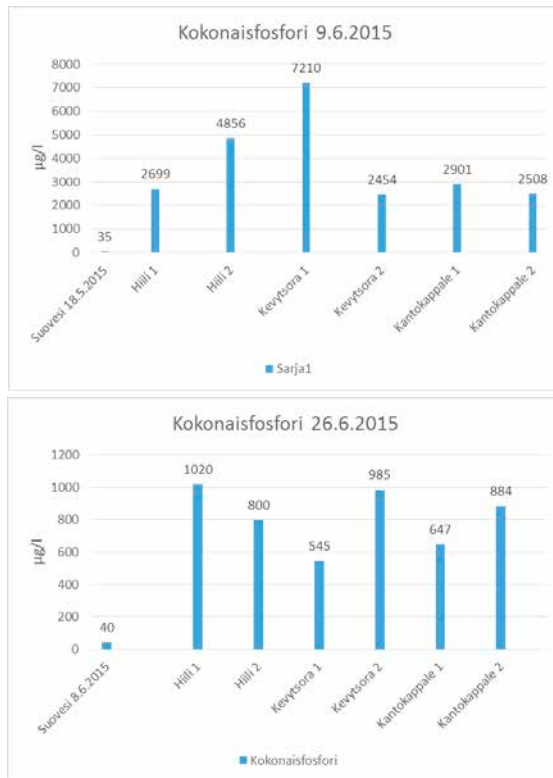
Laboratoriokokeiden suorittamista varten haettiin maastosta suovettä. Vettä haettiin kerrallaan noin 250 litraa, jolloin se riitti kahden viikon tarpeiksi. Lisäksi vettä oli riittävästi ennen suodatusta ja sen jälkeen tehtäville analyyseille. Suodatuskokeita varten haettu vesi analysoitiin ensimmäisen kerran välittömästi maastosta haun jälkeen. Vedestä tutkittiin lämpötila, johtokyky, kiintoaine, sameus, pH, COD<sub>Mn</sub> sekä typen ja fosforin kokonais- ja liukoiset pitoisuudet.

Vettä haettiin maastosta ensimmäisen kerran 18.5.2015. Ensimmäiset kaksi kertaa (18.5. ja 8.6.) vettä haettiin Haukivuorella sijaitsevasta suokohteesta. Juvan kohteesta Kurkimäeltä haettiin vettä ensimmäisen kerran 22.6. Tämän jälkeen vettä haettiin ainoastaan Juvan kohteesta. Heinäkuun ajaksi vettä jätettiin kolonniin sisään siten, että varsinainen suodinmateriaali oli veden peitossa. Tällä pyrittiin biofilmin kasvun nopeuttamiseen.

Kolonneissa suodatettiin vettä työviikon aikana peräkkäisinä päivinä seuraavasti: 10, 4 ja 2 litraa ja 1 litra (yhteensä 17 litraa/viikko). Ennen suodatusta vesi otettiin kylmiöstä lämpiämään ja veden lämpötila, pH ja johtokyky mitattiin. Johtokykyä ja pH:ta seurattiin jatkuvasti myös suodatetusta vedestä. Mittaustulokset ja suodatetut vesimäärät merkittiin mittauspöytäkirjaan. Aina kulloisenkin vesierän käyttämisen loppuvaiheessa suodatetusta vedestä otettiin näytteitä ja vedestä analysoitiin samat muuttujat kuin välittömästi veden haun jälkeen.

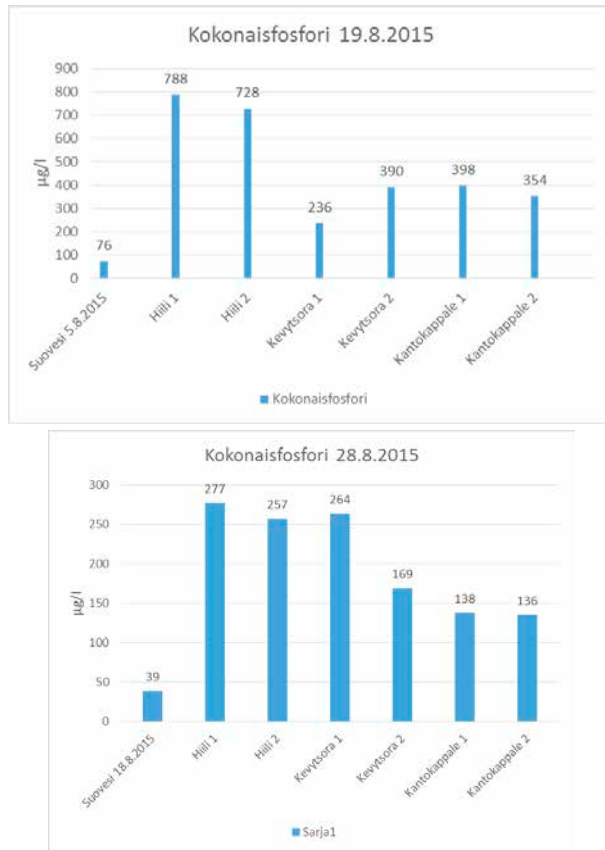
### **Ensimmäisen koesarjan tulokset**

Seuraavissa kaavioissa on havainnollistettu muutamia niistä tuloksista, jotka saatiin ensimmäisen laboratoriomittakaavan koejärjestelyn aikana tehdyistä määrittelyistä. Kuvassa 2 on esimerkki kolonniin läpi suodatetusta vedestä määritetyistä kokonaisfosforipitoisuuksista kesäkuun näytteenotokertoina.



**KUVA 2. Kolonnien läpi suodatetun veden kokonaisfosforipitoisuudet suodatuskokeiden alkuvaiheessa.**

Kuvassa 3 on esitetty suodinten läpi valutetun veden kokonaisfosforipitoisuudet elokuussa 2015 koesarjan loppuvaiheessa.



**KUVA 3. Kolonnien läpi suodatetun veden kokonaisfosforipitoisuudet suodatuskokeiden loppuvaiheessa.**

Suodinmateriaaleina käytetyistä koivuhakkeesta ja biohiilestä tutkittiin puupolttoaineiden laatuohjeen mukaisesti kuiva-aine- ja tuhkapitoisuus. Tulokset on esitetty taulukossa 2.

**TAULUKKO 2. Biohiilen ja koivuhakkeen TS ja VS (%) ennen kokeita.**

Materiaali	TS %	VS % TS
Koivuhake	61,4	92,3
Biohiili	88,5	95,3

Kevytsoran koostumusta ei tutkittu. Kevytsoran pakkauksessa olevan tuoteselosteen mukaan kevytsora on tehty poltetusta savesta, se ei sisällä ravinteita eikä liukene veteen. Kuten aiemmin todettiin, kantokappaleiden materiaali oli muovia. Suodinmateriaaleista analysoitiin kuiva-aine- ja tuhkapitoisuus kokeen loputtua kolonnien purkamisen yhteydessä. Tulokset on esitetty taulukossa 2.

### TAULUKKO 3. Biohiilen ja koivuhakkeen TS ja VS (%) kokeiden jälkeen.

Materiaali	TS %	VS % TS
Koivuhake	46,3	96,4
Biohiili	48,2	87,3

#### Ensimmäisen koesarjan tulosten tarkastelu

Ensimmäisessä koesarjassa merkille pantavaa on se, että suodinmateriaaleista, lähinnä puuhakkeesta, irtosi suodatettavaan veteen ravinteita ja muita yhdisteitä sekä kiintoainetta. Ensimmäisen koesarjan suodinmateriaalit eivät toimineetkaan puhdistavana ja ravinteita pidättävänä elementtinä vaan lähinnä ”päästölähteenä”. Kuitenkin koesarjan edetessä ravinteiden määrä väheni selvästi. Esimerkiksi elokuussa 2015 otettujen näytteiden typpipitoisuudet vaikuttaisivat olevan samaa tasoa tai hieman pienempiä kuin suodattamisessa käytetyn suoveden. Fosforin suhteen samaa ilmiötä ei esiintynyt, vaikka kolonnien läpi suodatetun veden fosforipitoisuus laski selvästi koesarjan edetessä.

Suodatinmateriaaleista voidaan havaita irronneen kiintoainetta, sillä kaikkien näytteiden osalta suodatettujen näytteiden kiintoainepitoisuus oli huomattavasti suurempi kuin suodattamattoman veden. Suodinten läpi valutetun veden sähkönjohtokyky oli suurempi kuin suodattamattoman veden. Suodatuksen voidaan todeta nostaneen veden pH:ta koesarjan alussa selvästi, mutta koesarjan lopussa yhtä selkeää muutosta ei ole nähtävissä. Joissain tapauksissa veden pH jopa laski.

Eri suodatinmateriaalien välillä ei näyttäisi ensimmäisen koesarjan perusteella olevan kovin suuria eroja. Tähän vaikuttaa luultavasti myös se, että jokaiseen suodinkoloniin pakattiin esisuodattimeksi puuhaketta. Jos suodinmateriaalit olisivat olleet kolonneissa yksinään, olisivat tulokset luonnollisesti olleet erilaisia. Suodatetun veden tyyppiä vaikuttaisivat pidättävän parhaiten kantokappaleet. Myös fosforipitoisuudet olivat kantokappaleiden osalta selkeästi pienempiä kuin muita suodinmateriaaleja käytettäessä.

Materiaalien TS/VS-pitoisuuksissa ei näyttäisi tämän kokeen perusteella tapahtuvan olennaisia muutoksia. Materiaalit luonnollisesti vettyvät kokeen edetessä, mutta niiden sisältämän orgaanisen aineksen määrässä ei näyttäisi tapahtuvan olennaista muutosta.

#### Laboratoriomittakaavan kokeet – toinen koesarja

Toinen koesarja käynnistettiin syyskuussa 2015, ja sitä jatkettiin tammikuun 2016 loppuun. Koesarjan toteutusperiaatetta muutettiin ensimmäisestä koesarjasta saatujen kokemusten pohjalta.

## Koejärjestelyt

Koska ensimmäisessä koesarjassa käytetyt vesimäärät olivat melko suuria, koejärjestelyjä päätettiin muuttaa ennen toisten suodatuskokeiden aloittamista. Uudet suodatinkolonit rakennettiin kahden litran muovisiin mittalaseihin. Toisen vaiheen suodatuskokeissa testattiin viittä eri materiaalia, jotka olivat biohiili (palakoko > 16 mm, varmistettu seulan avulla), kevytsora, rahkasammal (haettu Juvan Kurkimäen kohteesta 23.9.2015), tuhkarae ja lehtipuuhake. Toisen koesarjan suodattimet on esitetty kuvassa 4.



**KUVA 4. Toisen vaiheen suodatinkolonit (kuva Tuija Ranta-Korhonen).**

Jokaisesta suodatinmateriaalista tehtiin kaksi rinnakkaista kolonnia. Kolonniehin pakattiin suodatinmateriaalia noin 1,6 litraa. Suodattimet pakattiin 2.10.2015, ja viikonlopun 3.–4.10. ajaksi suodattimet täytettiin tislatulla vedellä. Tämä tehtiin siksi, että ensimmäisen koesarjan perusteella oli tiedossa, että suodatinmateriaaleista irtaantuu koesarjan aluksi runsaasti ravinteita. Huuhtelemalla suodatinmateriaaleja tislatulla vedellä haluttiin alentaa materiaalien ravinnepitoisuutta. Huuhtelu tislatulla vedellä toistettiin. Huuhteluvästä analysoitiin kokonaistyyppi ja -fosfori.

