# Pro Terra

No. 71 / 2017

# MAAPERÄ KIERTOTALOUDEN PERUSTANA

## IX Maaperätieteiden päivien abstraktit

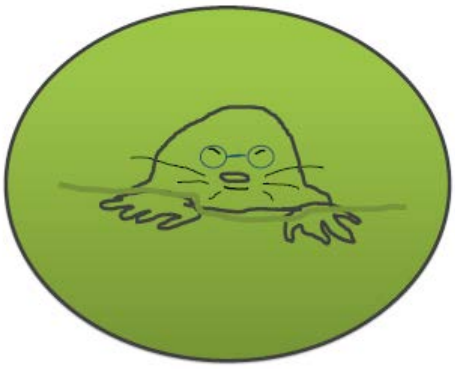
Jaana Leppälammi-Kujansuu
Taina Pennanen
Katri Rankinen
Tapio Salo
Helena Soinne
Pekka Hänninen
(toim.)

SUOMEN MAAPERÄTIETEIDEN SEURA

HELSINGIN YLIOPISTO
ELINTARVIKE- JA YMPÄRISTÖTIETEIDEN LAITOS

# Pro Terra

No. 71 / 2017



## IX Maaperätieteiden päivien abstraktit

Toimittajat
Jaana Leppälammi-Kujansuu, Taina Pennanen, Katri Rankinen, Tapio Salo, Helena Soinne ja Pekka Hänninen

SUOMEN MAAPERÄTIETEIDEN SEURA
HELSINGIN YLIOPISTO
ELINTARVIKE- JA YMPÄRISTÖTIETEIDEN LAITOS

Helsinki, 2017

# SISÄLLYSLUETTELO

## Esitelmät


sivu

**Tampere muutoksen tuulissa**
Katariina Rauhala 8

**Yhdyskuntalietteiden sisältämien haitallisten orgaanisten yhdisteiden esiintyminen ja käyttäytyminen ympäristössä**
Lauri Äystö 9


### *Sessio I: Maaperä kiertotalouden perustana*


**Pilaantuneiden maiden in situ kunnostus: INSURE Central Baltic 2015-2019**
Kim Yrjälä 11

**Endofyyttiset mikrobit öljyllä saastunen maan ritsoremediaatiossa**
Paola Diaz ja Kim Yrjälä 13

**Auraus aiheuttaa pysyvän ravinnehuuhtouman Keski-Lapin hienoainesmoreeneihin**
Raimo Sutinen ja Pekka Hänninen 15

**Puunkorjuun vaikutus metsämaan fysikaalisiin ominaisuuksiin Etelä-Suomessa**
Jenny Toivio, Heljä-Sisko Helmisaari, Marjo Palviainen, Harri Lindeman, Jari Ala-Ilomäki, Matti Sirén ja Jori Uusitalo 16

**Kuusen taimien juuriston rakenne ja yhteys verson kasvunopeuteen**
Sannakajsa Velmala, Leena Hamberg, Risto Sievänen, Tuomo Kalliokoski, Taina Pennanen 17

**Puiden maan alle syöttämien hiiliyhdisteiden vaikutus maaperäprosesseihin**
Jussi Heinonsalo, Liisa Kulmala, Bartosz Adamczyk, Laura Arppe, Jaana Bäck, Sebastien Fontaine, Iikka Haikarainen, Jari Haimi, Elisa Halmeenmäki, Heidi Hellen, Heljä-Sisko Helmisaari, Antti-Jussi Kieloaho, Aino Korrensalo, Jaana Leppälammi-Kujansuu, Janne Levula, Matti Loponen, Mari Mäki, Markku Oinonen, Vesa Palonen, Mari Pihlatie, Niilo Salo, Minna Santalahti, Outi-Maaria Sietiö, Eloni Sonninen, Kari Steffen, Hui Sun, Eeva-Stiina Tuittila ja Jukka Pumpanen 18

**Metsämaan orgaanisen aineen hajoaminen - tanniinien merkitys**
Bartosz Adamczyk, Aino Smolander, Veikko Kitunen, Judy Simon, Jussi Heinonsalo 20

**Kanervakasvien vaikutus metsämaan mikrobiyhteisöjen rakenteeseen ja toimintaan**
Outi-Maaria Sietiö, Bartosz Adamczyk, Sari Timonen, Hanna Sinkko, Tero Tuomivirta, Heikki Kiheri, Minna Santalahti, Hui Sun, Hannu Fritze, Jussi Heinonsalo 22

**Labiilin hiilen lisäyksen orgaanisen aineksen hajotusta kiihdyttävä vaikutus boreaalisissa maissa**
Kristiina Karhu, Christina Biasi, Hannu Nykänen, Emmi Hilasvuori, Hannu Fritze, Pekka Vanhala, Jari Liski, Jussi Heinonsalo, Jukka Pumpanen, Mikko Kukkola, Anna Saarsalmi, Hannu Ilvesniemi ja Per Ambus 24

**Porolaidunnuksen vaikutus maaperän sieniyhteisön rakenteeseen ja entsyymiaktiivisuuksiin**
Minna Santalahti, Hui Sun, Outi-Maaria Sietiö, Kajar Köster and Jussi Heinonsalo 25

**Väheneekö viljelymaiden hiilipitoisuus vai kasvaako se?**
Markku Yli-Halla, Jaakko Heikkinen ja Venla Jokela 27

## *Sessio II: Kierrätysmateriaalit – mahdollisuudet ja uhat*

**Nestemäisen kierrätysammoniumsulfaatin maatalouskäyttö**
Petri Kapuinen 29

**Biohiilen vaikutus metsämaahan: hankkeen esittely ja alustavia tuloksia**
Marjo Palviainen, Frank Berninger, Kajar Köster, Viktor Bruckman ja Jukka Pumpanen 31

**Huokoisia keraameja matalaenergisillä prosessointimenetelmillä kaivosten rikastushiekoista**
Soili Solismaa, Marja-Liisa Räisänen, Mirja Illikainen, Päivö Kinnunen, Marjaana Karhu, Päivi Kivikytö-Reponen, Juha Lagerbom, Arnold Ismailov, Erkki Levänen 33

**Ruovikoiden ravinteet kiertoon: kokemuksia Ruokopelto-hankkeesta**
Maria Yli-Renko ja Eija Hagelberg 35

**Kosteikkosedimentin lisäys maahan edistää fosforin sorptiota**
Johanna Laakso, Risto Uusitalo, Markku Yli-Halla and Janette Leppänen 37

**SAVE – Savijoen peltojen kipsikäsittely**
Petri Ekholm, Markku Ollikainen, Eliisa Punttila ja Samuli Puroila 38

**Glyfosaatti lounaissuomalaisilla suorakylvö- ja kyntömailla**
Jaana Uusi-Kämppä 39

## Salamapuheet

**Rihman kiertämät - kasvien ja sienten erottamaton elämä**
Mauritz Vestberg 41

**Mistä syntyvät kuntasi kasvihuonekaasupäästöt – tarkista ESLab kuntien kasvihuonekaasulaskurilla**
Pekka Vanhala, Maria Holmberg ja Saku Anttila 42

**Hevosenlannan varastoinnin päästöt ilmakehään**
Marja Maljanen, Zafar Gondal ja Hem Raj Bhattarai 44

**Eri hakkuumenetelmien vaikutukset kuusikoiden ja männiköiden emäskationibudjetteihin – simulointiin perustuva kestävyystarkastelu**
Päivi Merilä, Mike Starr, Brandon Stephens, Antti-Jussi Lindroos, Tiina Maileena Nieminen, Pekka Nöjd, Kirsti Derome ja Liisa Ukonmaanaho 46

**INCA-Pathogens mallin sovellus suomalaiselle valuma-alueelle**
Katri Rankinen, Paul Whitehead, Daniel Butterfield, Hannah Leckie, Jaana Uusi-Kämppä ja Tarja Pitkänen 48

**Turvetuhkaa terästettynä metsäojitetuille soille**
Lasse Aro, Jyrki Hytönen, Jorma Issakainen ja Mikko Moilanen 49

**Vanadiinispesiesten kemiallinen biosaatavuus maaperässä**
Inka Reijonen 51

**Orgaanisen hiilen kulkeutuminen pelloilta vesistöihin eroosioaineksen mukana**
Noora Manninen, Sanna Kanerva, Helena Soinne, Eila Turtola ja Riitta Lemola 53

**Juurten ja helposti saatavan hiilen vaikutus maaperän orgaanisen aineen fraktioiden hajoamiseen boreaalisessa metsämaassa**
Jukka Pumpanen, Aki Lindén, Viktor Bruckman, Frank Berninger, Hannu Ilvesniemi, Markku Oinonen, Eloni Sonninen, Mai Kukumägi ja Jussi Heinonsalo 55

**Typpilaskeuman vaikutus soiden hiilen sidontaan ja ravinnekiertoon: varpusieni vuorovaikutuksen merkitys**
Tuula Larmola, Heikki Kiheri, Hannu Fritze, Raija Laiho, Taina Pennanen, Erik Hobbie, Jill Bubier, Netty van Dijk, Nancy Dise, Tim R. Moore, Mats Nilsson ja Julie Talbot 57

**Maaperän ja lahopuun sieniyhteisöt luonnontilaisessa kuusimetsässä**
Raisa Mäkipää, Taina Pennanen, Tiina Rajala†, Dmitry Schigel, Katja Rinne, Otso Ovaskainen 58

**Kuinka mitata viljelymaan biologista kasvukuntoa?**
Ansa Palojärvi 59

**Metsäojitetun suon vedenpinnan noston vaikutus maan ja puiden metaanikierron mikrobiologisiin muuttujiin**
Anuliina Putkinen, Iikka Haikarainen, Elisa Halmeenmäki, Petteri Pyykkö, Annalea Lohila, Mika Korkiakoski, Jussi Heinonsalo, Hannu Fritze ja Mari Pihlatie 60

**Miten kuusen, männyn ja koivun hakkuutähde vaikuttaa metsämaan typen kiertoon ja häviöihin avohakkuun jälkeen?**
Tiina Törmänen, Veikko Kitunen, Antti-Jussi Lindroos ja Aino Smolander 62

**Arktisen hiekkadyynialueen mikrobiyhteisön muutos primääri- sukkessiossa**
Heli Juottonen, Minna Männistö ja Minna-Maarit Kytöviita 63

**Veden säästäminen on meille Faintendissä ykkösasia**
Kenneth Jönsson 65

## Posterit

sivu


1. **Torjunta-aineiden tutkiminen vesistöistä perinteisen vesinäytteenoton ja Chemcatcher-passiivikeräimien avulla**
   Heidi Ahkola, Katri Siimes ja Anri Aallonen 67

2. **Biohiili maan mururakenteen ja huokoisuuden parantajana**
   Jaakko Heikkinen, Johanna Nikama, Jari Hyväluoma, Helena Soinne ja Kimmo Rasa 68

3. **Esimerkkejä edullisen kauko-ohjattavan kopterin käytöstä maaperätutkimuksissa**
   Ari Ikonen ja Ville Kangasniemi 69

4. **PASKÍER-prosessi puhdistamolietteen kuivauksessa**
   Petri Kapuinen 71

5. **Oranki – Hanke orgaanisen aineksen merkityksestä maaperän tuottokyvylle**
   Riikka Keskinen, Anu Akujärvi, Juha Grönroos, Kari Hyytiäinen, Sanna Kanerva, Pirkko Kortelainen, Visa Nuutinen, Katri Rankinen, Mari Räty, Tapio Salo, Asko Simojoki, Helena Soinne, Eila Turtola 73

6. **Kerä- ja pintasienijuuren muodostus maan pakkaskäsittelyjen jälkeen**
   Jouni Kilpeläinen, Mauritz Vestberg, Tapani Repo ja Tarja Lehto 74

7. **Nano-erbiumin ja nano-dysprosiumin vaikutus Cerrena unicolor -valkolahosienen hapettavien entsyymien tuottoon ja haitallisten yhdisteiden biohajotukseen**
   Anu Kinnunen, Annele Hatakka ja Mika A. Kähkönen 75

8. **Referenssijärvien sedimentit, geokemia, ja in situ jakaantumiskertoimet, Kd arvot, Lounais-Suomessa**
   Anne-Maj Lahdenperä 77

9. **Optimointi kiertotalouden työkaluna - esimerkkinä metsäbiomassan kuivatus ja kuljetus**
   Ari Laurén ja Lauri Sikanen 79

10. **Raetuhkalannoituksen vaikutus maahengitykseen ja puuston kasvuun kahdessa boreaalisessa suometsässä**
    Maarit Liimatainen, Marja Maljanen, Jyrki Hytönen 80

11. **Laskeuman ja maaveden strontiumin pitoisuuksiin vaikuttavat luontaiset tekijät Olkiluodon saarella vuosina 2013 – 2015**
    Antti-Jussi Lindroos ja Lasse Aro 82

12. **Tulva- ja routakäsittelyn vaikutus männyn juurten ja verson fenologiaan**
    Tapani Repo, Timo Domisch, Sirkka Sutinen, Aifang Wang, Tarja Lehto, Marja Roitto ja Leena Finér 84

**13. Pohjoisen puhdas maaperä kriittisten mineraalien lähteenä**
Pertti Sarala 85

**14. Peltosalaojien asennusmenetelmien toiminta**
Markus Sikkilä, Helena Äijö, Maija Paasonen-Kivekäs, Merja Myllys, Jyrki Nurminen, Mika Turunen, Heidi Salo, Harri Koivusalo, Laura Alakukku, Markku Puustinen 87

**15. Turvekerroksen paksuuden vaikutus mustaliuskepohjaisen viljellyn suopohjan N2O- ja CO2-päästöihin**
Asko Simojoki, Minna Mäkelä ja Markku Yli-Halla 89

**16. Aijalan vanha kaivosalue esimerkkinä uusioraaka-aineiden tiedon keruusta**
Timo Tarvainen, Tuire Valjus ja Mira Markovaara-Koivisto 91

**17. Nollakuitu hevosten jaloittelutarhojen N- ja P-kuormituksen vähentäjänä**
Anna-Maria Tuovinen, Sanna Kanerva, Laura Alakukku ja Janna Pietikäinen 93

**18. Happaman sulfaattimaapellon vesitalouden hallinta ja hapan kuormitus**
Seija Virtanen, Jaana Uusi-Kämppä, Anna Bonde, Rainer Rosendahl, Peter Österholm ja Markku Yli-Halla 95

**19. Metallien liukoisuus happamassa sulfaattimaassa**
Markku Yli-Halla ja Mirva Kauppinen 97

**20. Effects of biochar on earthworms in two long-term field experiments in Finland**
Jure Zrim, Visa Nuutinen, Asko Simojoki, Priit Tammeorg 99

**21. Täydennysojituksen vaikutus valuntaan ja ravinnehuuhtoumiin savimaassa**
Helena Äijö, Maija Paasonen-Kivekäs, Merja Myllys, Jyrki Nurminen, Mika Turunen, Heidi Salo, Olle Häggblom, Harri Koivusalo, Markus Sikkilä, Laura Alakukku ja Markku Puustinen 101

# Tampere muutoksen tuulissa

Katariina Rauhala

Tampereella kuljetaan voimakkaasti kasvun tiellä, jota ilmentää huomattava rakennusbuumi. Samalla tiedostamme maapallomme rajalliset resurssit, haluamme olla rakentamassa Tampereesta kestävää kaupunkia tuleville sukupolville. Tampere on päättänyt rakentaa ratikan, joka nostaa kaupungin joukkoliikenteen kestävämmälle tasolle ja mahdollistaa tiiviimmän kaupunkirakenteen toteuttamisen.

Kaupungin kehittyminen vaatii laajoja rakennushankkeita, joissa kaivetaan ja toisaalta täytetään kaivantoja rakentamiseen soveltuvilla maamassoilla. Perinteisesti kaivettavat maamassat on kuljetettu kaupungin laitamille läjitysalueille ja rakentamiseen on käytetty neitseellisiä materiaaleja. Tämä tarkoittaa maaperämme kuluttamista aina vain uusilta alueilta ja toisaalta maapohjan varaamista läjityskasoille. Lisäksi tämä tarkoittaa kaupungin sisällä mittavaa rekkarallia, joka aiheuttaa pienhiukkaspäästöjä, puhumattakaan turvallisuus- ja viihtyvyyshaitoista.

Tämän toimintamallin haluamme muuttaa. Haluamme avoimesti tarkastella kaivamisessa syntyvien maamassojen hyödynnettävyyttä. Tietysti haluamme tehdä tämän vastuullisesti ja ennen kaikkea järkevästi. Pyrimme kehittämään tähän liittyviä toimintatapoja. Tunnistamme, että mikäli haluamme muuttaa massojen hyötykäyttöä laajamittaisesti, on suunnittelun lähdettävä jo kaavoitusvaiheessa. Kaavoitusvaiheessa on tarkasteltava suunnittelualueen massatasapainoa ja muodostettava jo ensimmäinen käsitys syntyvien kaivumassojen laadusta ja hyödynnettävyydestä. Kaivumaat eivät useinkaan sovellu suoraan hyödynnettäväksi, vaan niitä voidaan joutua käsittelemään esim. stabiloimalla ennen niiden soveltumista tarvittaviin täyttökohteisiin. Muutos vaatii myös sopeutumista suunnittelijoilta, joiden on avattava tuttujen materiaalien kirjoa suunnitelmissaan. Toimintakulttuurin muutos vaatii myös viranomaisilta ennakkoluulotonta asennoitumista uusille hyötykäyttöavauksille. Hyötykäyttöä ei tulisi jäykistää kohtuuttoman laajoilla vaatimuksilla. Näkisimme, että joustava ja tarkoituksenmukainen massojen hyötykäyttö, edellyttää ennen kaikkea avointa, rakentavaa ja eteenpäin katsovaa yhteistyötä kaikkien sidosryhmien kesken.

**Hiedanranta suuntaa näyttämässä**

Tampereen kaupungilla on uskomattoman hieno tilaisuus kokeilla massojen kiertotalousajattelua käytännössä, uuden rakennettavan Hiedanrannan kaupunginosan toteuttamisen yhteydessä. Hiedanrantaan rakentuu 25 000 asukkaan ja 10 000 työpaikan uusi moderni kaupunginosa, joka sijaitsee vain 4 km päässä kaupungin keskustasta Näsijärven rannalla. Hiedanrannan suunnittelussa on ideoitu rakennettavan uutta maapohjaa järven päälle, joiden rakentamisessa voidaan hyödyntää kaupungin alueella ja erityisesti Hiedanrannan suunnittelualueella syntyviä maa- ja kiviaineksia. Hiedanranta nousee entisen sellutehtaan alueelle. Vanha toiminta on jättänyt mielenkiintoisen tehdasmiljöön, mutta myös vaikutuksensa maaperän puhtauteen. Lisäksi toiminnassa on syntynyt ns. nollakuitua, jota on läjitetty alueelle ja Näsijärven pohjaan. Myös näiden pilaantuneiden maiden ja 0-kuidun haluamme hyödyntää rakentamisessa.

Hiedanrannan suunnittelun ja rakentamisen yhteydessä voimme kokeilla toimintatapoja ja niiden yhteensovittamista eri toimijoiden kesken. Pyrimme lähtemään ajatuksesta, että kaikki materiaalit ovat hyödynnettävissä turvallisesti. Haluamme avata keskustelua aiheesta eri sidosryhmien suuntaan ja haastaa totuttujen toimintatapojen nostamista uudelle tasolle. Olemme rakentamassa kestävää kaupunkia tuleville asukkaille, muutos on tehtävä nyt ja se on tehtävä meidän kaikessa toiminnassa.

# Yhdyskuntalietteiden sisältämien haitallisten orgaanisten yhdisteiden esiintyminen ja käyttäytyminen ympäristössä

*Occurrence and behavior of harmful organic contaminants in sludge amended soil*

Lauri Äystö[1] ja Päivi Fjäder[1]

[1] Suomen ympäristökeskus Mechelininkatu 34 a PL 140, 00251 Helsinki, etunimi.sukunimi@ymparisto.fi

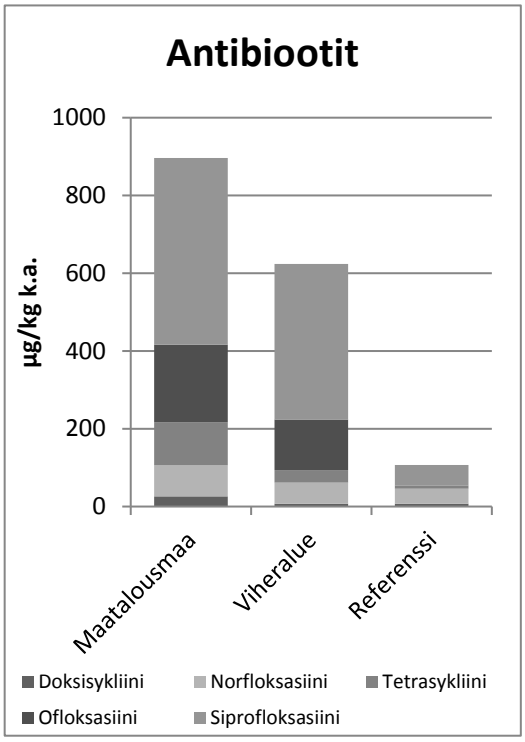
Yhdyskuntajäteveden puhdistusprosesseissa syntyy lietettä Suomessa n. 150 000 kuivatonnia vuosittain. Tähän materiaaliin pidättyy runsaasti orgaanista ainesta ja ravinteita. Vuotuinen lietemäärä vastaakin noin 3 500 fosforitonnia. Lietteen sisältämiä ravinteita hyödyntämällä voitaisiin korvata kalliiden keinolannoitteiden käyttöä, säästää rajallisia fosforivarantoja sekä sulkea maatalouden ravinnekiertoja. Nykyisellään maatalouteen ohjataan n. kolme prosenttia syntyvästä lietemassasta [1], mutta tämän osuuden kasvattamiseen on painetta.

Ravinteiden ja orgaanisen aineksen lisäksi lietteeseen pidättyy laaja kirjo esimerkiksi kotitalouksista, teollisuudesta ja kaatopaikoilta viemäriverkostoon päätyviä haitallisia aineita. Nykyään vallitsevia jätevedenpuhdistusprosesseja ei ole suunniteltu hajottamaan jätevesien sisältämiä orgaanisia haitta-aineita vaan lähinnä erottamaan ravinteita ja kiintoainesta vesijakeesta. Useat orgaaniset haitta-aineet sitoutuvat aktiivilieteprosessissa muodostuvaan lietteeseen. Lietettä ja siitä valmistettuja lopputuotteita hyödynnettäessä nämä haitalliset aineet voivat jatkaa kiertoaan ympäristössä ja aiheuttaa haittaa eliöstölle.

Lietteeseen pidättyy pääasiassa hydrofobisia (vettä hylkiviä) ja kiintoaineeseen herkästi pidättyviä orgaanisia yhdisteitä. Näiden lisäksi yhdyskuntalietteistä havaitaan yleisesti myös muun muassa vesiliukoisia yhdisteitä, joiden päästöt ovat suuret, kuten tulehduskipulääke ibuprofeenia. Lietteisiin sitoutuviin yhdisteisiin lukeutuu muun muassa palonestoaineita, ftalaatteja, POP-yhdisteitä (persistent organic pollutant) ja lääkeaineita. Lietteistä on havaittu globaalisti esimerkiksi noin 190 eri lääkeainetta [2].

Monien haitallisten orgaanisten yhdisteiden on havaittu olevan erittäin pysyviä lietteen käsittelyketjussa ja esimerkiksi tiettyjen PFAS-yhdisteiden pitoisuuksien on havaittu jopa kasvavan käsittelyn edetessä [3]. Maaperään päätyessään nämä yhdisteet ovat usein hyvin pitkäikäisiä. Lietteessä esiintyvät pysyvät ja kiintoaineeseen pidättyvät yhdisteet, kuten jotkut pitkäketjuiset PFAS- ja PBDE-yhdisteet, voivat kertyä maaperään jos lietettä levitetään toistuvasti samalle alueelle [4].

Tutkittaessa haitta-ainepitoisuuksia suomalaisista maanäytteistä alueilta, joille on levitetty lietevalmisteita, on havaittu muun muassa korkeita antibioottipitoisuuksia (kuva 1). Havaitut pitoisuustasot saattavat aiheuttaa resistenssigeenien yleistymistä [3, 5].




**Kuva 1.** Antibioottipitoisuudet alueilla, joille on levitetty lietevalmisteita sekä lietekompostissa.

Osa maaperään levitetyistä haitta-aineista voi huuhtoutua edelleen maaprofiilissa ja voi näin päätyä pinta- tai pohjavesiin. Mallinnusten mukaan

triklosaanin hetkellinen pitoisuus pellolta poistuvissa vesissä voi olla suhteellisen korkea jo yksittäisten lietelevitysten jälkeen [4]. Triklosaani on esimerkiksi kosmetiikassa ja biosidinä käytetty yhdiste, jota on havaittu suomalaisista maanäytteistä yli 100 µg/kg [3]. Havaittu pitoisuus ylittää haitattomaksi oletetun pitoisuustason moninkertaisesti, ja yhdisteen on mallinnettu voivan kertyä maaperään lietelevitysten toistuessa [4].

Ympäristöön päätyessään lietteen sisältämät haitalliset yhdisteet voivat vaikuttaa maaperä- tai vesieliöstöön ja ääritapauksissa kertyä viljeltäviin kasveihin. Kertyvyyskokeiden mukaan erityisen tehokkaasti maaperästä lieroihin kertyy PFOS. PFAS-yhdisteiden kertymisen lieroihin on myös havaittu olevan suurempaa todellisessa peltoympäristössä kuin laboratoriokokeissa [3], minkä takia laboratoriossa tehdyt altistuskokeet voivat antaa aliarvion todellisista riskeistä.

**Kirjallisuus**

[1] VVY 2016. Tilasto lietteen hyödyntämisestä vuosina 2008–2011. Viitattu 13.10.2016

[2] Umwelt Bundesamt 2016. Database - Pharmaceuticals in the environment. http://www.pharmaceuticals-in-the-environment.org/. Viitattu 2.11.2016

[3] Fjäder 2016. Yhdyskuntajätevesilietteiden viher- ja maatalouskäytön riskit (Risks of using sewage sludge on agriculture or on landscaping purposes) RUSSOA I-III Loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen julkaisuja X/2016 (taitossa).

[4] Äystö 2014. Puhdistamolietteen sisältämien orgaanisten haitta-aineiden käyttäytyminen suomalaisilla maatalousmailla. Ympäristönsuojelutiede Pro gradu-tutkielma Ympäristötieteiden laitos, Helsingin yliopisto.