## Kokeiden suoritus

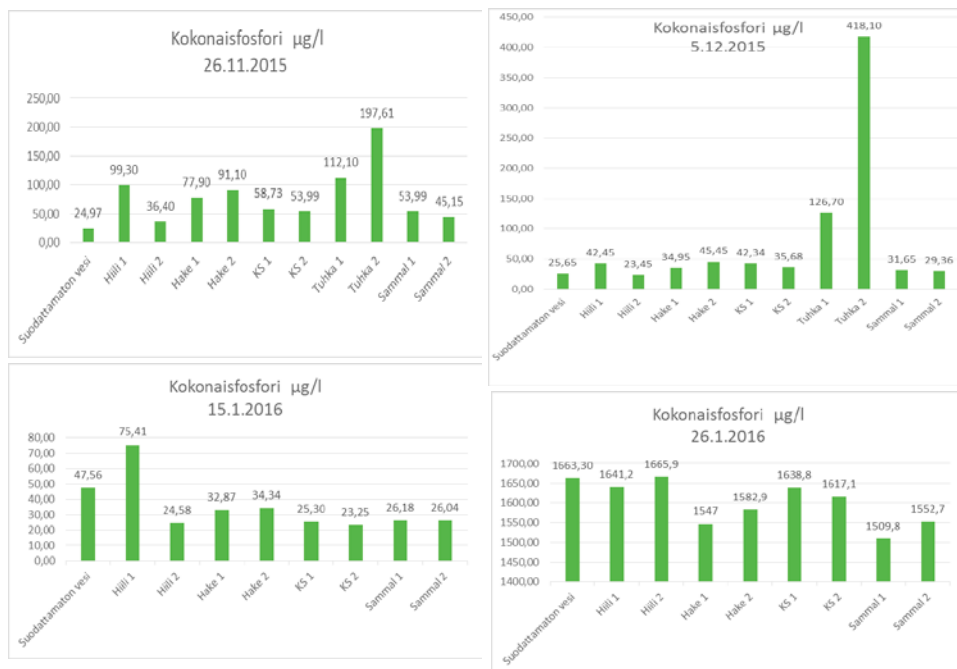
Myös toisen koesarjan toteutusta varten maastosta haettiin suovettä, noin 200 litraa kerralla. Toisessa koesarjassa veden suodattaminen toteutettiin kahden letkupumpun avulla. Vettä suodatettiin kolonnien läpi pari kertaa viikossa vaihtelevia määriä. Ennen jokaista suodatusta veden pH ja johtokyky mitattiin. Jokaisen kolonnin läpi

suodatetusta vedestä otettiin näyte, josta myös määritettiin pH ja johtokyky. Lisäksi suodattamattomasta ja käsitellystä vedestä analysoitiin kokonaistyyppi ja -fosfori, COD<sub>Mn</sub>, sameus sekä kiintoaine.

Syksy 2015 oli sateinen, ja talven tulo viivästyi. Tästä johtuen suodatuskokeita varten oli mahdollista hakea vettä vielä joulukuussa 2015. Paria viimeistä suodatuskertaa varten valmistettiin eräänlaista synteettistä suovettä lisäämällä vesiliukoista kastelulannoitetta ja turvetta tislattuun veteen. Synteettisen suoveden ravinnepitoisuuksiin saatiin noin 5 mg/l typen osalta ja noin 1,3 mg/l fosforin osalta. Toisen koevaiheen suodatuskokeet saatiin päätökseen tammikuussa 2016.

### Toisen vaiheen koesarjan tulokset

Tässä koesarjassa jokainen suodinmateriaali oli pakattu kolonniin yksinään. Tällä tavoin saatiin paremmin selville nimenomaan kyseisen materiaalin vaikutus suoveden laatuun. Seuraavassa kuvassa (kuva 5) on esitetty suodinmateriaalin vaikutus suoveden laatuun koesarjan edetessä kokonaisfosforipitoisuuden mukaan mitattuna.



**KUVA 5. Kuvassa ylhäällä kokonaisfosforipitoisuudet marras- ja joulukuussa 2015 ja alhaalla tammikuussa 2016. Jälkimmäisessä analyysissä on käytetty ”keinotekoista suovettä”.**

Taulukossa 4 on esitetty toisen koesarjan tulokset COD<sub>Mn</sub>:n osalta.

#### TAULUKKO 4. Toisen koesarjan COD<sub>Mn</sub>-tulokset.

COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	Suodat- tamaton vesi	Hiili 1	Hiili 2	Hake 1	Hake 2	KS 1	KS 2	Tuh- ka 1	Tuh- ka 2	Sam- mal 1	Sam- mal 2
24.11.2015	36,67	30,67	31,33	42,00	38,00	32,00	32,67	25,33	30,00	40,67	44,67
8.12.2015	54,00	33	34	38,00	45,33	33,33	33,3	32	30,67	36	38
15.12.2015	52,00	52	52	54	52,67	53,33	52	45,33	46,00	49,33	50,00
21.1.2016		16	16	8	20	8,00	12,00	12	16	12,00	16
28.1.2016	8,80	11,20	11,20	8,80	7,20	6,40	4,80	5,60	4,80	5,60	4,80

Kaikkien suodatinmateriaalien TS/VS analysoitiin ennen kokeiden aloittamista, ja analyysi toistettiin koesarjan lopettamisen jälkeen. Tulokset on esitetty taulukossa 5.

#### TAULUKKO 5. Suodatinmateriaalien TS ja VS (%).

Ennen suodatuskokeita				Suodatuskokeiden jälkeen			
Suodinmate- riaali	TS %	Tuhka- pitoisuus %	VS % TS	TS % kuiva- us foliora- siassa	TS % kuivaus upokkaas- sa (*murs- kaami- sen jälkeen)	Tuhkapi- toisuus %	VS % TS
Metsähake	57,80	3,23	96,76	42,58	* 82,90	3,13	97,91
Biohiili	53,70	1,91	98,09	42,25	* 91,87	6,00	89,61
Rahkasammal	9,99	2,60	97,40		9,85	0,00	93,33
Tuhka	73,72	95,81	4,19		77,28	95,88	4,12

Suodatinmateriaalien ominaisuuksia analysoitiin MMM:n asetuksen 24/11 mukaisesti (huomioiden myöhemmät muutokset) ennen suodatinkokeita ja niiden päättämisen jälkeen. Tällä tavalla pyrittiin selvittämään suodatetun veden materiaaleille aiheuttama muutos. Materiaalianalyysit teetettiin Eurofins Finland Oy:n laboratoriossa Mikkeliissä (Viljavuuspalvelu). Analyysien tulokset ravinteiden osalta on esitetty taulukossa 6.



**TAULUKKO 6. Suodatinmateriaalien ravinteet ennen kokeita ja kokeiden jälkeen.**

Parametri	TUHKARAE		BIOHIILI		HAKE		SAMMAL	
	Alkupitoisuus	Suodatinkokeiden jälkeen	Alkupitoisuus	Suodatinkokeiden jälkeen	Alkupitoisuus	Suodatinkokeiden jälkeen	Alkupitoisuus	Suodatinkokeiden jälkeen
N, vesiliukoinen tuorepainossa kg/t	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,062
N, vesiliukoinen tuorepainossa kg/t	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,062
N, kokonais tuorepainossa kg/t	< 0,5	0,59 (±0,12)	2,7	1,2 (±0,2)	0,83	1,2 (±0,2)	0,84	0,85 (±0,17)
P, liukoinen mg/kg	< 10	0,61	< 10	0,78	18,0	2,4	< 10	55
P, kokonais g/kg	6,1	7,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
K, kokonais g/kg	12,0	10,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	4,2	2,6
Ca, kokonais g/kg	67,0	72,0	5,3	1	< 1,0	3,3	2,1	11

Samassa yhteydessä suodatinmateriaaleista analysoitiin myös asetuksen 24/11 mukaiset haitallisten aineiden pitoisuudet. Tulokset on esitetty taulukossa 7.

**TAULUKKO 7. Suodatinmateriaalien haitallisten aineiden pitoisuudet.**

Määritetty alkua-aine mg/kg	TUHKARAE		BIOHIILI		HAKE		SAMMAL	
	Alkupitoisuus	Suodatinkokeiden jälkeen	Alkupitoisuus	Suodatinkokeiden jälkeen	Alkupitoisuus	Suodatinkokeiden jälkeen	Alkupitoisuus	Suodatinkokeiden jälkeen
As, kokonais	28	32	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,1	< 5,0	< 5,1
Cd, kokonais	3,8	3,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,15	< 0,1	0,13
Cr, kokonais	110	110	< 3,0	< 3,0	< 3,0	9,3	< 3,0	5,1
Cu, kokonais	180	210	5,3	3,4	2,5	12	7,8	13
Hg, kokonais	0,18	0,19	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	0,12
Ni, kokonais	76	72	< 3,0	< 3,0	< 3,0	13	< 3,0	9,6
Pb, kokonais	100	130	< 2,0	< 2,0	< 2,0	3,2	< 2,0	55
Zn, kokonais	1 000	890	96	62	33	62	27	56

## Toisen vaiheen kokeiden tulosten analysointi

Jokaisesta suodatinmateriaalista oli rakennettu kaksi rinnakkaista suodatinkolonnia. Rinnakkaisten kolonnien läpi suodatetusta vedestä tehtyjen määritysten tulokset saattoivat kuitenkin eri materiaalien osalta vaihdella melko paljon, mikä tarkoittaa sitä, että ilmeisesti esimerkiksi ravinteiden pidätykseen osallistuva biofilmi kehittyi suotimissa eri tahtiin. Kevytsoraa ja sammalta käytettäessä suodinmateriaali vaikutti olevan rinnakkaisissa suodattimissa suhteellisen homogeenistä, sillä niiden välillä ei huomattu samanlaisia tulosten hajontaa kuin hakkeessa tai biohiilessä. Yhtenä suodinmateriaalina kokeissa oli mukana rakeistettu tuhka, mutta se todettiin kokeiden aikana monella tapaa tarkoitukseen soveltumattomaksi tuotteeksi (materiaalista irtosi huomattavan paljon rakeistamisessa käytettyä rautayhdistettä). Tosin  $COD_{Mn}$ -tulokset olivat tuhkasuotimien läpi suodattamisen jälkeen selkeästi alempia kuin ennen suodatusta.

Toisen koesarjan perusteella fosforinpidätyskyvyltään parhaimpia materiaaleja vaikuttaisivat olevan kevytsora ja sammal. Biohiilellä pakattujen kolonnien fosforinpidätyskyvyssä oli suuria keskinäisiä eroja, sillä toinen kolonni (Hiili 2) vaikutti pidättävän fosforia selvästi, kun taas toinen kolonni toimi koesarjan loppuun saakka lähinnä fosforin lähteenä. On mahdollista, että erot olisivat tasoittuneet, mikäli koesarjaa olisi vielä jatkettu.