[5] Bengtsson-Palme J., Larsson D.G.J. 2016. Concentrations of antibiotics predicted to select for resistant bacteria: Proposed limits for environmental regulation. Environment International 86: 140 – 149.

# Pilaantuneiden maiden *in situ* kunnostus: INSURE Central Baltic 2015-2019

*In situ remediation of contaminated sites: INSURE Central Baltic project*

Kim Yrjälä

Biotieteiden laitos, MEM-group, PL 56 (Viikinkaari 9C), 00014 Helsingin Yliopisto

## Johdanto

Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia julkaistiin viime vuonna (SUOMEN YMPÄRISTÖ 2015) päämääränä nopeuttaa pilaantuneiden maiden kunnostusta. Yksi vaikuttava tekijä kunnostustoiminnan hitauteen voi olla eri ongelmayhdisteiden raja- ja kynnysarvojen orjallinen noudattaminen riippumatta saasteiden biosaatavuudesta. Tämä on johtanut ongelmalliseen käytäntöön, missä liian usein päädytään pilaantuneen maan ylös-kaivamiseen ja sen varastoimiseen kaatopaikoille. Tämä käytäntö on myös merkittävästi hidastanut *in situ* kunnostusmenetelmien käyttöönottoa. Pilaantuneiden kohteiden tutkimuksessa ja riskienhallinnassa on parantamisen varaa, että voidaan paremmin löytää kohteille sopivia ja kestäviä kunnostusratkaisuja. Tämä vaatii aktiivista eri osapuolten yhteistoimintaa. Innovative Sustainable Remediation, Central Baltic projekti (insureproject.se) 2015-2019, on yritys kehittää kestävämpiä käytäntöjä Itämerialueen maiden kunnostustoiminalle. Projektissa ovat mukana Suomesta Helsingin Yliopisto ja Populus Group Oy. Länsstyrelsen Östergötland toimii projektin koordinaattorina. Lisäksi mukana ovat Motala kommun, Vidzeme Planning Region, Valmiera City Council ja Latvian Environment Geology and Meteorology Centre.

## Aineisto ja Menetelmät

INSURE projekti toimii käytännön kautta. Kussakin osanottajamaassa, Suomessa, Ruotsissa ja Latviassa on aloitettu pilotti projektit hiilivedyillä saastuneiden maiden kunnostamiseksi. Tavoitteena on valita kullekin pilottikohteelle sopivat kunnostus-menetelmät. Pilaantuneiden maiden kunnostus on luvanvaraista. Ennen kuin kunnostus voidaan aloittaa, kohteet on tutkittava ja tehdään riskienhallinta suunnitelmat. Suomen pilottikohteet ovat pilaantuneet öljyisillä hiilivedyillä ja Latviassa raskaalla polttoöljyllä (mazut), herbisideillä sekä pestisideillä. Kunnostukseen käytetään *in situ* kunnostus-menetelmiä, ensi kädessä fytoremediaatiota [1], elektrokineettistä kunnostusta sekä biostimulaatiota [2], mutta myös muita sopivia menetelmiä. Projektissa kehitetään GIS sovelluksia apukeinoiksi pilaantuneiden maiden tutkimuksessa ja kunnostuksessa [3].

## Tulokset ja tarkastelu

INSURE projektin ensimmäisen vuoden aikana, 2015-2016, aloitettiin pilottikohteiden tutkimus Latviassa keräämällä kohteista historiallista tietoa, koska kohteet olivat saastuneet Neuvostoliiton ajoilta ja maaperän kemiallisia analyyseja ei ollut saatavilla. Ensimmäiset näytteenotot tehtiin ja niitä jatketaan niin, että saadaan saasteiden levinneisyys selville.

*Kuva 1. Ilmakuva kohdealueesta ja likimääräiset kiinteistörajat (www.paikkatietoikkuna.fi)*

**Kuva 1.** Virrat (SF)

**Kuva 2.** Krustmali, Vidzeme (LV)

**Kuva 3.** Valmiera (LV)

Suomen pilottikohteissa (Virrat, Nastola ja Janakkala) maaperän tutkimukset on jo tehty ja kunnostusmenetelmät tulevat olemaan fytoremediaatio, elektrokineettinen kunnostus sekä biostimulaatio. Ruotsissa, Motalassa, Södra Stranden:in kohde on tutkittu konsulttifirman toimesta. Tähän asti projektin suurimmat haasteet ovat olleet eri maiden vaihtelevat käytännöt pilaantuneiden maiden käsittelyssä sekä tiedon puute ja tiedon jakaminen.

## Kirjallisuus

[1] Mukherjee, S., Sipilä, T., Pulkkinen, P. ja Yrjälä, K. 2015. Secondary successional trajectories of structural and catabolic bacterial communities in oil-polluted soil planted with hybrid poplar. *Molecular Ecology*, 24: 628-642.

[2] Suni, S., Malinen, E., Kosonen, J., Silvennoinen, H. ja Romantschuk, M. 2007. Electrokinetically enhanced bioremediation of creosote-contaminated soil: Laboratory and field studies. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*

*Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. 42: 277-287.

[3] Mukherjee, S., Juottonen, H., Siivonen, P., Lloret Quesada, C., Tuomi, P., Pulkkinen, P. ja Yrjälä, K. 2014. Spatial patterns of microbial diversity and activity in an aged creosote contaminated site. *The ISME Journal* 8: 2131–2142.

# Endofyyttiset mikrobit öljyllä saastunen maan ritsoremediaatiossa

*Endophytic microbes in rhizoremediation of petroleum*

Paola Diaz ja Kim Yrjälä

Biotieteiden laitos, MEM-group, PL 56 (Viikinkaari 9C), 00014 Helsingin Yliopisto

## Johdanto

Ritsoremediaation kenttäkokeita on meneillään muutamissa kohteisssa Eteläisessä Suomessa, joissa päämääränä on kunnostaa hiilivedyillä saastuneita maa-alueita käyttäen hybridihaapoja ja niiden yhteydessä eläviä mikrobeja. Merkittävin kohde on Somerharjun entinen puukyllästämö Luumäellä, joka on saastunut kreosooteilla. Noin 1.7 ha saastuneen alueen mikrobistoa tutkittiin seikkaperäisesti ennen hybridihaapojen istutusta 2012-2013. Eri bakteeriryhmien spatiaalisuus suhteessa saasteiden levinneisyyteen ja yllättävään pH gradienttiin esitettiin geospatiaalista kuvantamista (arcGIS) hyväksikäyttäen [1]. Haapastensyrjässä, Läyliäisissä aloitettiin öljyisen maan ritsoremediaatio 2009 ja sieltä otettiin ritsosfäärimaanäytteitä säännöllisesti [2]. Vuoden 2016 syksyllä sieltä kaivettiin 7 vuotta vanhoja haapoja ylös analyysia varten, yhtenä päämääränä analysoida niiden endofyyttisiä mikrobeja. Endofyytit ovat mikroorganismeja, bakteereita ja sieniä, jotka viettävät ainakin osan elinkaarestaan kasvin sisällä [4]. Suomessa on aiemmin eristetty hybridihaavan endofyyttejä polyaromaattisten hiilivetyjen ritsoremediaatiossa kasvihuoneessa [5]. Niiden joukossa oli Burkholderia suvun endofyyttejä, jotka edistävät haavan kasvua solukkoviljelmässä ja yhdellä isolaatilla, *Burkholderia fungorum* 95, on havaittu kyky pelkistää seleniittiä, $SeO3^{-2}$, seleeniksi, joka näkyy nanopartikkeleina sekä intra- että ekstrasellulaarisesti [6].

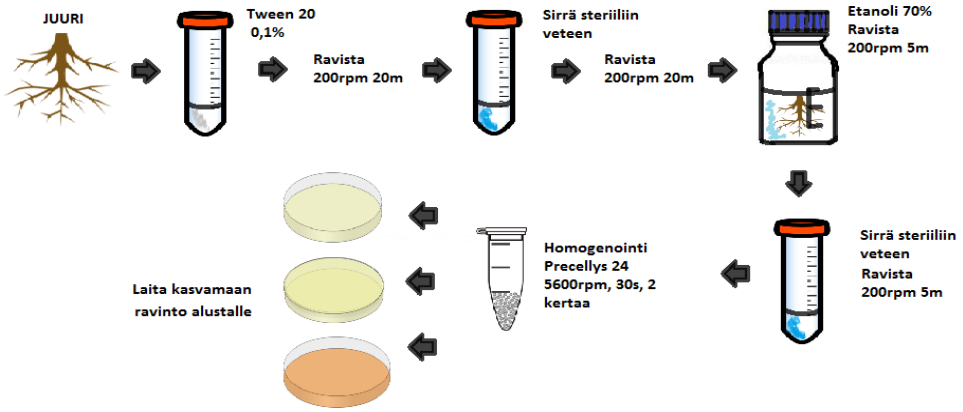
## Aineisto ja menetelmät

Metsä- sekä hybridihaapoja (*Populus tremula/tremuloides*) istutettiin öljyllä saastuneeseen maaperään Suomen Metsäntutkimuslaitoksen Haapastensyrjän tutkimusasemalla Etelä-Suomessa (60 ° 37'24 ° 25', 1250 d.d.).

Seitsemän kasvukauden jälkeen öljyisessä maassa kasveja kaivettiin ylös 6 erilaista haapakloonia ja kolme rinnakkaista puuntainta. Maanäytteet otettiin juuristoon assosioituneesta maasta. Ensin poistettiin alkuperäinen istutuksesta jäänyt maapaakku sekä pintamaa, ravisteltiin kasvitainta ja irronnut maa kerättiin astiaan ja siirrettiin muovi-pusseihin. Lehdet, varret ja juuret otettiin myös talteen muovi-pusseihin.

**Kuva 1A ja 1B.** Näytteenotto

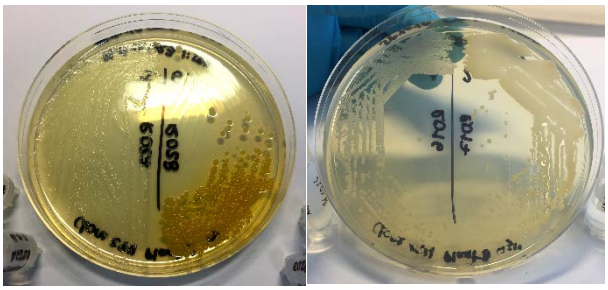
Laboratoriossa lyhyesti, juuret pestiin ensin 0,1 % Tween 20 ravistelijassa 20 minuuttia 200 rpm ja lisäksi ravisteltiin steriilissä vedessä 20 minuuttia 200 rpm. Juuret siirrettiin 70 % etanoliin, ravisteltiin 5 minuuttia 200 rpm ja homogenisoitiin Precellys24 kudoshomogenisaattorilla (Bertin Technologies) käyttämällä lasihelmiä (5600 rpm 2x30s.). Saatu kasvimateriaali laimennettiin steriiliin veteen ja käytettiin mikrobien eristystä varten.




**Kuva 2.** Juurten desinfektointi ja bakteerien eristäminen.

## Tulokset ja tarkastelu

Bakteereita löydettiin kaikista kasvin osista. Eristetyt bakteerit voitiin jakaa kahteen ryhmään, joissa ensimmäisessä on nopeasti (3-4 päivää) kasvavat bakteerit ja toisessa ryhmässä hitaammin (5-6 päivää) kasvavat bakteerit. Endofyyttisten bakteerien tunnistukseen käytettiin 16S rRNA-pohjaista viljelystä riippumatonta lähestymistapaa. Systemaattinen bakteerien eristäminen hybridi haavasta mahdollistaa kiinnostavien mikrobien löytämisen ja niiden tarkemman karakterisoinnin. Niitä voidaan inokuloida takaisin hybridihaapaan edistämään haavan kasvua ja ritsoremediaatiota.



**Kuva 3.** Haavan juurista eristettyjä endofyyttisiä bakteereita TSA-ravintoagar maljoilla.

## Kirjallisuus

[1] Mukherjee, S., et al. 2013. Secondary succession of bacterial communities and co-occurrence of phylotypes in oil-polluted *Populus* rhizosphere. *Soil Biology & Chemistry* 58: 188-197.

[2] Mukherjee, S., et al. 2014. Spatial patterns of microbial diversity and activity in an aged creosote contaminated site. *The ISME Journal* 8: 2131–2142.

[3] Mukherjee, S., et al. 2015. Secondary successional trajectories of structural and catabolic bacterial communities in oil-polluted soil planted with hybrid poplar. *Molecular Ecology* 24: 628-642.

[4] Hardoim, PR., et al. 2015 The Hidden World within Plants: Ecological and Evolutionary Considerations for Defining Functioning of Microbial Endophytes. Microbiology and *Molecular Biology Reviews* 79: 294-310.

[5] Yrjälä, K, et al. 2010. The incidence of *Burkholderia* in epiphytic and endophytic bacterial cenoses in hybrid aspen grown on sandy peat. *Boreal Environment Research* 15: 81-96.

[6] Khoei, NS., et al. 2016. Insights into selenite reduction and biogenesis of elemental selenium nanoparticles by two environmental isolates of *Burkholderia fungorum*. *New Biotechnology* 34: 1-11.