Typen pidätyksen suhteen ei materiaalien välillä ole havaittavissa selkeää paremmuusjärjestystä. Rinnakkaiset kolonnit vaikuttaisivat toimineen tässä kohtaa hieman eri tahtiin, sillä jokaisessa materiaalissa toinen kolonni pidätti selkeästi enemmän typpeä suodatetusta suovedestä kuin toinen kolonni. Typpinäytteitä tarkasteltaessa on otettava huomioon se, että Mamkin Kjeldahl-tislauslaite meni epäkuntoon lokakuussa 2015 ja sen kuntoon saaminen kesti melkein puoli vuotta. Kyseisen ajan otetut näytteet olivat pakkasessa. Standardin mukainen säilytysaika pakastettuna on 1 kk, joten se ylitettiin reilusti.  $COD_{Mn}$ :n osalta hyviä suodinmateriaaleja vaikuttaisivat tuhkarakeen ohella olevan hiili, kevytsora ja sammal. Tulokset tosin vaihtelivat melko paljon.

Kaikilla materiaaleilla sammalta lukuun ottamatta oli pH:ta nostava vaikutus suodatettuun veteen. Sammalla näytti lähinnä alentavan veden pH:ta. Sähkönjohtokykyyn kaikilla materiaaleilla näytti olevan pääsääntöisesti sitä nostava vaikutus (joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta).

Toisenkaan koesarjan perusteella ei löytynyt materiaalia, jonka voisi sanoa olevan selkeästi toisia materiaaleja tehokkaampi puhdistusteholtaan. Kuitenkin jos tarkastellaan taulukossa 6 esitettyjä suodinmateriaalien ravinnemäärittäyksiä ennen suodinkokeiden aloittamista ja niiden lopettamisen jälkeen, voidaan todeta, että sammal on selkeästi pidättänyt vedestä sekä typpeä että fosforia, sillä molempien pitoisuudet analysoidussa materiaalissa ovat kasvaneet. Sammalen voidaan havaita pidättävän suovedestä myös haitallisia aineita, mikä nähdään taulukosta 7. Sammalen ohella myös hakkeella näyttäisi olevan haitallisia aineita pidättävä vaikutus.

## Laboratoriomittakaavan kokeet – kolmas koesarja

Kolmannen vaiheen laboratoriomittakaavan kokeet käynnistettiin 2.6.2016. Materiaalit valittiin maaliskuussa 2016 pidetyn Skype-palaverin perusteella. Rahkasammal oli aiempien kokeiden perusteella vaikuttanut lupaavalta, joten sen tutkimista päätettiin jatkaa.

### Koejärjestelyt

Tässä koesarjassa päätettiin rakentaa kaksi kaksivaiheista suodatinta. Kumpaakin suodatinta rakennettiin kaksi rinnakkaista. Toisen suodattimen suodatinmateriaalit olivat Nordkalkin kaivokalkki ja kuusen kuori; näistä kolonneista käytettiin nimiä Kuori 1 ja Kuori 2. Toisissa kolonneissa, jotka nimettiin Sammal 1:ksi ja Sammal 2:ksi, materiaaleina olivat rahkasammal, Aquamineralsin toimittama kaupallinen tuote (adsorbentti) ja kantajakappaleet. Koesarja käynnistettiin toukokuun lopussa. Koejärjestely on esitetty kuvassa 6.



**KUVA 6. Kolmannen vaiheen laboratoriomittakaavan kokeet (kuva Tuija Ranta-Korhonen).**

Kolmannessa vaiheessa laboratoriomittakaavan kokeet tehtiin Metsäsairilan terminaalientien laskeutusaltaan hulevedellä sekä Kovalan suovedellä. Kokeessa oli tarkoitus valuttaa vettä suodinrakennelmien läpi viikoittain seuraavan suunnitelman mukaisesti: maanantaina 3 litraa, tiistaina ja keskiviikkona 2 litraa ja torstaina ja perjantaina 1 litraa, viikossa siis yhteensä 9 litraa/kolonne. Veden läpivirtaus sammalkolonneissa kuitenkin ajan myötä heikkeni, joten veden määrää vähennettiin 1–2 litraan. Kolonnien läpi suodatetusta Metsäsairilan vedestä määritettiin pH ja johtokyky ennen ja jälkeen suodatuksen 21 kertaa, Kovalan vedestä 16 kertaa. Lisäksi kolonneista otettiin näytteet sarjojen alussa ja lopussa, ja näistä määritettiin N-, P- ja COD<sub>Mn</sub>-pitoisuudet kolmannen vaiheen alussa ympäristölaboratoriossa. Loput kolme määrittysarjaa tehtiin ulkopuolisessa laboratoriossa.

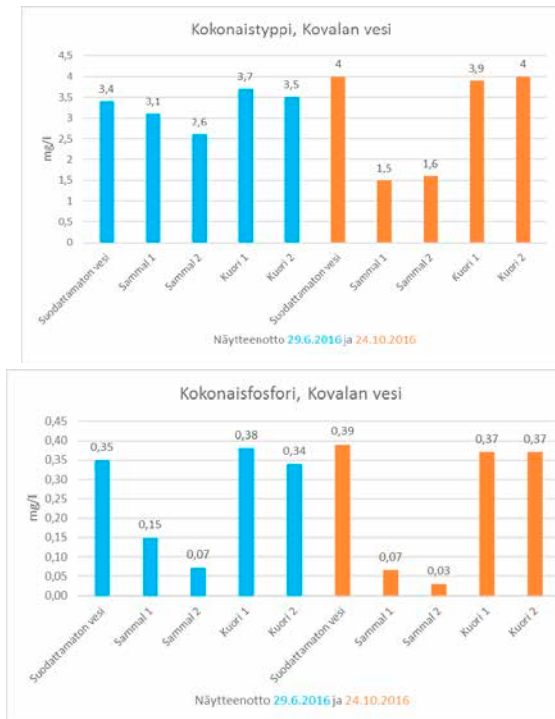
### Kolmannen vaiheen koesarjan tulokset

Kuvassa 7 on havainnollistettu kolmannen vaiheen tuloksia. Kuva esittää Metsäsairilan ja Kovalan vesien kemiallista hapenkulutusta näytesarjan alussa ja lopussa.



**KUVA 7. Metsäsairilan ja Kovalan vesien kemiallinen hapenkulutus.**

Kovalan veden kokonaistyyppi- ja -fosforimäärityksistä on kaaviot kuvassa 8. Määri-tykset tehtiin ennen suodatusta ja suodatuksen jälkeen.



**KUVA 8. Kovalan veden kokonaistyppi ja -fosfori.**

### Kolmannen vaiheen kokeiden tulosten analysointi

Metsäsairilan vettä suodatettaessa kolonnit pysyivät kokonaistypen ja -fosforin suhteen ravinteiden lähteinä eivätkä pienentäneet pitoisuuksia. Sen sijaan sammalkolonnit olivat laskeneet kemiallisen hapenkulutuksen ( $COD_{Mn}$ ) arvoja, mikä osoittaa, että ne pidättivät kemiallisesti hapettuvia orgaanisia aineita.

Sammalkolonnit vähensivät merkittävästi Kovalan suoveden typpi- ja fosforipitoisuuksia sekä kemiallista hapenkulutusta. Erityisesti lokakuun lopun näytteenotossa sammalkolonnien ravinteiden pidätyskyky oli huomattava; kokonaistyppi väheni 60 prosentilla, kokonaisfosfori pidättyi lähes 90-prosenttisesti ja kemiallinen hapenkulutus putosi viiteen prosenttiin. Sammalkolonnit poistivat myös vedestä värin antavan humuksen, kuten kuvasta 9 voidaan havaita.



**KUVA 9. Kovalan suovedet suodatuksen jälkeen, vasemmalla referenssi (kuva Laura Lukkarinen).**

Metsäsairilan ja Kovalan vedet olivat ennen suodatusta hieman happamia tai neutraaleja. pH oli Metsäsairilan vedessä 6,5–7,7, kun taas Kovalan vesi oli happamampaa, pH:n vaihteluväli oli 5,2–5,8. Suodatettaessa sammalkolonit nostivat molempien vesien pH:ta selvästi. Myös sähkönjohtokykyyn oli näillä kolonneilla samanlainen vaikutus.

## Johtopäätökset

Ensimmäisen vaiheen laboratoriomittakaavan kokeissa ei löytynyt suodatinmateriaalia, joka olisi selvästi pidättänyt ravinteita ja kiintoainetta kokeissa käytetystä suovedestä. Kaikki suodinmateriaalit vaikuttivat veden pH-arvoon ja johtokykyyn, eli jonkinlaisia muutoksia vedessä tapahtui.

Myöskään toisen vaiheen kokeissa mikään käytetyistä suodatinmateriaaleista ei nousut selkeästi toisia paremmaksi. Kuitenkin kun kokeessa käytetyt suodatinmateriaalit analysoitiin, voitiin nähdä, että esimerkiksi suodatinmateriaalina käytetyn rahkasammalmen ravinnepitoisuus oli noussut. Lisäksi sammal oli pidättänyt vedestä selvästi haitallisia aineita.

Kolmannen vaiheen laboratoriomittakaavan kokeissa havaittiin, että Metsäsairilan vettä suodatettaessa kolonit pysyivät kokonaistypen ja -fosforin suhteen ravinteiden lähteinä eivätkä pienentäneet pitoisuuksia. Sen sijaan sammalkolonit olivat laskeneet kemiallisen hapenkulutuksen ( $COD_{Mn}$ ) arvoja, mikä osoittaa, että ne olivat pidättäneet kemiallisesti hapettuvia orgaanisia aineita. Myöhemmin syys-lokakuussa koesarja uusittiin Kovalan suovedellä. Tällöin sammalkolonit vähensivät suoveden typpi- ja fosforipitoisuuksia sekä kemiallista hapenkulutusta merkittävästi. Humusta poistui huomattavassa määrin, mikä näkyi selkeänä veden värin kirkastumisena.

Sammalkolonit oli koostettu rahkasammaleesta, kaupallisesta adsorbentista sekä kantajakappaleista. Suotautuminen tapahtui sammalkolonneissa huomattavasti hitaammin kuin kuorikolonneissa, ja tämä todennäköisesti edisti biofilmin kasvua ja kolonin ravinteita suodattavaa vaikutusta.



# BIOSUODATTIMIEN TESTAUS VESIENSUOJELUKOHOEISSA – ANALYYSITULOKSET

*Kalle Karosto & Laura Lukkarinen & Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen*

Hankkeen aikana biosuodattimia testattiin pilottimittakaavassa käytännön metsätalouden vesiensuojelukohteissa. Hankkeen aikana perustettiin viisi pilottikohdetta, joista yksi sijaitsee metsäbiomassan varastointialueella, kolme kunnostusojituskohteen vesiensuojelurakenteissa ja yksi entisellä turvetuotantosuolla. Kokeen aikana seurattiin vaikutuksia ympäristöön. Kokeiden aikana monitoroitiin ja analysoitiin muun muassa pH, sameus, johtokyky, lämpötila ja happi. Jatkuvatomuksista mittauksista tieto siirtyi pilvipalvelun kautta hankkeen käyttöön, mikä mahdollistaa oikea-aikaisen analysoitavien vesien näytteenoton. Näytteistä analysoitiin laboratoriossa online-mittausten lisäksi kiintoaine-, typpi- ja fosforipitoisuudet sekä muu ravinnekuormitus. Vesinäytteistä analysoitiin myös kokonaismetallipitoisuudet ennen biosuodatinta ja pitoisuudet käsittelyn jälkeen.

## **Pilottimittakaavan maastokohteiden esittely**

### **Juva I, Kurkimäen kohde – ensimmäinen pilottikohde**

Ensimmäinen pilottimittakaavan kohde rakennettiin 10.8.2015 Juvalle Kurkimäkeen. Kunnostusojitus ja laskeutusaltaan kaivutyöt kohteessa oli tehty heinäkuun 2015 aikana. Kohteesta oli otettu ensimmäiset vesinäytteet ennen kaivutöitä kesäkuun 2015 lopulla. Kuvassa 1 on esitetty kohde ennen kunnostusojitusta.





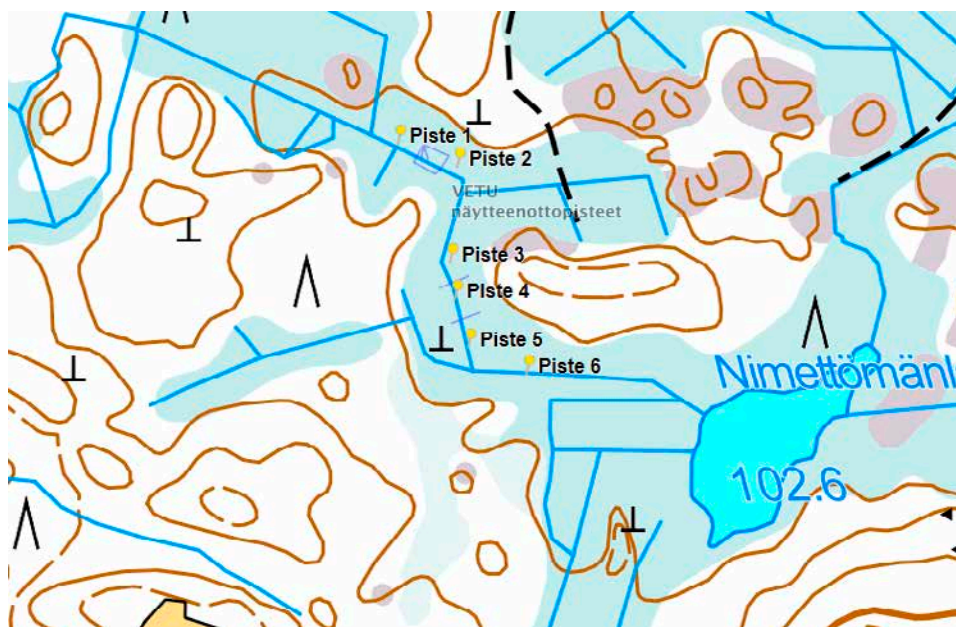
**KUVA 1. Kurkimäen kohde ennen kunnostusojitusta (kuvat Tuija Ranta-Korhonen).**

Rakennustöiden yhteydessä otettiin näytteitä kolmesta eri pisteestä: ennen laskeutusallasta (piste 1), laskeutusaltaan jälkeen (piste 2) ja kaivukatkon jälkeen (ennen ensimmäistä suodinrakennelmaa). Jatkossa näytteitä otettiin vaihdellen kaikista kuudesta eri pisteestä. Kuvissa 2 on esitetty sama kohde kaivutöiden jälkeen.



**KUVA 2. Kurkimäen kohde kunnostuksen jälkeen (kuvat Tuija Ranta-Korhonen).**

Juvan Kurkimäkeen rakennetun ensimmäisen kohteen valuma-alue on 50 hehtaaria. Kohteen puusto on noin 40–50-vuotista männikköä, ja edellisestä ojituksesta on 25–30 vuotta. Alueen kartta on esitetty kuvassa 3.



**KUVA 3. Juvan Kurkimäessä sijaitsevan ensimmäisen pilottikohteen kartta ja näytteenottopisteet (mukaillen Karttapaikka).**

Suodatinten tukirakenteet tehtiin puusta ja metalliverkosta. Ensimmäisessä pilottimittakaavan kohteessa päätettiin kokeilla suodatinmateriaaleina lehtipuuhaketta ja biohiiltä; käytetty hiili oli palakooltaan suunnilleen tavallisen grillibriketin suuruista. Molemmat suodatinmateriaalit pakattiin muoviverkosta tehtyihin ”porkkanapusseihin”. Maastoon rakennetut suodatinrakennelmat on esitetty kuvassa 4. Alkusyksy 2015 oli hyvin vähäsateinen, mutta loppusyksystä sademäärät kasvoivat. Sadevettä tuli jopa siinä määrin, että ensimmäisen kohteen metsänomistajat huolestuivat hakepadon padottavasta vaikutuksesta ja siitä, että pato estää metsänpohjan normaalin kuivumisen. Hakepato päätettiin purkaa metsänomistajien pyynnöstä 17.11.2015.





**KUVA 4. Kurkimäen kohteeseen rakennetut hake- ja biohiilisuodatin (kuvat Tuija Ranta-Korhonen).**

#### **Juva 2, Pakinmaa – toinen pilottikohde**

Myös toinen suodatinrakennelma päätettiin perustaa Juvan Pakinmaalle, noin 10 km pohjoiseen ensimmäisestä kohteesta. Kyseisessä paikassa oli tehty kunnostusojitukset kevättalvella 2015. Kohteeseen pystytettiin suodatinrakennelma lokakuussa 2015. Tällä kertaa päätettiin rakentaa ainoastaan yksivaiheinen suodatinrakennelma, jossa suodatinmateriaalina on biohiili. Kohde päästiin rakentamaan lokakuun alkupuolella (7.10.2015). Pystytetty suodatinrakennelma on esitetty kuvassa 5. Kohteessa on kaksi näytepistettä – nro 7 ennen suodintia ja nro 8 suodattimen jälkeen.



**KUVA 5. Juvan Pakinmaalle pystytetty toinen suodatin (kuva Tuija Ranta-Korhonen).**

### **Metsäsairila, metsäbiomassan varastointialue – kolmas pilottikohde**

Kolmas kohde perustettiin marraskuun 2015 puolivälissä Metsäsairilaan Etelä-Savon Energia Oy:n polttoaineterminaalin yhteyteen. Terminaalikentän hulevedet johdetaan laskeutusaltaaseen, josta ne purkautuvat eteenpäin Iso-Palvanen-nimiseen järveen. Tällä kertaa suodatinrakennelmasta tehtiin hieman erilainen. Suodatin on huomattavasti pitempi kuin aikaisemmat suodattimet. Lisäksi ennen suodatinrakennelmaa laskuojan alkupäässä sijaitsee isokokoisesta murskeesta rakennettu pohjapato, joka laskee olennaisesti terminaalikentältä tulevien hulevesien virtausnopeutta. Metsäsairilaan sijoitettu suodatin on esitetty kuvassa 6. Kohteessa on kaksi näytepistettä – nro 9 ennen suodinta ja nro 10 suodattimen jälkeen.



**KUVA 6. Metsäsairilaan perustettu kolmas pilottikohde (kuva Tuija Ranta-Korhonen).**

Hankesuunnitelman mukaisesti tutkittiin myös mahdollisuutta mitata veden laatua ja siinä tapahtuvia muutoksia online-sondin avulla. Sondi sijoitettiin 25.5.2016 ESE Oy:n polttoaineterminaalin viivästysaltaaseen. Sondi asennettiin roikkumaan vene-poijuun, joka ankkuroitiin viivästysaltaan molemmille puolille. Sondin lähetin asennettiin puutolppaan viivästysaltaan rannalle. Sondin ja lähettimen asennus on esitetty kuvassa 7.



**KUVA 7. Online-sondi ja lähetin (kuva Tuija Ranta-Korhonen).**

Sondin asentoa jouduttiin korjaamaan 1.6., sillä veden pinta oli laskenut altaassa huomattavasti kuumien säiden ja vähäsateisuuden vuoksi. Altaasta käytiin ottamassa vesinäyte viikoittain, ja näytteistä määritettiin samat muuttujat, joita sondikin mittaa. Tulokset on esitetty taulukossa 1. Taulukossa 2 on vertailtu sondin ja laboratoriomittausten tuloksia.

**TAULUKKO 1. Online-sondin mittaustulokset.**

	Lämpötila °C	Sähkönjohtokyky (µS/cm)	TDS (g/l)	pH	pH (mV)	sameus (NTU)	happi %	happi (mg/l)
2.6.2016 10:50	16,1899	352	0,274994	6,91992	-19,2998	6,09998	81,5	8
3.6.2016 10:50	15,8699	260	0,203999	6,70996	-7,3999	2,39996	67,5996	6,67993
4.6.2016 10:50	14,8198	275	0,221996	6,8999	-18	2,39996	74	7,47998
5.6.2016 10:50	14,25	270	0,220997	7,0199	-25,0996	3	79,7988	8,16992
6.6.2016 10:50	12,1199	257	0,221996	7,12	-30,2998	1,69998	78,3984	8,41992
7.6.2016 10:50	11,5398	247	0,216	7,13989	-31,2998	4,09998	81,0996	8,82983
8.6.2016 10:50	13,8298	253	0,209	7,15991	-32,3994	2,39996	83,7988	8,65991
9.6.2016 10:50	11,1699	257	0,226997	7,12	-30,5	2,5	71,1992	7,80994
10.6.2016 10:50	10,96	254	0,225998	7,19995	-34,7998	5,29993	72	7,93994
11.6.2016 10:50	12,4099	254	0,216999	7,18994	-34	1,09998	77,3984	8,25
12.6.2016 10:50	12,4199	268	0,228996	7,23999	-36,8994	1,59998	76,3984	8,13989
13.6.2016 10:50	12,9199	275	0,231998	7,20996	-35,1992	1	77,5996	8,18994
14.6.2016 10:50	13,7	286	0,237	7,10999	-29,6997	1,29999	72,8984	7,55994
15.6.2016 10:50	15,25	285	0,226997	7,12988	-30,7998	1,09998	74,6992	7,48999

## TAULUKKO 2. Online-sondin ja laboratoriomittausten tulosten vertailu.

	8.6.2016		14.6.2016	
	sondi	labra	sondi	labra
sähkönjohtokyky (mS/cm)	253	348	286	347
sameus (NTU)	2,4	4,30	1,3	2,30
pH	7,16	7,07	7,11	7,07
happi (mg/l)	8,66	4,65	7,56	4,65
lämpötila (°C)	13,8	12,4	13,7	12,3

### Hippala, Mamkin opetusmetsä – neljäs pilottikohde

Neljäs kohde perustettiin 10.5.2016 Otavan Hippalaan, Mikkelin ammattikorkeakoulun opetusmetsään. Kohteen perustamispäivänä rakennettiin laskeutusallas ja perattiin laskeutusaltaalle tuleva oja kaivuria käyttäen. Tästä suodattimesta tehtiin kaksivaiheinen siten, että ensimmäiseen suodattimeen tuli Nordkalk Oy:n sivukiveä ja toiseen suodattimeen Flootech Oy:n toimittamia jätevedenpuhdistuksessa käytettyjä kantajakappaleita. Kalkkikiveä sisältävä suodatin asetettiin laskeutusaltaasta lähtevän laskuojan alkupäähän, ja toinen suodatin asennettiin siitä noin 20 metrin päähän ojan alajuoksulle päin. Suodattimien välistä ojaa ei perattu kaivurilla, vaan siitä poistettiin vain lapiolla hakkuutähteitä ja mutaa.