# Auraus aiheuttaa pysyvän ravinnehuuhtouman Keski-Lapin hienoainesmoreeneihin

*Ploughing of forest soils contributes to permanent nutrient leaching from fine-grained tills of Central Lapland Greenstone Belt*

Raimo Sutinen[1] ja Pekka Hänninen[2]

[1]Geologian tutkimuskeskus, PL 77, 96101 Rovaniemi, raimo.sutinen@gtk.fi
[2]Geologian tutkimuskeskus Betonimiehenkuja 4, FIN-02150 Espoo, pekka.hanninen@gtk.fi

Intensiivisen metsätalouden vaikutukset hienoainesmoreenien fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeessä ovat pitkäaikaisia. Tutkimme palle- ja piennarauauksen (Marttiini) vaikutuksia ravinne- ja vesitalouteen (12-16 vuotta) sekä mikropaikkamorfologiaan (LiDAR; 25 vuotta). HMT-tyypin kuusikot Sodankylän Äältövittikossa ja Kittilän Outaperttusessa (ks. moreenien XRD-mineralogia [1]) avohakattiin kaistaleisiin 1990, aurattiin ja viljeltiin kuuselle. Kuusen elossaolo 12 vuoden jälkeen piennarauauksessa oli 22% ja palleauauksessa 47%. LiDAR-morfologiassa aurausjäljet ovat 25 vuoden jälkeen näkyvissä. Viljelykuuset raivattiin huonokuntoisina (Kittilässä) pois 2016.

Mikropaikkamittausten (koskematon, palle/piennar, oja) perusteella aurauksella ei ollut vaikutusta moreenien vesitalouteen (kapasitanssimittaukset 12, 14, 16 vuotta aurauksesta), mutta ravinnehuuhtouma oli selkeä (CART-regressioanalyysi selitti 90% mikropaikkojen sähkönjohtavuus/huokosvesijohtavuus ja pH eroista). Maan kemiallisten ominaisuuksien (1M-ammoniumasetaattiutto pH 4.5:ssä; CART-analyysin perusteella 74.7%) erot selittyivät C, Mg, Na, Mn, Ca, Ba, Al, Fe N elementtien huuhtoutumisella. Ca väheni 34-46% (piennar/palleauraus), S 32-51%, Mg 56 % (piennarauraus) ja P 22% (piennarauraus) sekä C 56% ja N 57% (palleauraus). Tulokset osoittavat, että auraus aiheuttaa pysyvän ravinteiden huuhtoutumisen mineraalimaassa, johon kuusi ei luontaisesti taimetu [2]. Vesitalouteen ei aurauksella voida vaikuttaa, vaan moreenien partikkelijakauma ja –muoto (savimineraalit) [1] säätelevät vesipitoisuuden spatiaalisen aika-stabiliteetin [3, 4]. Paitsi että kuusen luontainen uudistuminen estyy ravinnehuuhtouman takia [2], myös männyn viljely epäonnistuu näille moreeneille epäedullisen vesitalouden takia [5]. Lumensulamisen jälkeinen kyllästyminen kestää 5-10 viikkoa, joka on fataalinen männylle [4, 5, 6].

## Kirjallisuus

[1] Middleton, M., Närhi, P., Kuosmanen, V., Sutinen, R. 2011. Quantification of glacial till chemical composition by reflectance spectroscopy. *Applied Geochemistry* 26, 2215-2225.

[2] Sutinen, R., Närhi, P., Herva, H., Piekkari, M., Sutinen, M-L. 2010. Impact of intensive forest management on soil quality and natural regeneration of Norway spruce. *Plant and Soil* 336, 421-431.

[3] Liwata, P., Hänninen., P, Okkonen., J., Sutinen., R. 2014. Time-stability of soil water through boreal (60-68°N) gradient. *Journal of Hydrology* 519, 1584-1593.

[4] Sutinen, R., Middleton, M., Hänninen, P., Vartiainen, S., Venäläinen, A., Sutinen, M-L. 2007. Dielectric constant time stability of glacial till at a clear-cut site. *Geoderma* 141,311-319.

[5] Sutinen, R., Teirilä, A., Pänttäjä, M., Sutinen, M-L. 2002. Survival of artificially regenerated Scot pine on till soils with respect to varying dielectric properties. *Canadian Journal of Forest Research* 32, 1151-1157.

[6] Repo, T., Heiskanen, J., Sutinen, M-L., Sutinen, R., Lehto, T. 2016. The responses of Scots pine seedlings to waterlogging in a fine-textured till soil. *New Forests*, DOI 10.1007/s11056-016-9555-3.

# Effects of timber skidding on physical properties of forest soils in southern Finland

*Puunkorjuun vaikutus metsämaan fysikaalisiin ominaisuuksiin Etelä-Suomessa*

Jenny Toivio[1], Heljä-Sisko Helmisaari[1], Marjo Palviainen[1], Harri Lindeman[2], Jari Ala-Ilomäki[2], Matti Sirén[2], Jori Uusitalo[2]

[1]University of Helsinki, Department of Forest Sciences
[2]Natural Resources Institute Finland, Green Technology Unit

Forest harvesting activities can cause soil damage and disturbance through soil compaction, rut formation and soil transfer. These affect the soil structure and function with possible consequences on forest production. Harvesting with heavy machinery compacts the soil, which results, for instance, in increased bulk density and decreased porosity, moisture, aeration and infiltration. Furthermore, runoff as well as soil and water erosion may increase, nutrients may become less available and root and tree growth may reduce.

We examined the changes of soil physical properties (bulk density, moisture and porosity) after several forwarder passes in two forest sites on a fine-grain mineral soil in southern Finland. The forwarder was loaded with pulpwood (9 800 kg), giving the total mass of 29 800 kg. Penetration resistance and rut formation were also measured. The tests were performed in three periods with different soil moisture conditions in September, November and December 2015.

The results showed increased bulk densities and decreased porosities after the machinery passes. However, the moisture content increased in one site and mainly decreased in the other. The first three passes caused the greatest compaction and rutting, the first having the strongest impact. Further passes had only a slight effect. The compaction and changes of physical properties of the soil appeared to be greater in dry conditions (September) whereas the soil damage due to rut formation and soil transfer (Fig. 1) was clearly stronger in moist conditions (November and December). The results are, however, very site-specific and more research is necessary for a better understanding of the effects of harvesting and relationships between different factors.

**Fig. 1.** Compaction on forest soil in September (left) and in November (right) 2015.

# Early root growth and architecture of seedlings of fast- and slow-growing Norway spruce families

*Kuusen taimien juuriston rakenne ja yhteys verson kasvunopeuteen*

Sannakajsa Velmala[1], Leena Hamberg[1], Risto Sievänen[1], Tuomo Kalliokoski[2], Taina Pennanen[1]

[1]Natural Resources Institute Finland, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki
[2]University of Helsinki, POB 27, 0014 University of Helsinki

## Introduction

The impact of host tree identity on lateral root proliferation and spatial distribution of fine roots is largely unknown as visible differences in aboveground growth are investigated more frequently than the belowground roots (1). In our earlier research we have found that the long-term growth rate of Norway spruce clones correlate positively with the diversity of symbiotic mycorrhizal fungi (2). However, the observed differences in spruce growth rates did not relate to their susceptibility to obtain ectomycorrhizal fungal diversity from forest soil but instead, the differently growing spruces showed systematic variation in their fine root densities (3). In spatially patchy forest soil, the distribution of roots may influence the resource availability of the trees. Therefore, in this study our aim was to compare the early root formation of seedlings of phenotypically contrasting fast- and slow-growing Norway spruce families before any differences in the aboveground growth are visible.

## Material and Methods

The study was performed with six Norway spruce seed orchard families originating from southern Finland from which tree were classified as fast-growing and three as slow-growing families in repeated long-term field trials. Each family consisted of nine replicate seedlings, and three branches of lateral roots per seedling were randomly chosen for the study. Root architecture data for was gathered with the WinRHIZO® image analysis tool from scanned root images, and statistically analyzed with mixed models.

## Results and Discussion

The height and root biomass did not differ between seedlings of fast- and slow-growing Norway spruce families. However in fast-growing seedlings, the probability of occurrence of side roots was higher just next to and further away from the root neck than in slow-growing seedlings. Fast-growing seedlings also had more side roots and root tips located further away from the base of the seedling than the slow-growing ones. Moreover, the total length of side roots was the higher further away from the root neck in the fast-growing seedlings. Seedlings of fast-growing families had higher number of root branches and root tips which provide more surface area and contact with soil. We conclude that in Norway spruce, the better long term growth rate relate to greater allocation to extensive growth of roots in early growth phases.

## References

(1) McCormack ML, Dickie IA, Eissenstat DM, Fahey TJ, Fernandez CW, Guo D, Helmisaari H-S, Hobbie EA, Iverse CM, Jackson RB, Leppälammi-Kujansuu, J., Norby, RJ., Phillips, RP., Pregitzer, KS, Pritchard SG, Rewald B., Zadworny M. 2015. Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. *New Phytologist* 207: 505-518.

(2) Korkama, T., Pakkanen, A. Pennanen T. 2006. Ectomycorrhizal community structure varies among Norway spruce (Picea abies L.) clones. *New Phytologist* 171:815-824

(3) Velmala SM, Rajala T, Heinonsalo J, Taylor AFS, Pennanen T. 2014. Profiling functions of ectomycorrhizal diversity and root structuring in seedlings of Norway spruce (Picea abies) with fast- and slow-growing families. *New Phytologist* 201: 610-622.

# Puiden maan alle syöttämien hiiliyhdisteiden vaikutus maaperäprosesseihin

*The role of belowground carbon allocation of forest trees to soil processes*

Jussi Heinonsalo[1], Liisa Kulmala[2], Bartosz Adamczyk[1], Laura Arppe[3], Jaana Bäck[2], Sebastien Fontaine[4], Iikka Haikarainen[5], Jari Haimi[6], Elisa Halmeenmäki[5], Heidi Hellen[7], Heljä-Sisko Helmisaari[2], Antti-Jussi Kieloaho[1,5], Aino Korrensalo[8], Jaana Leppälammi-Kujansuu[2], Janne Levula[5], Matti Loponen[5], Mari Mäki[2], Markku Oinonen[3], Vesa Palonen[3,5], Mari Pihlatie[5], Niilo Salo[6], Minna Santalahti[1], Outi-Maaria Sietiö[1], Eloni Sonninen[3], Kari Steffen[1], Hui Sun[1], Eeva-Stiina Tuittila[8] ja Jukka Pumpanen[9]

[1]Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, Helsingin yliopisto, [2]Metsätieteiden laitos, Helsingin yliopisto, [3]Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsingin yliopisto, [4]Unité de Recherche sur l'Ecosystème Prairial, INRA Clermont-Ferrand, France, [5]Fysiikan laitos, Helsingin yliopisto, [6]Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto, [7]Ilmatieteen laitos, [8]Metsätieteiden osasto, Itä-Suomen yliopisto, [9]Ympäristö- ja biotieteiden laitos, Itä-Suomen yliopisto

## Johdanto

Kasvien yhteyttämästä hiilestä merkittävä osa päätyy maan alle joko kasvibiomassana, symbioottisten sienten biomassana tai juurten maahan erittäminä hiiliyhdisteinä. Juurista maahan päätyvät hiiliyhdisteet ovat tärkeä energianlähde symbionttisille ja juurten läheisyydessä eläville mikrobeille ja juuriston läheisyys lisääkin mikrobien määrää ja aktiivisuuksia maaperässä. Kasveista riippuvaisen mikrobiston vaikutus maaperän prosesseihin on suuri muun muassa ns. priming-vaikutuksen takia. Priming-ilmiössä (Kuzyakov, 2000) orgaanisen aineen hajotustoiminta aktivoituu, kun helppokäyttöisiä hiiliyhdisteitä kuten juurten erittämiä sokereita on käytettävissä. Priming-vaikutus voi lisätä vaikeasti hajotettavan orgaanisen aineen hajotusta, koska mikrobien saama lisäenergia auttaa niitä tuottamaan orgaanisen aineen hajotuksessa tarvittavia entsyymejä. Puiden maan alle syöttämät hiiliyhdisteet vaikuttavat myös maaperän mikrobiyhteisön rakenteeseen ja sitä kautta mahdollisesti kaikkiin maaperän mikrobiologisiin prosesseihin. Työn tavoitteena oli kenttäolosuhteissa mäntymetsässä tutkia miten puiden maan alle syöttämät hiiliyhdisteet vaikuttavat maaperästä vapautuviin kaasuihin sekä maaperäeläimiin ja aluskasvillisuuteen ja orgaanisen aineen hajotukseen.

## Aineisto ja menetelmät

Tutkimus toteutettiin Juupajoen Hyytiälässä SMEARII -tutkimusasemalla vuosina 2012-2015. Puiden tuottamien hiiliyhdisteiden pääsyä maaperään rajoitettiin eri tavoilla ja kokeessa oli yhteensä yhdeksän erilaista käsittelyä (N=6-12). Puista riippuvainen maanalainen hiilisyöte estettiin kokonaan kaivamalla n. 1 $m^2$ maa-alan (ruudun) ympärille oja vähintään 40 cm syvyyteen asti ja eristämällä maa 1 µm:n kankaalla. Kankaan asennuksen jälkeen oja täytettiin. Toinen tapa rajoittaa hiilisyötettä oli eristää maa 50 µm:n kankaalla eli tässä käsittelyssä kasvien kanssa symbioosissa elävät sienirihmastot pääsivät kankaan läpi mutta juuret eivät. Kontrollissa maahan ei asennettu mitään kangasta. Aluskasvillisuus voi myös tuottaa maaperään päätyviä hiiliyhdisteitä ja tämän takia kuhunkin em. kolmeen käsittelyyn tehtiin lisäksi kolme erilaista aluskasvillisuuskäsittelyä: koskematon kasvillisuus (kontrolli), kokonaan poisleikattu aluskasvillisuus sekä poisleikkaus siten että vain varpukasvit jätettiin ruuduille.

Koeasetelmasta mitattiin koko tutkimusjakson ajan $CO_2$-tuotanto sekä syksyisin $^{13}CO_2$ ja $^{14}CO_2$, joiden avulla on mahdollista laskea ns. priming-vaikutuksen suuruus. Lisäksi koealalta mitattiin metaani- ($CH_4$) ja typpioksiduulivuo ($N_2O$) sekä haihtuvien terpeenien koostumus ja vuo. Juurikarikkeen hajoamisnopeus sekä hajotukseen liittyvien oksidatiivisten entsyymien

aktiivisuus määritettiin vuosittain. Kokeen viimeisenä vuonna analysoitiin maaperän eläimistö sekä käsittelyjen vaikutus kasviyhteisöihin.
Em. 1 $m^2$:n ruuduilla tehdyn kokeen rinnalla toteutettiin myös pienemmän mittakaavan hiilisyötekoe, jossa kolmen eri silmäkoon (1 µm, 50 µm ja 1 mm) pusseihin laitettiin homogenisoitua humusta koealalta ja pusseja inkuboitiin maassa yhdestä kolmeen vuotta, 2013-2015. Humuspusseja kerättiin vuosittain (N=24) ja maasta määritettiin kemiallisia, mikrobiologisia ja entsymaattisia muuttujia sekä massahävikki. Massahävikkitulokset esitellään tässä työssä.

**Tulokset ja tulosten tarkastelu**

Juurten pääsyn estäminen vähensi selvästi maaperän $CO_2$-vuota erityisesti silloin kun aluskasvillisuus oli leikattu pois. Havainto vahvistaa aiempien tutkimusten tulokset, joissa on osoitettu juurten ja juuristomikrobien aiheuttaman maahengityksen osuuden olevan luokkaa 30-50% maan kokonaishengityksestä (esim. Högberg ym. 2001). Käsittelyissä missä juurten tai sienirihmaston pääsy maahan oli estetty mutta joissa aluskasvillisuus oli koskematon, havaittiin maahengityksen kasvavan kolmessa vuodessa samalle tasolle kuin kontrollikäsittelyssä missä myös puiden juuret olivat läsnä. Havainto osoittaa aluskasvillisuuden vaikuttavan merkittävästi metsämaan maahengitykseen.

Hiilen isotooppien avulla voitiin osoittaa ns. priming-ilmiön (Kuzyakov, 2000) esiintyminen metsämaassa: puiden maan alle allokoimat hiiliyhdisteet lisäsivät hajotustoiminnasta syntyvää heterotrofista maahengitystä voimakkaasti. Maanalainen hiilisyöte sen sijaan ei ollut terpeenien tuottoa säätelevä tekijä mutta aluskasvillisuus osoittautui merkittäväksi tekijäksi vähentäen maasta ilmaan vapautuvien terpeeniyhdisteiden määriä (Mäki ym. 2016).

Heinäkasvien ja sammalten projektiopeittävyys kasvoi aloilla, joilta juuret oli eristetty. Myös sienirihmaston eristäminen (1 µm) vaikutti heinäkasvien peittävyyteen, joka oli suurempi verrattuna koealoihin, joilta vain juurten pääsy oli estetty (50 µm).

Esityksessä käydään läpi päätulokset hankkeessa tehdyistä mittauksista sekä esitellään johtopäätökset siitä, miten metsäpuiden ja aluskasvillisuuden maahan allokoimat hiiliyhdisteet vaikuttavat tärkeiden kasvihuonekaasujen voihin sekä metsämaan biologiaan ja orgaanisen aineen hajotukseen. Tulosten avulla voidaan arvioida miten kasvin vaikutus maaperäprosesseihin tulisi huomioida maaperän hiilimallien parametrisoinnissa.

**Kirjallisuus**

[1] Högberg, P., Nordgren, A., Buchmann, N., Taylor, A.F.S., Ekblad, A., Högberg, M.N. ym. 2001 Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. *Nature*, Vol 411: 789-792.

[2] Kuzyakov, Y. 2000. Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 1363-1371.

[3] Mäki, M., Heinonsalo, J., Hellén, H., ja Bäck, J. 2016. Contribution of understorey vegetation and soil processes to boreal forest isoprenoid exchange. *Biogeosciences Discuss.*, doi:10.5194/bg-2016-255.

## Metsämaan orgaanisen aineen hajoaminen - tanniinien merkitys

*Towards understanding soil organic matter decomposition - a tannin perspective*

Bartosz Adamczyk[1,3], Aino Smolander[1], Veikko Kitunen[1], Judy Simon[2], Jussi Heinonsalo[3]

[1] Luonnonvarakeskus, 01301 Vantaa
[2] Konstanzin Yliopisto, Saksa
[3] Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, Helsingin Yliopisto

The boreal forest ecosystem stores substantial amounts of soil organic matter (SOM), which may act either as a source or as a sink for atmospheric $CO_2$ under climate change [1]. To predict long-term soil C storage and climate feedbacks we need profound understanding of dynamics and drivers of SOM decomposition. Here interactions between C and N cycles should be taken into account as these cycles are significantly interlinked at ecosystem level [2].

In boreal forest soils, SOM content is very high and also rich in phenolic plant secondary compounds, especially tannins [3]. In addition to deterring herbivores, tannins seem to control soil N cycle. Tannins may affect soil N transformations *via* inducing toxicity to microbial populations and by forming complexes with proteins. Tannin-protein complexes may shift N cycling from a mineral to an organic dominated pathway. Although tannin-protein complexes are recalcitrant, some ericoid mycorrhizal and ectomycorrhizal fungi have been shown to be able to take up N from these complexes [4,5]. Overall, the actual role of tannins is currently still under debate.

Our recent findings give new insights into tannin role in formation of different N pools and in controlling the magnitude and direction of N fluxes. In addition to the formation of complexes with proteins, tannins may also form complexes with a wide range of organic N compounds, including chitin, nitrogen bases, arginine and polyamines [6]. Tannin-chitin complexes are relatively recalcitrant in the soil and they may potentially conserve N similarly to tannin-protein complexes [7].

As tannins interfere also with enzymes [e.g. 8], their influence on SOM decomposition and N uptake by mycorrhizal plants seems to be very complex. According to our newest study, tannins have a dual mode of action on enzymes crucial in SOM degradation. Our results show that the addition of tannins can lead to either decreases or increases in the catalytic activity of enzymes responsible for SOM degradation. Tannins modulate the conformation of the enzymes resulting in changes in enzymatic activity. We observed that tannins displayed a similar mode of action on SOM degrading enzymes in soil mesocosm experiments. Thus, tannin-enzyme synergy needs to be included in model predictions of SOM decomposition rates especially in the tannin-rich ecosystems.

Our findings increase understanding of SOM decomposition, especially about the formation and degradation of different N pools and fluxes, needed for modelling of future C and N stocks in changing climate.

### Kirjallisuus

[1] Pan, Y. *et al*. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333:988-993.

[2] Tateno, M. and Chapin, III F.S. 1997. The logic of carbon and nitrogen interactions in terrestrial ecosystems. *American Naturalist* 149: 723-744.

[3] Smolander, A, Kanerva, S., Adamczyk, B., Kitunen, V. 2012. Nitrogen transformations in boreal forest soils-does composition of plant secondary compounds give any explanations? *Plant and Soil* 350:1-26.

[4] Bending, G.D. and Read, D.J. 1996. Nitrogen mobilization from protein polyphenol complex. *Soil Biology and Biochemistry* 28:1603-1612.

[5] Bennett, J.N. and Prescott, C.E. 2004. Organic and inorganic nitrogen nutrition of western red cedar. *Oecologia* 141:468-476.

[6] Adamczyk, B., Adamczyk, S., Smolander, A., Kitunen, V. 2011. Tannic acid and Norway spruce condensed tannins can precipitate various organic nitrogen compounds. *Soil Biology and Biochemistry* 43:628-637.

[7] Adamczyk, B., Adamczyk, S., Smolander, A., Kitunen, V. 2013. Response of soil C, N transformations to organic N-tannin complexes. *Applied Soil Ecology* 64:163-170.

[8] Hagerman, A.E. 2012. Fifty years of polyphenol-protein complexes. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.

# Kanervakasvien vaikutus metsämaan mikrobiyhteisöjen rakenteeseen ja toimintaan

*The effect of ericoid plants to soil chemistry and to fungal and bacterial communities in boreal forest humus*

Outi-Maaria Sietiö[1], Bartosz Adamczyk[1], Sari Timonen[1], Hanna Sinkko[1], Tero Tuomivirta[2], Heikki Kiheri[2], Minna Santalahti[1], Hui Sun[1,3], Hannu Fritze[2], Jussi Heinonsalo[1]

[1]Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, PL 56, 00014 Helsingin yliopisto
[2]Luonnonvarakeskus, PL 2, 00791 Helsinki
[3]College of Forestry, Nanjing Forestry University, China.

## Johdanto

Boreaaliset metsät ovat hiilinieluja ja metsämaassa typpi on usein kasvua rajoittava ravintoaine. Pohjoisissa metsissä yleisin puulaji on mänty ja metsän aluskasvillisuus koostuu pääasiassa sammaleista ja varpukasveista kuten mustikasta, puolukasta ja kanervasta. Puut ja varvut muodostavat symbioosin sienijuurisienten kanssa tehostaakseen veden, typen ja muiden ravinteiden ottoa maaperästä. Jotkin sienijuurisienet voivat myös pilkkoa maaperän orgaanista ainesta ja siten lisätä maassa olevan vapaan typen määrää [1]. Sienten lisäksi arkeonit ja bakteerit ovat tärkeitä maaperän hiilen, typen ja muiden ravinteiden kierrolle ja niiden on havaittu osallistuvan moniin maaperän prosesseihin. Maaperän bakteerien lukumäärän on havaittu olevan riippuvainen maaperän sieniyhteisön rakenteesta ja toiminnasta, ja bakteerien lukumäärän onkin todettu olevan suurempi kasvin juuriston välittömässä läheisyydessä kuin muualla maassa [2].

Boreaalisessa metsässä puut muodostavat tyypillisesti sienijuurisymbioosin pintasienijuurisienten kanssa (ektomykorritsa, ECM). Varpukasvien kanssa symbioosissa elävät sienet ovat tyypillisesti kanervasienijuurisieniä (erikoidimykorritsa, ERM), jotka muodostavat kasvin juurten kanssa sisätyypin sienijuuren [3]. ECM-tyyppisen symbioosin kasvien kanssa muodostavat sienet kuuluvat pääsiassa kantasienten kaareen, kun taas ERM-tyyppiset sienet ovat pääasiassa kotelosieniä [4]. ERM- ja ECM-sienten on havaittu eroavan toisistaan geeniperimältään siten, että ERM-sienillä on yleisesti enemmän kasviperäisen orgaanisen aineen hajotukseen liittyviä entsyymejä koodaavia geenejä kuin ECM-sienillä [5]. Lisäksi näillä sienillä on erilaiset vaikutukset maaperän kemialliseen koostumukseen [6].

Eri sukuihin kuuluvat sienijuurisienet ovat tyypillisesti erikoistuneet muodostamaan symbioosin vain tiettyjen kasvilajien kanssa. Toistaiseksi on kuitenkin kiistanalaista, onko ERM-sienillä isäntäspesifisyyttä. Eräiden tutkimustulosten mukaan samalla alueella kasvavien eri lajeihin kuuluvien varpukasvien juuristojen sieniyhteisöt ovat samanlaiset [7,8], kun taas toisissa tutkimuksissa on saatu vastakkaisia tuloksia [9]. Sienten jako ERM- tai ECM-sieniin niiden elinympäristöjen perusteella onkin haastavaa, koska kanervasienijuurisieniä on myös puiden juuristoissa ja päinvastoin [4,10,11].

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella mikrokosmoskokeen avulla eroja männyn, kanervan, puolukan ja mustikan juuristojen ja niiden ritsosfäärien mikrobiyhteisöissä sekä näiden yhteisöjen vaikutusta humuksen kemialliseen koostumukseen. Lisäksi tavoitteenamme oli tunnistaa kasvien kanssa suorassa vuorovaikutuksessa olleet sienilajit käyttämällä DNA:n isotooppileimaukseen perustuvaa menetelmää ($^{13}$C-DNA-SIP).

## Aineisto ja menetelmät

Mikrokosmoskokeen rakentamiseen käytettiin Hyytiälän metsäasemalta (61°51' N, 24°17' E) kerättyä seulottua (4 mm) humusta, joka asetettiin Perspex®-lasien väliin. Hyytiälän metsäaseman puusto koostuu pääasiassa männyistä ja aluskasvillisuus pääosin mustikoista,

puolukoista ja kanervista. Männyn (*Pinus sylvestris* L.), kanervan (*Calluna vulgaris* L.), mustikan (*Vaccinium vitis-idaea* L.) ja puolukan (*Vaccinium myrtillus* L.) taimet idätettiin siemenistä ja istutettiin mikrokosmoksiin. Mikrokosmoskokeen lopussa kasvien taimet olivat samankokoiset, ja kasvatusvaihe kesti yhteensä noin 20 kk. Ennen kokeen lopetusta taimille annettiin $^{13}CO_2$ yhtäjaksoisesti tunnin ajan viitenä peräkkäisenä päivänä.