Kohteesta oli otettu vesinäyte ennen kaivutöitä 25.4.2016. Tällä kertaa suotimien runkoja ei rakennettu puutavarasta, vaan niitä varten teetettiin Veke-katiskan valmistajalla nieluttomia katiskoja, jotka sijoitettiin ojaan. Suodattimen osat on esitetty kuvissa 8. Kohteesta otettiin vesinäytteet ensimmäisen kerran 24.5.2016 (kolme näytetä: nro 11 ennen sivukivisuodatinta, nro 12 sivukivisuodattimen jälkeen, nro 13 kantokappalesuodattimen jälkeen).





**KUVA 8. Hippalan kaksivaiheinen suodatin: sivukivi ja kantajakappaleet (kuva Tuija Ranta-Korhonen).**

#### **Kovalansuo, Vapon kohde – viides pilottikohde**

Viides kohde perustettiin 17.6.2016 Mikkelin Hiisolaan, Kovalansuolle, Vapo Oy:n turvetuotantoalueelle. Suodatin sijaitsee käytöstä poistetun turvesuon laskuojassa. Laskuojaan rakennettiin kaivinkoneen avulla maapato, jonka lävitse johdettiin läpimitaltaan 50 cm:n rumpuputki. Rumpuputken avulla vesi johdettiin suursäkkiin, jossa suodattavana aineena oli Vapo Oy:n palaturvetta (palat halkaisijaltaan n. 5cm). Suursäkin toiseen päähän asennettiin toinen, läpimitaltaan 40 cm oleva rumpuputki vedenpoistoputkeksi. Suodattimen toimintaperiaatteena oli, että maapato pataa suolta tulevaa vettä ohjaten sen rumpuputken kautta palaturpeella täytettyyn suursäkkiin. Suursäkissä vesi kulkeutuu noin metrin matkan turvepalojen lävitse ja poistuu suursäkin toisessa päässä olevasta poistoputkesta. Näytteenottopisteet sijaitsevat ennen maapatoa sekä suodattimen jälkeen, läpimitaltaan pienemmän rumpuputken (poistoputken) alapuolella. Näytestä numero 14 ja 15 otettiin ensimmäisen kerän näytteet 21.6.2016.



**KUVA 9. Kovalan suodatin: palaturpeet suursäkissä (kuva Laura Lukkarinen).**

## Pilottimittakaavan kokeet 2015

### Näytteenotto maastosta 2015

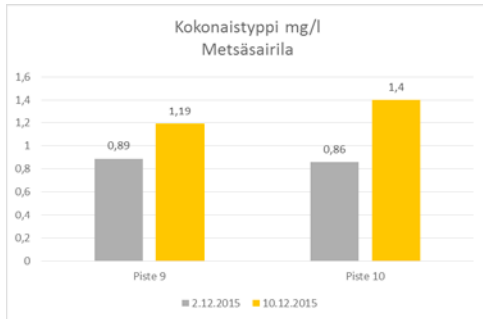
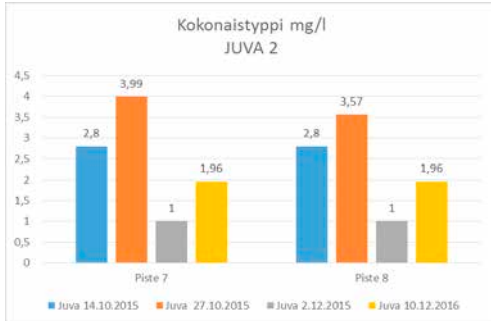
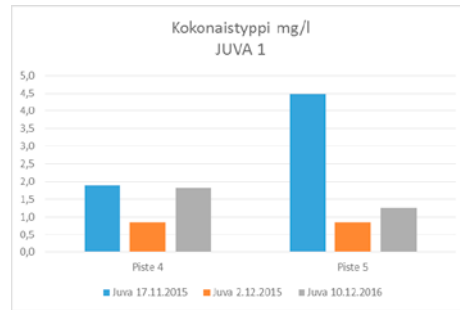
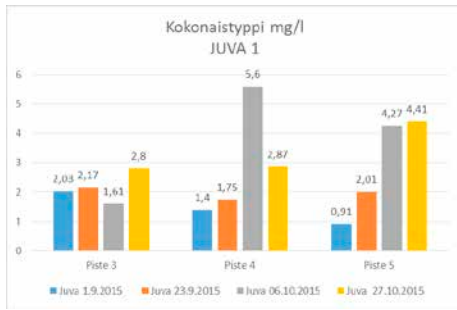
Jokaisesta kohteesta otettiin vesinäytteet ennen suotimien rakentamista, ja tämän jälkeen näytteitä pyrittiin ottamaan kahden viikon välein. Näytteenoton ajankohtaan vaikuttivat myös säätila ja ennen kaikkea sademäärät. Vuoden 2015 säätiedot on esitetty tämän raportin liitteenä. Säätiedoissa on käytetty Ilmatieteen laitoksen Mikkelin havaintopisteen tietoja.

Vesinäytteistä analysoitiin tutkimussuunnitelman mukaisesti pH, sameus, johtokyky, lämpötila ja happi-, kiintoaine-, typpi- ja fosforipitoisuudet sekä  $COD_{Mn}$ . Näytteenottoa voitiin myöhäisen talven tulon vuoksi jatkaa aina joulukuuhun. Viimeinen näytteenottokerta oli 10.12.2015. Joulukuun alun (2.12.) näytteenottokerran näytteet lähetettiin analysoitavaksi ulkopuoliseen laboratorioon (Eurofins Oy), ja tällöin näytteistä analysoitiin TOC/DOC,  $COD_{Mn}$  sekä P ja N. Lisäksi jokaisesta kohteesta otettiin vesinäytteitä ennen hiilisuodinta ja sen jälkeen, ja näytteistä analysoitiin Cr-, Cu-, Ni-, Pb-, V-, Zn- ja Mn-pitoisuudet ALS Finland Oy:n laboratoriossa.

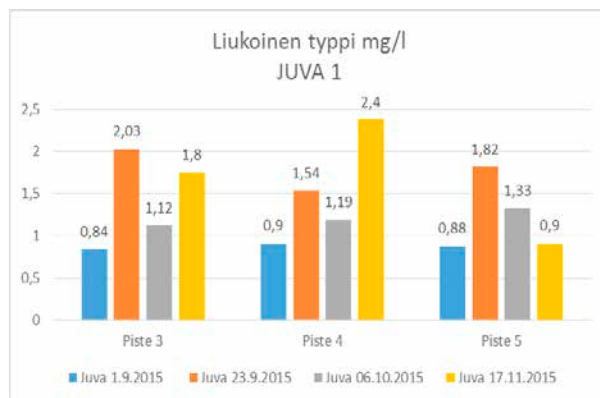
### Maastonäytteiden tulokset 2015

Maastosta otettujen näytteiden tuloksia on havainnollista esittää kuvaajien avulla. Kuvassa 10 on esitetty maastosta otettujen vesinäytteiden typpimääritysten tulokset kohteittain. Liukoista typpeä on kattavasti analysoitu ainoastaan kohteessa Juva 1 (kuva 11). Kyseisessä kohteessa hakesuodatin oli ennen poistamistaan sijoitettuna pisteiden 3 ja 4 väliin ja hiilisuodatin on pisteiden 4 ja 5 välissä. Kohteessa Juva 2 hiilisuodatin on sijoitettu pisteiden 7 ja 8 väliin, ja Metsäsairilan kohteessa suodatin on pisteiden 9 ja 10 välissä.



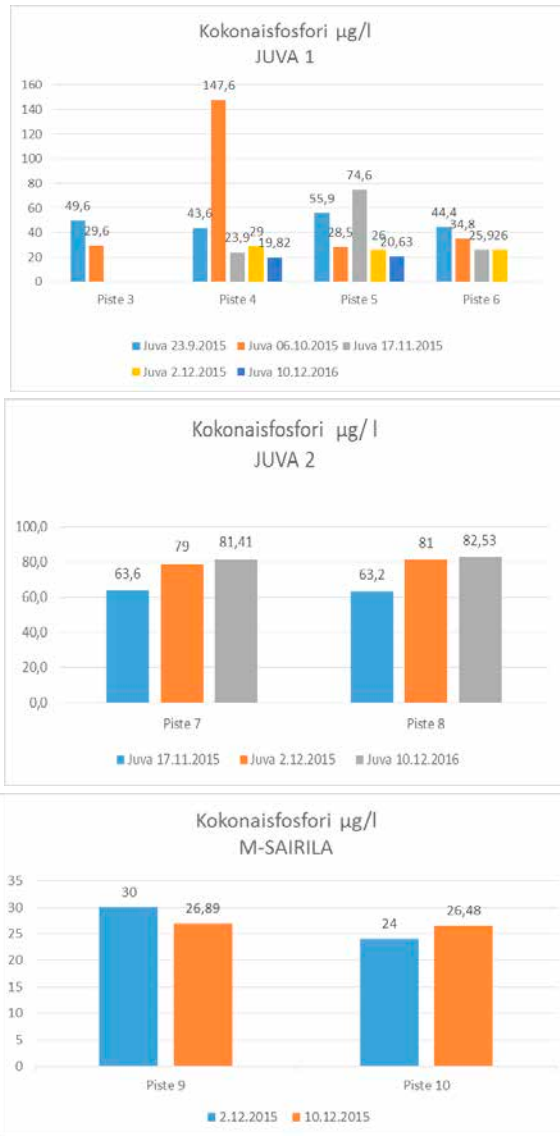


KUVA 10. Kokonaistyyppipitoisuudet kaikkien maastokohteiden osalta.



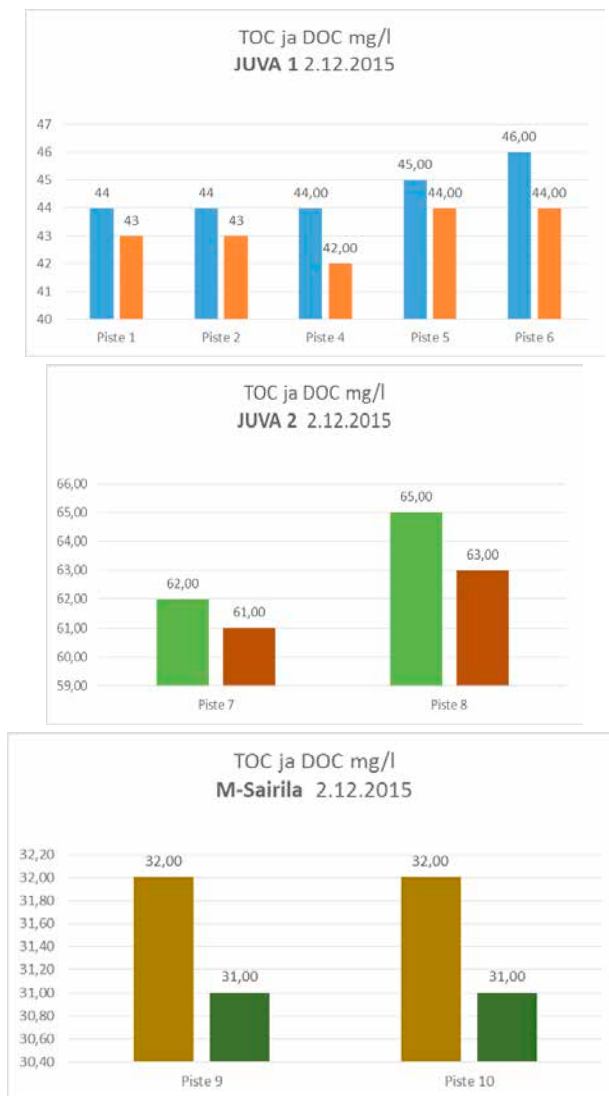
KUVA 11. Liukoisen typen pitoisuus kohteessa Juva 1.

Kuvassa 12 on esitetty kaikista maastokohteista otettujen vesinäytteiden kokonaisfosforipitoisuudet.



**KUVA 12. Kolmesta ensimmäisestä pilottikohteesta otettujen vesinäytteiden kokonaisfosforipitoisuudet.**

Kuten aiemmin jo todettiin, 2.12. otetut näytteet lähetettiin analysoitavaksi Eurofins Oy:n laboratorioon ja näytteistä määritettiin veden TOC- ja DOC-pitoisuudet. Määritysten tulokset on esitetty kuvassa 13.



**KUVA 13. Maastokohteiden TOC- ja DOC-pitoisuudet.**

Jokaisesta kohteesta otettiin vesinäyte ennen hiilisuodatinta ja sen jälkeen, ja näytteistä määritettiin kokonaismerallipitoisuudet ALS Finland Oy:n laboratoriossa. Määritysten tulokset on esitetty taulukossa 3.

**TAULUKKO 3. Veden raskasmetallipitoisuudet eri kohteissa (näytteenottopäivämäärä 10.12.2015).**

Pitoisuus mg/l	Juva 1		Juva 2		Metsäsairila	
	Piste 4	Piste 5	Piste 7	Piste 8	Piste 9	Piste 10
Cr	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0010	0,0010
Cu	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0055	0,0054
Ni	< 0,0020	< 0,0020	0,0021	< 0,0020	0,0074	0,0067
Pb	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
V	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Zn	0,0022	0,0045	0,0034	0,0148	0,0096	0,0108
Mn	0,0263	0,0255	0,0356	0,0349	0,0960	0,0951

### Maastosta 2015 otettujen näytteiden tulosten analysointi

Juvalle rakennettua ensimmäistä pilottikohdetta ehdittiin ennen talven tuloa seurata noin 4,5 kuukauden ajan. Seurantajakso oli sadannaltaan selkeän kaksijakoinen, sillä alkusyksy oli huomattavasti tavanomaista kuivempi ja loppusyksy toisaalta huomattavasti sateisempi kuin normaalisti. Jäätyminen ja talven tulo tapahtuivat hyvin myöhään. Muut kohteet rakennettiin myöhemmin syksyllä (loka- ja marraskuussa), eikä niitä myöskään ehditty seurata kovin pitkää aikaa ennen talven tuloa. On luultavaa, ettei kahteen myöhempään rakennettuun kohteeseen ehtinyt alhaisten lämpötilojen vuoksi kehittyä kovin paljon biofilmiä. Lisäksi alhaisen lämpötilan vuoksi mahdolliset kemialliset reaktiot ovat hitaita tai niitä ei ole lainkaan. Kohteiden seuranta oli tarkoitus aloittaa uudelleen talven jälkeen huhtikuussa 2016.

Typen osalta ei voida havaita suodattimien aiheuttavan mitään selkeää muutosta tai puhdistusvaikutusta. Myöskään fosfori- tai COD<sub>Mn</sub>-pitoisuuksissa ei voida havaita mitään selkeää muutosta. Havaitut muutokset ovat niin pieniä, että niiden voidaan olettaa mahtuvan virhemarginaaliin. Lisäksi monen muuttujan osalta muutokset eivät noudata mitään trendiä, vaan eri näytteenottokertojen tulokset vaihtelevat. Esimerkiksi typen osalta ensimmäisessä Juvan kohteessa hiilisuotimella vaikuttaisi 6.10. tehdyn näytteenoton perusteella olevan tyypeä pidättävä vaikutus, ja toisaalta seuraavalla näytteenottokerralla suodin vaikuttaisi pikemminkin toimivan typen lähteenä.

### Pilottimittakaavan kokeet 2016

#### Näytteenotto maastosta 2016

Vuoden 2016 näytteenotto aloitettiin huhtikuussa. Ensimmäisen kerran kohteilla vierailtiin 12.4., mutta silloin kaikki kohteet (JUVA 1, JUVA 2 ja Metsäsairila) olivat vielä jäässä. Ensimmäisen kerran näytteet saatiin otettua 25.4., paitsi JUVA 2 -suotimesta, joka oli edelleen jäässä. Toinen näytteenottokierros tehtiin 24.–25.5. Tällä kertaa kaikista kohteista saatiin haettua näytteet. Näytteenotossa oli mukana myös

Hippalan 10.5. rakennettu kohde. Kovalansuolta otettiin näytteet ensimmäisen ker-  
ran 21.6.2016. Elo-, syys- ja lokakuussa saatiin kaikista kohteista näytteet.

### Maastonäytteiden tulokset 2016

Näytteiden määrittämisestä järjestettiin tarjouskilpailu ulkopuolisille laboratorioille. Tarjouspyyntö lähetettiin Eurofins Finland Oy:lle, ALS Environment Oy:lle ja Nablabs Oy:lle. Näistä Nablabs voitti tarjouskilpailun edullisimman hinnan ansiosta. Nablabs Oy:n laboratoriossa määritettiin vesinäytteistä COD<sub>Mn</sub>, N (kok. ja liuk.), P (kok. ja liuk.) sekä TOC/DOC. Laboratoriossa tapahtuneen virheen vuoksi ensimmäisestä näyte-erästä ei kuitenkaan määritetty liukoisia ravinteita eikä TOC/DOC-pitoisuuksia. Näytteenoton 25.4. tulokset on esitetty taulukossa 4.

#### TAULUKKO 4. Maastosta otettujen vesinäytteiden tulokset 25.4.2016.

Näytepiste	CODMn (mg/l)	Nkok (mg/l)	Pkok (mg/l)
1.1	33	0,68	0,024
2.1	32	0,63	0,023
4.1	33	0,61	0,020
5.1	32	0,61	0,021
6.1	34	0,62	0,023
9.1	32	0,74	0,021
10.1	32	0,75	0,022
X, Hippala	46	0,74	0,012

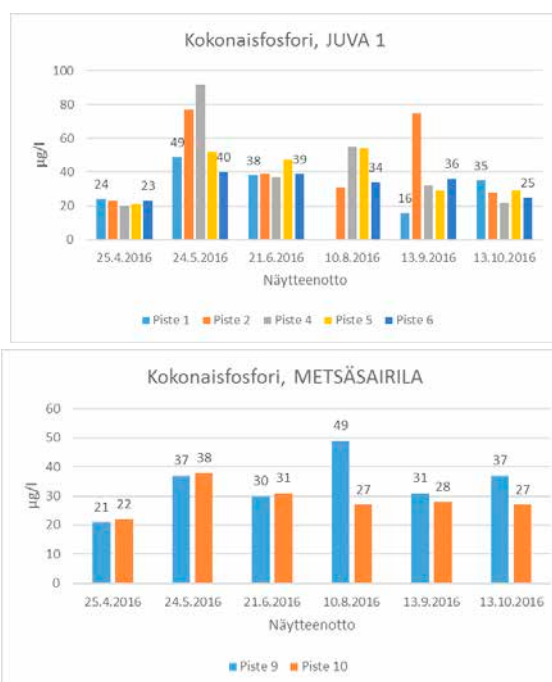
Mamkin omassa ympäristölaboratoriossa määritettiin näytteistä pH, johtokyky, sameus sekä veden happi- ja kiintoainepitoisuudet, ja muut määrittäykset teetettiin ulkopuolisessa laboratoriossa. Veden lämpötila mitattiin heti näytteenoton jälkeen maastossa.

#### TAULUKKO 5. Tulokset vuoden 2016 kokonaistyyppimäärittämisistä näytepisteittäin.

Kokonaistyyppi (mg/l)	JUVA 1					JUVA 2	
	1	2	4	5	6	7	8
25.4.2016	0,68	0,63	0,61	0,61	0,62		
24.5.2016	1,3	0,77	0,84	1,2	0,78	0,95	2,3
21.6.2016	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,3
10.8.2016		1,1	0,85	0,92	0,77	1,8	1,1
13.9.2016	1,1	1,1	0,86	0,77	0,95	1,1	1,1
13.10.2016	0,82	1,1	0,75	0,83	0,71	1,1	1,6

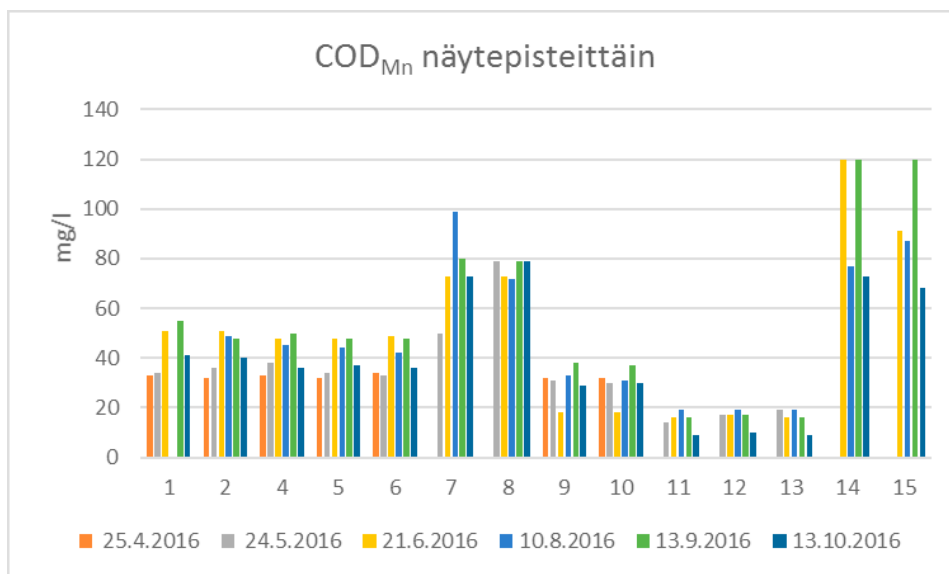
Kokonaistyyppi (mg/l)	METSÄSAIRILA		HIPPALA			KOVALA	
pvm	9	10	11	12	13	14	15
25.4.2016	0,74	0,75					
24.5.2016	0,79	0,79	0,74	1,7	0,62		
21.6.2016	0,91	0,81	0,47	0,5	0,54	2,9	2
10.8.2016	0,89	0,71	0,52	0,58	0,58	1,4	1,5
13.9.2016	0,84	0,81	0,44	0,43	0,45	2,2	2,2
13.10.2016	1,7	1,4	0,77	0,65	0,67	1,6	1,6

Taulukkoon 5 on yhdistetty vuonna 2016 kokonaistyyppien määritystulokset näytesteittäin. Kuvassa 14 on kaaviot kokonaisfosforipitoisuuksista kohteissa Juva 1 ja Metsäsairila.