Mikroskosmoksista otettiin erilleen maat, juuret, neulaset ja lehdet sekä kasvien varret. Pakastetuista maanäytteistä analysoitiin solun ulkoiset entsyymiaktiivisuudet sekä kemialliset ominaisuudet kuten hiili-typpi suhde, orgaanisen aineen määrä, tanniinien ja muiden fenolisten yhdisteiden pitoisuudet sekä vapaan typen määrä. Adamczyk ym. on kuvannut tarkemmin analyysit ja käytetyt menetelmät [6].

Maa- ja juurinäytteistä eristettiin kokonais-DNA:t, joiden bakteeri- ja sieniyhteisöt selvitettiin hyödyntäen syväsekvensointia. Syväsekvensoinnilla saadut sekvenssit analysoitiin käyttäen mothur-ohjelmistoa sekä R-ohjelmaa. Lisäksi juurista eroteltiin kasvilta leimattua $^{13}C$ saaneiden mikrobien DNA:t hyödyntäen CsCl-gradienttiin perustuvaa $^{13}C$-DNA-SIP-ultrasentrifuugausta. Tämän jälkeen kasvien kanssa suorassa vuorovaikutuksessa olleiden sienten yhteisöprofiilit selvitettiin syväsekvensoinnin avulla.

## Tulokset ja tarkastelu

Tulostemme perusteella kanervakasveilla on keskenään samankaltainen, mutta männystä eroava vaikutus maaperän typen kiertoon, kasvin orgaanisen typen ottoon sekä maaperän orgaanisen aineen hajotukseen. Lisäksi kanervakasvien juuristoissa oli ja niistä päätyi myös maahan enemmän tanniinisia yhdisteitä kuin männyn juuristoista.
Kaikilla kasveilla ritsosfäärien ja juuristojen mikrobiyhteisöt erosivat toisistaan sekä bakteerien että sienten osalta. Kanervakasvien juuristojen mikrobiyhteisöt puolestaan olivat keskenään samankaltaisemmat kuin männyllä. Lisäksi $^{13}C$-DNA-SIP-tulosten perusteella männyn kanssa suorassa vuorovaikutuksessa olevien sienten yhteisö erosi kanervakasvien kanssa suorassa vuorovaikutuksessa olevien sienten yhteisöistä.

## Kirjallisuus


[1] Lindahl BD, Tunlid A. 2015. Ectomycorrhizal fungi - potential organic matter decomposers, yet not saprotrophs. *New Phytol.* 205:1443–7.

[2] Timonen S, Jørgensen KS, Haahtela K, Sen R. 1998. Bacterial community structure at defined locations of *Pinus sylvestris - Suillus bovinus* and *Pinus sylvestris - Paxillus involutus* mycorrhizospheres in dry pine forest humus and nursery peat. *Can. J. Microbiol.* 44:499–513.

[3] Read D. 1996. The Structure and Function of the Ericoid Mycorrhizal Root. *Ann. Bot.* 77:365–74.

[4] Vrålstad T. 2004. Are ericoid and ectomycorrhizal fungi part of a common guild? *New Phytol.* 164:7–10.

[5] Kohler A, Kuo A, Nagy LG, et al. 2015. Convergent losses of decay mechanisms and rapid turnover of symbiosis genes in mycorrhizal mutualists. *Nat. Genet.* 47:410–5.

[6] Adamczyk B, Ahvenainen A, Sietiö O-M, et al. 2016. The contribution of ericoid plants to soil nitrogen chemistry and organic matter decomposition in boreal forest soil. *Soil Biol. Biochem.* 103:394–404.

[7] Kjøller R, Olsrud M, Michelsen A. 2010. Co-existing ericaceous plant species in a subarctic mire community share fungal root endophytes. *Fungal Ecol.* 3:205–14.

[8] Walker JF, Aldrich-Wolfe L, Riffel A, et al. 2011. Diverse Helotiales associated with the roots of three species of Arctic Ericaceae provide no evidence for host specificity. *New Phytol.* 191:515–27.

[9] Bougoure DS, Parkin PI, Cairney JWG, Alexander IJ, Anderson IC. 2007. Diversity of fungi in hair roots of Ericaceae varies along a vegetation gradient. *Mol. Ecol.* 16:4624–36.

[10] Heinonsalo J, Koskiahde I, Sen R. 2007. Scots pine bait seedling performance and root colonizing ectomycorrhizal fungal community dynamics before and during the 4 years after forest clear-cut logging. *Can. J. For. Res.* 37:415–29.

[11] Grelet G-A, Johnson D, Vrålstad T, Alexander IJ, Anderson IC. 2010. New insights into the mycorrhizal Rhizoscyphus ericae aggregate: spatial structure and co-colonization of ectomycorrhizal and ericoid roots. *New Phytol.* 188:210–22.

## Labiilin hiilen lisäyksen orgaanisen aineksen hajotusta kiihdyttävä vaikutus boreaalisissa maissa

*Priming effect in boreal soils*

Kristiina Karhu[1], Christina Biasi[2], Hannu Nykänen[3], Emmi Hilasvuori[4], Hannu Fritze[5], Pekka Vanhala[4], Jari Liski[6], Jussi Heinonsalo[7], Jukka Pumpanen[2], Mikko Kukkola[5], Anna Saarsalmi[5], Hannu Ilvesniemi[5] ja Per Ambus[8]

[1] Metsätieteiden laitos, PL 27 (Latokartanonkaari 7), 00014 Helsingin yliopisto
[2] Ympäristötieteen laitos, Itä-Suomen yliopisto
[3]Biologian ja Ympäristötieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto
[4]Suomen ympäristökeskus (SYKE)
[5]Luonnonvarakeskus (LUKE)
[6]Ilmatieteen laitos
[7]Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, Helsingin yliopisto
[8]Department of Geosciences and Natural Resource Management, Kööpenhaminan yliopisto

Mikrobeille helposti käyttökelpoisten hiiliyhdisteiden, kuten glukoosin, lisäys maahan voi kiihdyttää muunkin orgaanisen aineksen hajotusta maaperässä. Tutkimuksemme boreaalisesta metsämaasta tukee aiempia tuloksia erilaisista maaperistä, joiden mukaan tämä niin kutsuttu ”priming effect” on voimakkaampi syvemmällä maaperässä. Tällä ilmiöllä voi olla merkittäväkin vaikutus maaperän hiilen kiertoon ilmaston muuttuessa, jos puiden hiilisyöte syvemmälle maaperään kasvaa. Käyttämällä $^{13}C$ leimattua glukoosia malliyhdisteenä juurten eritteiden vaikutuksesta orgaanisen aineksen hajotukseen, olemme pyrkineet laboratoriokokeilla kvantifioimaan ”priming effectiä” erilaisissa boreaalisissa maissa, suhteessa maaperän hiilen ja typen pitoisuuteen.

Luonnollisella metsämaan viljavuus gradientilla ”priming effect” kasvoi maaperän typen pitoisuuden pienentyessä, mikä tukee hypoteesia, jonka mukaan mikrobit käyttävät helposti hajotettavasta hiilestä saamansa lisäenergian vapauttaakseen typpeä vaikeammin hajotettavista yhdisteistä. ”Priming effectin” suuruuden riippuvuus maaperän kokonaistyppipitoisuudesta voi auttaa kuvaamaan tätä prosessia maaperän hiilimalleissa ja globaaleissa ilmastomalleissa.

**Kirjallisuus**

[1] Karhu, K. Hilasvuori, E., Fritze, H., Biasi, C., Nykänen, H., Liski, J., Vanhala, P., Heinonsalo, J. and Pumpanen, J. 2016. Priming effect increases with depth in a boreal forest soil. *Soil Biology & Biochemistry* 99: 104-107.

# Porolaidunnuksen vaikutus maaperän sieniyhteisön rakenteeseen ja entsyymiaktiivisuuksiin

*The Effect of reindeer grazing on soil fungal communities and enzyme activities in subarctic boreal forest in Finland*

Minna Santalahti[1], Hui Sun[1,2], Outi-Maaria Sietiö[1], Kajar Köster[3] and Jussi Heinonsalo[1]

[1] Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, PL 56, 00014 Helsingin yliopisto
[2] Collaborative Innovation Center of Sustainable Forestry in Southern China, College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China.
[3] Metsätieteiden laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto

## Johdanto

Poro (*Rangifer tarandus* L.) on merkittävä nisäkäs pohjoisissa ekosysteemeissä. Laiduntamalla ja tallomalla jalkoihinsa kasvillisuutta porot vaikuttavat kasvien monimuotoisuuteen [1]. Etenkin talvisin porot syövät jäkälää (erityisesti *Cladonia* suvun jäkälää), jotka metsäekosysteemissä korvautuvat yleensä nopeakasvuisemmilla varvuilla ja sammalilla. Porojen kasvillisuuteen aiheuttamat muutokset voivat epäsuorasti vaikuttaa maan fysikaalisiin ominaisuuksiin kuten maan mikroilmastoon, ravinteiden kiertoon sekä orgaanisen aineksen hajoamiseen [1,2,3]. Etenkin avoimella tundralla maaperän pintakerros voi paljastua ylilaidunnuksen seurauksena, mikä voi nostaa maanpinnan lämpötilaa ja muuttaa maaperän kosteuspitoisuutta [2,3]. Poronjäkälän (*Cladonia* spp.) on myös todettu tuottavan yhdisteitä jotka voivat estää sienijuurten muodostumista männyllä ja varpukasveilla [4]. Tämän takia porolaidunnuksella voi olla merkittävä vaikutus myös maaperän sieni- ja mikrobiyhteisöjen rakenteeseen ja dynamiikkaan.

## Aineisto ja menetelmät

Maaperän sieniyhteisöanalyysiin kerättiin vuonna 2013 humusmaata neljältä eri tutkimusalalta. Tutkimusalueista yksi sijaitsi subarktisessa havumetsässä Sodankylässä, Lapin ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen ympäristössä ja kolme Värriössä SMEAR I tutkimusaseman ympäristössä. Kaikilla tutkimusalueilla aita oli rajannut osan alueesta estäen porolaidunnuksen joko 60 tai 100 vuotta, ja humusnäytteet otettiin molemmin puolin aitaa (laidunnettu ja laiduntamaton puoli). Yhteensä näiltä aloilta otettiin analyysiin 38 humusnäytettä, joista 19 oli laidunnettuilta ja 19 laiduntamattomilta paikoilta.

Maanäytteistä eristettiin DNA kaupallisella kitillä (PowerSoil DNA Isolation Kit, MO BIO) ja DNA:sta monistettiin sienten ITS2-alue spesifisillä alukkeilla. Näytteet sekvensoitiin 454-syväsekvensointimenetelmällä Biotekniikan instituutissa. Sekvenssidata analysoitiin mothur v. 1.31.3 ohjelmalla [5] seuraten sienisekvensseille muokattua ohjetta [6].

Värriön koealoille haudattiin vuonna 2014 humuskerroksen alle karikepusseja, joissa oli n. 5 g männyn neulaskariketta. Karikepussit kerättiin vuotta myöhemmin ja niistä määritettiin massahävikki, kosteuspitoisuus sekä orgaanisen aineksen hajotukseen liittyvien solunulkoisten entsyymien pitoisuudet.

## Tulokset ja tarkastelu

Pyrosekvensointi tuotti yli 200 000 hyvälaatuista sienisekvenssiä, jotka luokiteltiin 97 % samankaltaisuuden perusteella 1 186 OTU:ksi (Operational Taxonomic Unit). Kantasienet (Basidiomycota) olivat yleisin sienten kaari aineistossa (67 % sekvensseistä). Kotelosieniin (Ascomycota) kuului 17 %, piiskasiimasieniin (Chytridiomycota) 11 % ja entiseen yhtymäsienten kaareen (Zygomycota) kuului 3 % kaikista sekvensseistä. Seitikit (*Cortinarius*) oli yleisin sienisuku sekä laidunnetuilla että laiduntamattomilla aloilla, ja niiden osuus oli 31

% kaikista sekvensseistä ja 15 % kaikista OTU:ista. Sienisuvuista *Cortinarius*, *Suillus* ja *Rhizoscyphus* olivat yleisempiä laiduntamattomilla aloilla, kun taas *Lactarius* ja *Hydnellum* olivat yleisempiä laidunnetuilla aloilla. *Cortinarius*-suku voitiin määrittää myös lajitasolle asti, ja laidunnus vaikutti merkittävästi myös eri *Cortinarius*-lajien esiintymiseen.

Pintasienijuuria muodostavat sienet olivat yleisin sienten toiminnallinen ryhmä eikä laidunnus vaikuttanut merkittävästi niiden esiintymiseen. Kanervasienijuuria muodostavat sienet sekä saprotrofiset hajottajasienet olivat vähemmistönä, eikä laidunnuksen havaittu vaikuttavan myöskään näiden ryhmien esiintymiseen. Laidunnuksella ei myöskään havaittu vaikutusta sienten monimuotoisuuteen tai lajirikkauteen.

Porolaidunnuksen havaittiin vaikuttavan merkittävästi neulaskarikkeen solunulkoisiin entsyymiaktiivisuuksiin. CCA-analyysissä (Canonical Correspondence Analysis) porolaidunnus oli tärkein entsyymidataa selittävä tekijä. Hapan fosfataasi, ß-glukosidaasi, ß-ksylosidaasi ja ß-glukuronidaasi aktiivisuudet olivat korkeampia laidunnetuilla aloilla. Lakkaasi aktiivisuus taas oli korkeampi laiduntamattomilla aloilla.