**KUVA 14. Juva 1:n ja Metsäsairilan kokonaisfosforipitoisuudet.**

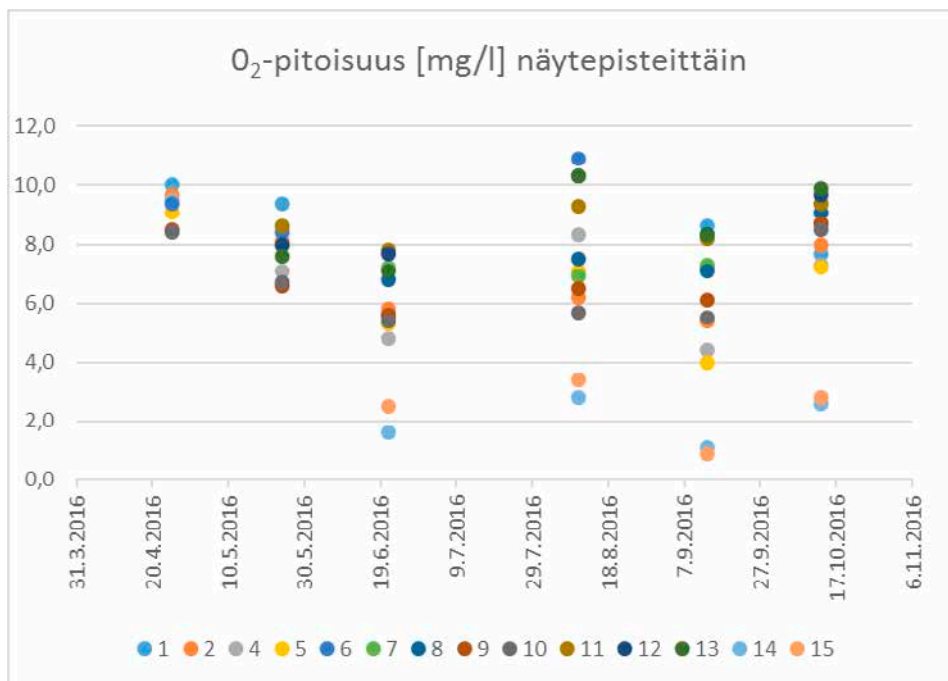
Kemiallisen hapen kulutuksen muutos näytesteittäin esitetään kuvassa 15. Juva 1:n näytesteitä ovat 1–2 sekä 4–6 ja Juva 2:n pisteitä 7 ja 8. Metsäsairilan näytesteet ovat numerot 9 ja 10 ja Hippalan 10–13. Pisteet 14 ja 15 ovat Kovalansuolla. Suurimmat numerot ovat ojan alajuoksulla.



**KUVA 15. Veden kemiallisen hapenkulutuksen tulokset näytesteittain.**

### **Maastosta 2016 otettujen näytteiden tulosten analysointi**

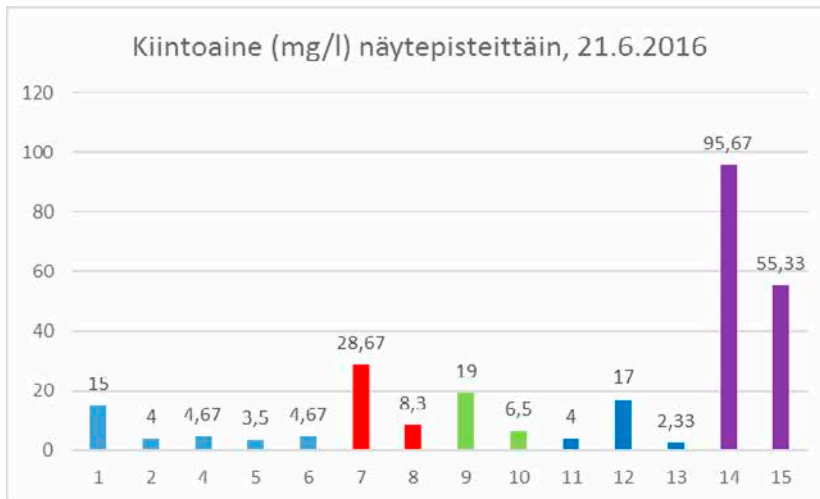
Metsäsairilasta ja Juva 1 -kohteesta otettiin näytteitä kuudesti, Juva 2:sta ja Hippalasta viisi kertaa sekä Kovalansuolta neljä kertaa. Vettä kohteissa riitti kohtalaisesti, vaikka vuosi 2016 oli sadannaltaan vähäinen. Veden lämpötilan maksimi (18,7 °C) mitattiin ennen juhannusta Metsäsairilassa; viileintä vesi oli huhtikuussa Juvan Kurkimäessä (0,15 °C). Näytteiden sähkönjohtavuus vaihteli välillä 24–56 µS/cm, mutta Metsäsairilan biokentän hulevesi oli sähkönjohtavuudeltaan 100–300 µS/cm. Metsäsairilan vesi poikkesi muista myös happamuudeltaan ja oli loppukesästä neutraalia, kun taas muut vedet olivat happamia. Sameus vaihteli välillä 0,8–47,4 NTU.



**KUVA 16. Vesinäytteiden happipitoisuudet näytepisteittäin.**

Kuvassa 16 on esitetty happipitoisuus näytepisteittäin ja näytteenottokerroittain. Kovalansuon näytteet poikkeavat selvästi muista: niissä O<sub>2</sub>-pitoisuuden vaihteluväli on 0,9–3,4 milligrammaa litrassa. Kovalansuolta on turvetuotanto loppumassa, ja vanhimmat kerrokset sisältävät vähiten happea.





**KUVA 17. Kiintoaineen määrä vesinäytteissä näytepisteittäin 21.6.2016.**

Kuvan 17 kaavio kertoo kiintoaineen määristä eri näytteenottopisteissä kesäkuun 21. päivänä 2016. Kaaviosta on pääteltävissä, että suotimet pidättivät kiintoainetta; sama ilmiö on havaittavissa myös muilla näytteenottokerroilla. Luotettavien tulosten saaminen edellyttää tietenkin onnistunutta näytteenottoa.

Kemiallinen hapenkulutus ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ) kuvaa veden sisältämien kemiallisesti hapettuvien orgaanisten aineiden määrää. Tämä tarkoittaa vedessä olevaa eloperäistä ainetta, joka voi olla humusta, jätevettä, karjatalouden päästöjä tai luonnonhuuhtoumaa. Tulosten mukaan suotimet eivät mainittavasti pidätä mutta eivät myöskään lisää orgaanista hapettavaa ainesta. Niillä ei ole selkeästi alentavaa vaikutusta kokonais- ja liukoisen typen ja fosforin määrään, joskaan suotimet eivät toimi ravinteiden lähteenäkään.

Orgaaninen kokonaishiili (TOC) määritettiin suodattamattomista vesinäytteistä, ja arvo sisältää sekä liukoisesta että partikkeleihin sitoutuneesta orgaanisesta hiilestä. Liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) määritettiin 0,45  $\mu\text{m}$ :n suodattimien läpi suodattuneesta vesinäytteestä, ja suodattimeen pidättyneet hiilet ovat partikkelimaista orgaanista hiiltä (POC). DOC ja TOC indikoivat humuspitoisuutta. Tulosten perusteella suotimet pienentävät orgaanisen kokonaishiilen ja liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuutta tutkittavissa suo- ja hulevesissä.

### Suodatinten käyttöikä, kestävyys ja huollontarve

Kaikki kolme biohiilisuodatinta (Kurkimäki, Pakinmaa, Metsäsairila) olivat maastossa reilun vuoden ajan. Suodatinten kestävydessä ei tällä ajanjaksolla ilmennyt ongelmia, vaan rakenteet kestivät aiheutuneen rasituksen hyvin. Esimerkiksi talvella

kaikki ojat, joissa suodattimet sijaittivat, jäätyivät, mutta vaurioita suodattimissa ei ilmennyt. Jonkin verran oli havaittavissa karikkeesta aiheutuneita tukkeutumia, mutta näistä ei aiheutunut ongelmia esimerkiksi näytteenottoon. Suodatinta tukkivaa kariketta pyrittiin poistamaan aina suodattimilla käytäessä. Metsäsairilassa olevaa biohiilisuodatinta käytiin korjaamassa runsaan vesimassan takia pari viikkoa sen valmistumisen jälkeen. Osa hiilistä pääsi karkaamaan suodattimesta ylivuodon takia. Suodatin korjattiin kattamalla se rautaverkolla.

Toukokuussa 2016 Mamkin opetusmetsään asennetut kalkkikivi- ja kantajakappalesuodattimet olivat rakenteeltaan kestäneet koejakson hyvin. Alkusyösyn sateiden aikana lähempänä lasketusallasta sijaitsevan kalkkikivisuodattimen sivulta vesi pääsi eroosion takia muutaman päivän ajan virtaamaan myös suodattimen vierestä. Tämä ohivirtaus saatiin loppumaan tukkimalla suodattimen ja ojanseinämän väliin syntynyt aukko rahkasammalella täytetyllä ”porkkanapussilla”. Kalkkikivisuodattimeen kertyi jonkin verran laskeutusaltaaseen pääsystä kariketta, mutta karike oli helppo poistaa aina käynnin yhteydessä.

Kovalansuon palaturvesuodattimessa ei tarkastelujakson aikana ilmennyt huollon tarvetta eikä rakenteellisia vaurioita. Vesi vaikutti virtaavan koko jakson ajan suunnitellusti suursäkissä olevan palaturpeen lävitse. Kalkkikivi- ja kantajakappalesuodattinten tavoin palaturvesuodattimen talvenkestävyydestä ei ole kokemusta.

## Johtopäätökset

Pilottikokeiden osalta voidaan sanoa, että luonnossa tapahtuvat prosessit ovat hitaita. Biofilmin kehittyminen suodatinmateriaalien pinnalle kestää oman aikansa. Lisäksi veden laatu hankkeen kohteissa on ollut hyvä, eli veden ravinnepitoisuudet ovat olleet hyvin pieniä.

Kemiallinen hapenkulutus ( $COD_{Mn}$ ) kuvaa veden sisältämien kemiallisesti hapettuvien orgaanisten aineiden määrää. Tämä tarkoittaa vedessä olevaa eloperäistä ainetta, joka voi olla humusta, jätevettä, karjatalouden päästöjä tai luonnonhuuhtoumaa. Tulosten mukaan suodattimet eivät mainittavasti pidätä mutta eivät myöskään lisää orgaanista hapettavaa ainesta. Niillä ei ole selkeästi alentavaa vaikutusta kokonais- ja liukoisien typen ja fosforin määrään, joskaan suotimet eivät toimi ravinteiden lähteenäkään. Toisaalta suotimet pienentävät humuspitoisuutta indikoivien orgaanisen kokonaishiilen (TOC) ja liunneen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuutta tutkittavissa suo- ja hulevesissä.