Vaikka laidunnuksella ei havaittu olevan suoraa vaikutusta maaperän sieniyhteisön monimuotoisuuteen tai yhteisörakenteeseen, tarkemmat analyysit osoittivat kuitenkin että laidunnus vaikutti merkittävästi tiettyjen sienisukujen ja -lajien esiintymiseen. Laidunnus vaikutti merkittävästi myös orgaanisen aineksen hajotukseen liittyviin solunulkoisiin entsyymiaktiivisuuksiin sekä hajotuspotentiaaliin, indikoiden laidunnuksen aiheuttaneen pitkäaikaismuutoksia mikrobien kykyyn hajottaa karikeperäistä orgaanista ainesta.

**Kirjallisuus**

[1] Köster E, Köster K, Aurela M, Laurila T, Berninger F, Lohila A and Pumpanen J. 2013. Impact of reindeer herding on vegetation biomass and soil carbon content: A case study from Sodankylä, Finland. *Boreal Environment Research* 18:35–42.

[2] Köster K, Köster E, Kulmala L, Berninger F and Pumpanen J. 2016. Are the climatic factors combined with reindeer grazing affecting the soil $CO_2$ emissions in subarctic boreal pine forest? *Catena* DOI: 10.1016/j.catena.2016.06.011.

[3] Stark S, Männistö MK and Smolander A. 2010. Multiple effects of reindeer grazing on the soil processes in nutrient-poor northern boreal forests. *Soil Biology and Biochemistry* 42:2068–77.

[4] Brown RT and Mikola P. 1974. The influence of fruticose soil lichens upon the mycorrhizae and seedling growth of forest trees. *Acta Forestalia Fennica* 141:1–22.

[5] Schloss PD, Westcott SL, Ryabin T, Hall M *et al.* 2009. Introducing mothur: open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities. *Applied and Environmental Microbiology* 75:7537–41.

[6] Santalahti M, Sun H, Jumpponen A, Pennanen T and Heinonsalo J. 2016. Vertical and seasonal dynamics of fungal communities in boreal Scots pine forest soil of fungi in boreal forests. *FEMS Microbiolgy Ecology* 92:1–31.

# Väheneekö viljelymaiden hiilipitoisuus vai kasvaako se?

*Does the carbon content of Finnish agricultural soils decrease or increase?*

Markku Yli-Halla[1], Jaakko Heikkinen[2] ja Venla Jokela[3]

[1] Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
[2] Luonnonvarakeskus, 31600 Jokioinen
[3] Eurofins Viljavuuspalvelu Oy, Graanintie 7, 50100 Mikkeli

## Johdanto

Viljelymaan orgaanisen aineksen vähenemistä pidetään lähes itsestään selvänä asiana. Tämä ilmiö on yksi EU:n alueella maaperän tilaan ja toimintaan kohdistuvista uhkatekijöistä, ja aihetta on käsitelty Suomessakin useissa julkaisuissa. MTT:n valtaosin viljanviljelyssä olleilla pelloilla toteuttamassa seurannassa orgaanisen aineksen pitoisuus oli vähentynyt keskimäärin 26 % jaksolla 1960-1991 [1]. Laajemmassa seurannassa kivennäismailta arvioitiin poistuvan vuosittain 220 kg hiiltä peltohehtaarilta [2]. Ympäristökorvausjärjestelmässä typpilannoituksen enimmäistaso määräytyy kasvilajin ja maan multavuuden perusteella, ja maan hiilipitoisuuden säilyttämiseksi tehdään merkittäviä ympäristöpoliittisia päätöksiä. On tärkeää, että nämä päätökset perustuvat paikkansapitävään pohjatietoon.

## Aineisto ja menetelmät

Tässä selvityksessä tarkastellaan (Eurofins) Viljavuuspalvelu Oy:ssä v. 1961-85 ja 2001-15 tehtyjen multavuusmääritysten tuloksia julkaistujen 5 tai 10 vuoden yhteenvetojen [3, 4, 5] pohjalta. Vuosien 1986-2000 multavuustuloksia ei ollut käytettävissä. Määrityksiä on ollut 75 000 – 141 000 kpl vuodessa. Viljavuustutkimuksessa multavuusluokka määritetään aistinvaraisesti. Määrittäjät osallistuvat kuukausittain testiin, jolla määritystason pysyvyys varmennetaan. Tulosten paikkansapitävyys todetaan myös määrittämällä näytteiden orgaanisen aineksen pitoisuus aika ajoin hehkutuskevennyksenä. Multavuusmääritys on akkreditoitu (FINAS T096; SFS 17025). Tarkastelussa olivat valtakunnallisten jakaumien lisäksi entisten Kuopion ja Kymen läänien ja Farma-maaseutukeskuksen alueiden tulokset. Koko maan tuloksia verrataan MTT/Luken vuosina 1974, 1987, 1998 ja 2009 toteuttaman viljelymaiden tilan seurannan tietoihin maan hiilipitoisuudesta. MTT/Lukessa märkä- tai kuivapolttomenetelmällä määritetty hiilipitoisuus on muunnettu orgaanisen aineksen pitoisuuksiksi käyttäen kerrointa 1,732. Kyseisessä aineistossa oli aluksi 2012 näytepistettä, mutta määrä on pudonnut 611 pisteeseen. Kaikkiaan 594 samaa pistettä on ollut mukana kaikilla seurantakerroilla.

## Tulokset

Viljavuusanalyysissä eloperäisten maiden osuus on vähentynyt 40 vuodessa 27 %:sta 10 %:iin (Taulukko 1). Etenkin turvemaiden osuuden väheneminen on ollut jyrkkä: 11 %:sta 3 %:iin. Osa eloperäisten maiden vähenemisestä selittyy näiden maiden jäämisellä kokonaan pois viljelystä. Eloperäisiä maita on voinut myös siirtyä kivennäismaiden luokkiin, mikä on voinut muuttaa kivennäismaiden jakaumaa multavampaan suuntaan. MTT/Luken tulokset viittaavat kuitenkin siihen, että eloperäisten maiden muuttuminen kivennäismaiksi ei ole ollut mittavaa. Koko ajan mukana olleista pisteistä eloperäisten maiden osuus oli pienentynyt vain 19 %:sta 16 %:iin.

Viljavuusanalyysin valtakunnallinen jakauma osoittaa runsasmultaisten (rm) maiden osuuden kasvaneen. Farma-maaseutukeskuksen alueella rm-maiden osuus on noussut 29 %:sta peräti 70 %:iin. Muilla tarkastelluilla alueilla muutos oli samansuuntainen mutta pienempi. Alun perin suurin luokka, multavat maat, on pienentynyt 43 %:sta 32 %:iin, ja vähämultaisten maiden osuus on pysynyt kaiken aikaa hyvin pienenä. Multavuusluokkien nouseva trendi on ollut systemaattinen myös 2000-luvulla, jolloin käytännössä lähes koko peltoala on ollut

ympäristötuen ja viljavuusanalyysin piirissä. Viljavuusanalyysiin tulleiden näytteiden joukossa vähemmän eloperäistä ainesta sisältävien maiden osuus näyttää siis pienentyneen. MTT/Luken aineistossa (Taulukko 2) sen sijaan multavien maiden osuus on kasvanut ja rm-maiden pienentynyt. Aineistot ovat eriytyneet toisistaan varsinkin 2000-luvulla.

Miksi nämä kaksi aineistoa antavat erilaisen käsityksen multavuuden muutoksesta? MTT/ Luken tulokset perustuvat samojen peltojen pitkäaikaiseen seurantaan. Seurannan aikana yksivuotisten kasvien viljely on yleistynyt, mikä on voinut aiheuttaa havaittua hiilipitoisuuden vähenemistä [6]. Osittain väheneminen johtuu myös pellonraivauksen aiheuttamasta yhä jatkuvasta hiilikadosta [2]. Lisäksi seurantaverkosto ei alun perin ollut satunnainen, vaan seurantaan valitut pellot kasvoivat timoteitä, mikä mahdollisesti myös vaikuttaa jonkin verran tuloksiin. Viljavuusanalyysin maanäytteet ovat voineet painottua ainakin alkuaikoina enemmän viljanviljelyssä olleisiin peltoihin. Nurmipainotteiset alueet, joiden multavuus on oletettavasti suurempi, ovat voineet tulla viljavuusanalyysin piiriin kattavasti vasta Suomen EU-jäsenyyden ja ympäristötukijärjestelmän myötä. Myös siirtyminen kevennettyyn muokkaukseen voi johtaa vähittäiseen multavuusluokkien nousuun. – Jakautumien erot voivat osittain selittyä sillä, että viljavuusanalyysissä on eri jaksoilla ollut mukana eri peltoja. Lisäksi etupäässä nurmiviljelyssä olleiden peltojen multavuuden kehitys voi olla toisenlainen kuin peltojen, joiden viljelykasvivalikoima on monipuolisempi. Runsas eloperäisten lannoitteiden käyttö puolestaan johtaa erilaiseen multavuuden kehitykseen kuin väkilannoitteisiin perustuva kasvinravitsemus. Aineistojen ero on yllättävä ja vaatii lisäselvityksiä.

**Taulukko 1.** Viljavuuspalvelu Oy:ssä analysoitujen maanäytteiden multavuusluokat (% näytteiden määrästä) v. 1961-85 ja v. 2001-15. Erm = erittäin runsasmultainen

| Multavuusluokka | 1961-70 | 1971-75 | 1976-80 | 1981-85 | 2001-05 | 2006-10 | 2011-15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vähämultainen (0-3 %) | 6,9 | 2,1 | 1,4 | 3,3 | 1 | 1,2 | 1,0 |
| Multava (3-6 %) | 43,1 | 45,8 | 41,7 | 45,1 | 38,2 | 34,6 | 32,3 |
| Runsasmultainen (6-12 %) | 20,3 | 23,5 | 26,3 | 24,6 | 42,2 | 47,1 | 50,4 |
| Erm (12-20 %) | 3,1 | 6,2 | 7,5 | 8,7 | 6,4 | 6,4 | 6,4 |
| Multamaa (20-40 %) | 15,4 | 15 | 14,8 | 12,5 | 8,9 | 8,0 | 7,0 |
| Turvemaa (>40 %) | 11,2 | 7,5 | 8,3 | 5,8 | 3,4 | 2,6 | 2,8 |
| Näytteitä kpl | 833543 | 376775 | 508449 | 703810 | 582718 | 538115 | 488741 |

**Taulukko 2.** Luke/MTT:n viljelymaiden tilan seurannan maanäytteiden multavuusluokat (% näytteiden määrästä). Erm = erittäin runsasmultainen

| Multavuusluokka | 1974 | 1987 | 1998 | 2009 |
|---|---|---|---|---|
| Vähämultainen (0-3 %) | 3,1 | 4,6 | 7,4 | 6,6 |
| Multava (3-6 %) | 36,5 | 38,9 | 46,9 | 48,8 |
| Runsasmultainen (6-12 %) | 31,0 | 31,1 | 23,3 | 24,2 |
| Erm (12-20 %) | 6,8 | 5,8 | 6,3 | 4,8 |
| Multamaa (20-40 %) | 8,7 | 7,3 | 6,8 | 7,0 |
| Turvemaa (>40 %) | 14,0 | 12,3 | 9,3 | 8,7 |
| Näytteitä kpl | 2012 | 1363 | 720 | 611 |

## Kirjallisuus


[1] Erviö, R. 1995. Viljelymaan humuksen väheneminen kolmen vuosikymmenen aikana. MTT Tiedote 11/95: 1-12.

[2] Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V. & Regina, K. 2013. Global Change Biology 19: 1456-1469.

[3] Kurki, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. Viljavuuspalvelu Oy. 181 s.

[4] Kähäri, J., Mäntylahti, V. & Rannikko, M. 1987. Suomen peltojen viljavuus 1981-85. Viljavuuspalvelu Oy. 105 s.

[5] Eurofins Viljavuuspalvelu Oy. www.viljavuuspalvelu.fi/Tuloslaari/Tilastotiedot

[6] Steinmann, T., Welp, G., Holbeck, B. & Amelung, W. 2016. European Journal of Soil Science 67: 616-623.

# Nestemäisen kierrätysammoniumsulfaatin maatalouskäyttö

*The use of recycled liquid ammonium sulphate in agriculture*

Petri Kapuinen

Luonnonvarakeskus, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö, petri.kapuinen@luke.fi

Keskeisin maataloudessa käytettävä nestemäinen kierrätyslannoitevalmiste on ammoniumsulfaatti (AMS), koska sen tuottamiseen on olemassa teknologia ja rikkihappo on suhteellisesti edullisin pesuliuos. Käytettäessä pesuliuoksena rikkihappoa saadaan suhteellisen väkevä nestemäinen lannoitevalmiste, jota voidaan käyttää ainakin osana N-lannoitusta. Esimerkiksi Envor Biotech Oy:n tuottaman AMS:in pitoisuus on 35 %, jolloin siinä on 9 % typpeä ja 10,2 % rikkiä [1]. Käytettäessä AMS:ia ainoa N-lannoitteena S-lannoituksesta tulee tarpeettoman suuri, koska AMS:ssa S:n määrä on 1,15-kertainen N:n määrään nähden. Viljakasvien S-lannoitussuositukset ovat enimmillään 30 kg/ha [2]. Kevätviljoilla typpeä käytetään ympäristökorvauksen [3] ylärajoja noudatellen normisatotasolla 60 - 120 kg/ha viljalajista ja maan multavuudesta riippuen ja nurmilla 90 – 240 kg/ha niittokerroista ja maan multavuudesta riippuen.