# SUODATINRATKAISUT TULEVAISUUDEN VESIENSUOJELUSSA

*Samuli Joensuu & Kalle Karosto*

## Johdanto

Metsätalouden vesiensuojelun tehostaminen biosuodattimilla- eli VETU-hankkeen tavoitteena oli kehittää suodattimia, jotka vähentävät vesistöihin kulkeutuvaa ravinne- ja kiintoainekuormitusta. Perinteisillä metsätalouden vesiensuojelumenetelmillä, kuten laskeutusaltailla, on vaikea täysin estää kiintoaineiden ja ravinteiden kulkeutumista alapuolisiin vesistöihin. Suodatinkokeilla etsittiin ratkaisua, joka täydentäisi ja tehostaisi jo olemassa olevia menetelmiä.

Hankkeen aikana perustettiin viisi erillistä maastokoetta, joissa testattiin rakenteeltaan kolmea erilaista suodatinratkaisua. Erilaisten rakenteiden lisäksi suodattimissa testattiin suodattavina materiaaleina viittä eri täyteainetta (lehtipuuhake, biohiili, kalkkikivi, palaturve ja muoviset kantajakappaleet). Maastokoekohteista kolme sijaitsi metsätalouden kunnostusojituskohteilla, yksi metsäbiomassan varastointialueella ja yksi turvetuotantoalueella. Maastokohteista otettiin vesinäytteet 2–4 viikon välein laboratorioanalyysia varten.

Varsinkin metsätalouden kunnostusojituskohteilla huomattiin, että suodatinratkaisut pidättivät melko vähän ravinteita. Eri suodatinmateriaalit pidättivät niitä jonkin verran, mutta määrät olivat hyvin vähäisiä. Havaitut muutokset olivatkin niin pieniä, että niiden oletetaan mahtuvan virhemarginaaliin. Yleensä ottaen ravinteita (typpi, fosfori) on metsätalouden vesissä sen verran vähäisesti, että niiden kiinnisaaminen mekaanisin menetelmin on hankalaa.

Erilaisten biosuodatinratkaisuiden hyöty voisi olla enemmän siinä, että niillä voidaan tehostaa kiintoaineen kiinniottamista.. Lisäksi laboratoriotesteissä huomattiin,

että jotkin suodattimet pienensivät humuspitoisuutta indikoivien orgaanisen kokonaishiilen (TOC) ja liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuutta tutkituissa näytevesissä. Humuspitoisuuden lisääntymistä vesistöissä voidaan ainakin metsätalouden vesiensuojelun näkökulmasta pitää ravinnepäästöjä suurempana ongelmana.



**KUVA 1. Hiilisuodatinkehikko (kuva Kalle Karosto).**



**KUVA 2. Kalkkisuodatin, malli katiska (kuva Kalle Karosto).**

## Vesiensuojelun kustannukset metsätaloudessa

Alla olevassa taulukossa (taulukko 1) on suuntaa-antavia arvioita eri vesiensuojelumenetelmien kustannuksista. Kosteikkoja lukuun ottamatta vesiensuojelutoimenpiteet eivät juurikaan nosta kunnostusojitushankkeen kustannuksia, kun ne tehdään oijen perkauksen yhteydessä.

**TAULUKKO 1. Vesiensuojelumenetelmien arvioidut kustannukset.**

Menetelmä	Hinta, euroa/kpl
Laskeutusallas	300
Putkipato	500–700
Pintavalutus*	100–200
Lietekuopat**	0
Kosteikko***	5 000–100 000

\*Halpa toteuttaa, mutta harvoin mahdollinen. \*\* Oijen perkauksen yhteydessä tehtäessä ei aiheuta lisäkustannuksia.\*\*\*Vaatii suuren ojitushankkeen, jotta kannattaa toteuttaa.

VETU-hankkeen tarkoituksena oli kehittää biosuodattimia nykyisten vesiensuojelumenetelmien tehostamiseksi. Lähtökohtana suodattimille oli, että vesiensuojeluun tulevat lisäkustannukset pysyisivät kohtuullisina. Lisäksi tarkoituksena oli, että suodattimet olisi helppo asentaa muiden vesiensuojelutoimenpiteiden yhteydessä ja että niiden huoltamisen pystyisi tekemään metsänomistaja. Taulukossa 2 on arvioita eri suodattimien kustannuksista (rakennemateriaalit, suodattava materiaali ja työ).

**TAULUKKO 2. Suodatinten kustannukset.**

	Rakenteet	Materiaalit	Työ	Yht. euroa
Rysä*	170	50	200	420
Katiska**	150	150	100	400
Katiska 2***	150	450	100	700
Kehikko****	100	200	200	500

\*Rakenteina rumpuputkea ja suursäkki, suodattava materiaali palaturve. \*\*Rakenteena Weke-katiska (modifioitu), suodattava materiaali kalkkikivi. \*\*\*Rakenteena Weke-katiska, suodattava materiaali kantajakappaleet. \*\*\*\*Rakenteina puutavara, rautaverkko ja suodatinkangas, suodattava materiaali biohiili.

## Suodatinkokeiden vienti käytäntöön

Parhaaksi suodattimeksi tässä testissä osoittautui biohiili, jonka avulla pystyttiin ainakin jossakin määrin pidättämään valumaveden mukana kulkeutuvia aineita. Metsätalouden vedet ovat toisaalta ”liian puhtaita”, jotta tämän kaltaisilla suodatinmateriaaleilla olisi käytännössä taloudellista merkitystä valumavesien puhdistamisessa. Testauksessa tuli esille viitteitä siitä, että toisenlaisissa olosuhteissa, esimerkiksi peltoviljelyn yhteydessä, näilläkin suodattimilla olisi merkittävästi suurempi kustannus-hyötysuhde kuin metsätalouskäytössä. Tässä mielessä erityisesti biohiili voisi olla käyttökelpoinen suodatinrakenne.

Hippalan koealueella testattu karkea kalkkikivilouhe ei sen sijaan toiminut toivotulla tavalla. Kalkkikivisuodatin ei käytännössä pystynyt pidättämään mitään testatuista aineista. Ennako-odotusten vastaisesti pH-arvoissakaan ei tapahtunut mainittavia muutoksia. Kiintoaineen osalta selitystä voidaan hakea siitä, että kyseisellä alueella pitoisuus oli jo lähtötilanteessa erittäin pieni, jolloin suodatinrakenteiden aiheuttamat vähäiset muutokset suuntaan tai toiseen jäivät virhemarginaaliin. Ojiin laitetuista kalkkikivipadoista on vastaavia kokemuksia UPM-Kymmenen mailla Oulunsalossa tehdyillä kokeilla sekä Tapion ja Metlan yhteistyönä tehdyissä seurannoissa Kiteellä (2014). Testauksen perusteella kalkkikivipatoja ei ole tarkoituksenmukaista rakentaa kunnostusojitusalueiden suodatinratkaisuiksi.

Myöskään kantajakappalesuodattimet eivät pidättäneet oletetulla tavalla kiintoainetta tai ravinteita. Tämä suodatinrakenne vaikuttaa testatuista rakenteista hintansa vuoksi kaikkein epätaloudellisimmalta, koska rakenteen pidätysteho oli kautta linjan heikko. Tätä rakennetta ei kalleutensa vuoksi kannata suositella käytännön vesiensuojelurakenteeksi kunnostusojitusalueille.

Sen sijaan käyttökelpoiseksi suodatinrakenteen rungoksi osoittautui Hippalan koealueella käytetty ”katiska”-malli, jota on saatavissa valmiina tuotteena valmistajalta. Sitä voitaisiin käyttää, jos jokin suodatinmateriaali osoittautuisi hyvin toimivaksi kunnostusojitusalueilla.

Hankkeessa yhtenä testattavana suodattimena ollut lehtipuuhake osoittautui liian patoavaksi rakenteeksi. Tästä syystä se jouduttiin poistamaan maanomistajan toivomuksesta jo muutaman kuukauden jälkeen. Rakennetta on tästä syystä vaikea suositella käytäntöön.

Palaturvesuodatin osoittautui mielenkiintoiseksi ja yksinkertaisuudessaan toimivaksi ratkaisuksi. Esimerkiksi kiintoaineen pidäytyminen palaturvesuodattimeen oli yllättävän hyvä, ja sen testausta muun muassa raskasmetallien pidättäjänä tulisikin jatkaa. Tästä on laboratoriotestausnäyttöä esimerkiksi VAPO Oy:llä. Tässä hankkeessa vastaan tulivat aikataulurajoitteet, mistä syystä tätä suodatinta ei ehditty tutkia perusteellisemmin raskasmetallien osalta.

Edellä mainittuja suodatinrakenteita ei välttämättä voida suositella käytettäväksi metsätalousalueilla niiden epätaloudellisuuden vuoksi. Sen sijaan esimerkiksi biohiili ja palaturve voisivat olla käyttökelpoisia ratkaisuja maataloudessa, turvetuotannossa ja esimerkiksi kaupunkien hulevesien puhdistuksessa. Näissä vesien alkuainepitoisuudet ovat huomattavasti suuremmat kuin metsätaloudessa, jolloin voi olettaa, että myös suodatinmateriaalien reduktioprosentti on selkeästi suurempi.

Suodatinten viemistä käytäntöön on edistetty myös esittelemällä hanketta metsäammatillisille eri tilaisuuksissa. Vuonna 2015 hanketta tuotiin esiin valtakunnallisilla metsätalouden vesiensuojelupäivillä Kolilla 22.–23.9.2015, missä esittelijänä toimi Samuli Joensuu Tapio Oy:stä. Hankkeesta julkaistiin myös lehtiartikkelit Savon Sanomissa ja Warkauden Lehdessä (17.10.2015) sekä Karjalaisessa (29.9.2015).

Vuonna 2016 hanke oli esillä Metsänhoitoyhdistysten vesiensuojelupäivillä Saarijärvellä ja hankkeen koulutuspäivänä 18.11. Mikkelissä. Lisäksi hankkeesta kirjoitettiin artikkeli Metsänhoitoyhdistys Etelä-Savon Metsänomistajat-lehteen maaliskuussa 2016. Toukokuussa 2016 järjestettiin vierailu Pyhäjärvi-instituuttiin, missä hankkeen esittelyn ohella tutustuttiin Pyhäjärvi-instituutin aiemmin kehittämiin vesiensuojelun biosuodatinratkaisuihin.

Hanketta esiteltiin myös 31.8.–1.9.2016 Jämsässä pidetyssä Bioenergy from Forest-konferenssissa. Konferenssijulkaisussa hankkeesta oli esillä kolme artikkelia (*Boosting the protection of waters by using biofilters in forestry – part of the low-carbon economy*, *Boosting the water protection efficiency by means of biofilters in forestry* ja *Aptitude of biofiltering materials in handling leachate from forest drainage areas*).