AMS parantaa sellaisten tehoaineiden, jotka ovat heikkoja happoja, tehoa ja niistä keskeisin on glyfosaatti, jollain tehon parantuminen perustuu siihen, että ammoniumglyfosaatti tunkeutuu kasvin pinnan läpi paremmin kuin sen suolat muiden kationien (Ca, Mg, K, Na) kanssa [4 – 8]. Oikea annostus riippuu näiden kationien pitoisuudesta käytetyssä ruiskutusnesteessä. Oikea annos on noin 10 % eli noin 30 til.-% 35 %:sta AMS:ia. Tällöin hehtaarille tulevan määrä olisi 30 litraa 100 litran kokonaisnestemäärässä. Sen N-määrä, noin 3 kg/ha, ei ole oleellinen. Väkevämmillä seoksilla tehon paraneminen häviää. Tyypillinen käytännön sovellus on suorakylvöpelloilla ennen kylvöä tehtävä juolavehnän torjunta.

Tähkimisvaiheessa tehtyä lisälannoitusta käytetään vehnän valkuaispitoisuuden nostoon. Siinä yleensä noin 15 kg/ha sallitusta typenkäyttömäärästä säästetään annettavaksi vasta tähkimisvaiheessa. Muiden typpilannoitteiden, kuten urean ja ammoniumnitraatin on todettu sopivan tähän tarkoitukseen paremmin [9]. Lisäksi on tutkittu AMS:in levittämistä vedellä laimennettuna ennen kevätviljan kylvöä. Nestemäisen AMS:in voitaisiin levittää myös laimentamattomana kasvinsuojeluruiskulla. Oleellisimpia tutkimattomia alueita ovat nestemäisten lannoitevalmisteiden tai lannan väkevöiminen AMS:illa. Pintalevitystekniikoita käytettäessä siihen liittynee suuret ammoniakkitappiot. Lisäksi tutkimatta on AMS:in käyttö viljakasvustossa tehtävän rikkakasvien torjunnan yhteydessä sekä nurmilla ensimmäisen niiton jälkeen sellaisenaan. Näissä rikkakasvintorjunnoissa järkevin vaihtoehto on ruiskutusnesteen veden korvaaminen nestemäisellä AMS:illa. Tällöin tyypillinen nestemäärä (200 l/ha) tuottaa 18 kg/ha N-lannoituksen ja 20 kg/ha S-lannoituksen. Tämä on varsin sopiva S-lannoitus. Keskeinen selvitettävä asia on kuitenkin yhteensopivuus rikkakasvien torjunnassa käytettävien tehoaineiden kanssa. S-määrän perusteella nurmilla ensimmäisen niiton jälkeen käytettävä määrä on sama. Haluttaessa loppu N- tarve voidaan kattaa muulla nestemäisellä N-lannoitteella, kuten urea-ammoniumnitraatilla, tai vielä tarkoituksenmukaisemmin lietelannalla sijoitettuna niin, että myös 3. niiton N-tarve tulee tyydytettyä samalla kerralla. Keskeistä näissä kasvinsuojeluruiskulla tehdyissä käsittelyissä on se, että ne eivät aiheuta ylimääräisiä kustannuksia ja lisätyönmenekkiä aiheuttavaa ylimääräistä ajokertaa. Lisäksi kasvinsuojeluruiskulla tehtävä levitys on täsmällisempää kuin keskipakoislevittimellä tehtävä erityisesti lohkon reunoilla ja päisteissä. Näihin tutkimuksen aukkokohtiin pureudutaan vuoden 2017 alussa alkaneessa YM:n RAKI2-ohjelmaan kuuluvassa 3-vuotisessa hankkeessa Nestemäisten kierrätysravinteiden käyttö maataloudessa.

Vaikka AMS:illa katetaankin kasvinsuojelutoimenpiteiden yhteydessä melko pieni osuus yksittäisen hehtaarin N-lannoitustarpeesta, sen laajamittainen käyttö johtaisi joka tapauksessa siihen, että puhdistamolietettä ja biojätettä käsittelevien biolaitosten tuottama AMS ei edes riittäisi joka hehtaarille. Periaatteessa AMS:ia voitaisiin tuottaa myös lannasta, mutta se ei välttämättä ole tarkoituksenmukaista, koska lantaa voidaan käyttää peltolevityksessä lähes ilman erityisiä viljelyrajoituksia toisin kuin puhdistamolietettä sisältäviä lannoitevalmisteita käytettäessä. Lisäksi AMS:in tuottaminen pienissä biolaitoksessakaan sen itsensä takia ei yleensä ole kannattavaa. Täsmätyppi-hankkeessa N:n valmistuskustannukseksi saatiin 10,21 €/kg ilman työ- ja pääomakustannuksia [10]. Siinä kemikaalikustannukset lipeästä ja rikkihaposta ovat 57 %, lipeäkustannuksen ollessa hallitseva osuus, 82 %, kemikaalikustannuksista. N:n markkinahinta oli elokuussa 2016 noin 0,73 €/kg [11]. Teollisen mittakaavan tuotantokustannukseksi arvioidaan 4,10 €/kg N. Tuotanto on kannattavaa vain, jos typenpoistolla säästetään typen markkinahintaa vastaava osuus jätevesimaksuista, mikä ei ole maataloudessa lannan tapauksessa mahdollista.

Runsaasti AMS:ia sisältävät lannoitteet soveltuvat runsaasti nitraattityppeä sisältäviä lannoitteita paremmin olosuhteisiin, joissa liukoisen N:n huuhtoutuminen on runsaiden kevätsateiden takia runsasta kasvuston typenoton ollessa vielä hidasta [9]. Vastaavasti runsaasti nitraatti sisältävät N-lannoitteet toimivat kuivina alkukesinä paremmin nitrifikaation ollessa hidas. Runsaan AMS:in käytön mukana suuri S-annos ei alenna vehnäsatoa, mutta se potentiaalisesti haittaa sen seleeninsaantia. Tämän takia on tarkoituksenmukaista, että AMSin osuutta lannoituksessa rajoitetaan S-tarpeen mukaiseksi.

**Kirjallisuus**

[1] Envor 2014. Ammoniumsulfaatti. Tuoteseloste. Saatavissa:

http://envor.fi/yritys/tietoa/aineistopankki/ [Viitattu 8.10.2016]

[2] Yara 2009. Rikkilannoitus. Saatavilla:

www.farmit.net/sites/default/files/other/news/Rikkilannoitus.pdf [Viitattu 8.10.2016]

[3] VN 2015. Valtioneuvoston asetus ympäristökorvauksesta 235. Annettu Helsingissä 19. päivänä maaliskuuta 2015. [Viitattu 8.10.2016]

[4] Suwunnamek, U. & Parker, C. 1975. Control of Cyperus rotundus with glyphosate: the influence of ammonium sulphate and other additives. Weed Research, 15, 13-19

[5] Turner, D.J. & Loader, M.P.C. 1980. Effect of ammonium sulphate and other additives upon thephytotoxicity of glyphosate to Agropyron repens (L.) BeauvWeed Research. 1980, Volume 20, 139-146.

[6] O'Sullivani, P.A., O'Donovani, J.T. & Hamman, W.M. 1981. Influence of non-ionic surfactants, ammonium sulphate, water quality and spray volume on the phytotoxity of glufosate. Can. J. Plant Sci. 61: 391-400

[7] Hallgren, E. & Nillsson, J. 1989a. Bekämpning av kvickrot (Elymys repens) med Roundup (Glyfosat) och tillsatsmedel. Resultat från ett växthusförsök och ett fätförsök. Sveriges lantbruksuniversitet. 30:e svenska växtsyddskonferensen, Uppsala 1-2 februari 1989, Ogräs och ogräsbekämpning. Vol 1. Rapporter. Uppsala. 248-255.

[8] Hallgren, E. & Nillsson, J. 1989b. Inverkan av Roundup (Glyfosat) med och utan tillstasmedel på effecten mot kvickrot (Elymys repens) vid olika temperature. Ett klimatkammaerförsök. Resultat från ett växthusförsök och ett fätförsök. Sveriges lantbruksuniversitet. 30:e svenska växtsyddskonferensen, Uppsala 1-2 februari 1989, Ogräs och ogräsbekämpning. Vol 1. Rapporter. Uppsala. 257 – 265

[9] Kapuinen, P. & Ikäläinen, T. 2016 Biolaitoksen sivutuotteena syntyvä nestemäinen ammoniumnitraatti, ammoniumsulfaatti ja urea kevätvehnän lannoitteena. Maataloustieteen Päivät 2016, 12. - 13. tammikuuta 2016, Viikki, Helsinki. 7 s. Saatavilla: http://www.smts.fi/fi/node/154

[10] Ervasti, S. & Winquist, E. 2016. Typen erotus ja talteenotto lantaperäisistä nesteistä. . Maataloustieteen Päivät 2016, 12. - 13. tammikuuta 2016, Viikki, Helsinki. 6 s. Saatavilla: www.smts.fi/sites/smts.fi/files/MTP2016/ErvastiWinquist_2016.pdf

[11] MT 2016. Maaseudun Tulevaisuus 22.8.2016. Lannoitteiden hinnat. s. 7.

# Biohiilen vaikutus metsämaahan: hankkeen esittely ja alustavia tuloksia

*The effects of biochar on forest soil: project presentation and preliminary results*

Marjo Palviainen[1], Frank Berninger[1], Kajar Köster[1], Viktor Bruckman[2] ja Jukka Pumpanen[3]

[1] Metsätieteiden laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
[2] Commission for Interdisciplinary Ecological Studies, Austrian Academy of Sciences (ÖAW), 1010 Vienna, Austria
[3] Ympäristö- ja Biotieteiden laitos, Itä-Suomen yliopisto, PL 1627, 70211 Kuopio

## Johdanto

Biohiiltä muodostuu energian tuotannon sivutuotteena, kun biomassaa kuumennetaan pyrolyysiprosessilla vähän happea sisältävissä olosuhteissa. On esitetty, että biohiilen avulla voitaisiin varastoida maahan hiiltä ja hillitä ilmastonmuutosta, sillä biohiili sisältää aromaattisia hiilirengasrakenteita, jotka ovat hitaasti hajoavia [1, 2]. Biohiilen on havaittu lisäävän maan mikrobiologista aktiivisuutta, pH:ta, kationinvaihtokapasiteettia ja vedenpidätyskykyä [3]. Nämä muutokset voivat kiihdyttää maassa jo olevan vanhan orgaanisen aineen hajoamista [4]. Tämä voisi johtaa jopa siihen, että biohiilen lisääminen maahan vähentäisikin maan hiilivarastoa eikä lisäisi sitä. Toisaalta biohiili voi toimia maanparannusaineena ja mahdollisesti lisätä puuston kasvua ja sitä kautta hiilen sidontaa [5]. Biohiilen vaikutuksista metsäekosysteemeissä on vain vähän tietoa, sillä tutkimukset on tehty pääasiassa maatalousmailla. Tutkimme biohiilen vaikutusta metsämaassa Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiön rahoittamassa hankkeessa "Biohiilen käyttö maaperän laadun parantamisessa; voidaanko biohiilellä lisätä puuston kasvua ja maaperän hiilivarastoja". Hankkeen tavoitteena on 1) selvittää, miten biohiilen lisääminen vaikuttaa maan orgaanisen aineen hajoamiseen, puuston kasvuun ja hiilitaseeseen boreaalisissa metsissä sekä 2) tutkia, miten hiilen ja typen varastot ja virrat maaperässä ja kasvillisuudessa muuttuvat biohiilen lisäyksen jälkeen. Esitämme tässä hankkeen alustavia tuloksia ensimmäisen kasvukauden ajalta.

## Aineisto ja menetelmät

Perustimme tutkimusta varten 20 metsikkökoealaa Juupajoelle Hyytiälän metsäaseman lähelle toukokuussa 2015. Koealat ovat nuoria CT- ja VT-tyypin männiköitä, jotka ovat maalajiltaan lajittunutta karkeaa hiekkaa. Koealat (15 m x 15 m) perustettiin neljälle alueelle, joissa kullakin on viisi käsittelyä: kontrolli, jossa ei ole biohiiltä, 500°C tuotettua biohiiltä 0,5 kg $m^{-2}$, 500°C tuotettua biohiiltä 1,0 kg $m^{-2}$, 650°C tuotettua biohiiltä 0,5 kg $m^{-2}$ ja 650°C tuotettua biohiiltä 1,0 kg $m^{-2}$. Tutkimuksessa käytettiin kahdessa eri lämpötilassa tuotettua biohiiltä, sillä biohiilen pysyvyys maassa riippuu suurelta osin pyrolyysilämpötilasta [2]. Biohiili on valmistettu kuusihakkeesta ja se levitettiin tasaisesti maan pinnalle.

Muutoksia maaperän hiili- ja typpivarastoissa, pH:ssa ja kationinvaihtokapasiteetissa seurataan ottamalla kairanäytteitä (n=9) humuskerroksesta sekä kivennäismaasta (0–5 cm ja 5–15 cm syvyydestä). Maan orgaanisen aineen laatua tutkitaan FT-IR spektroskopian avulla. Maahengitystä mitataan kammioilla maahan asennetuista kauluksista (n=6) kahden viikon välein toukokuusta syyskuun loppuun [6]. Mikrobibiomassaan määrittämiseksi on otettu maanäytteet humuskerroksesta ja ylimmästä 10 cm kivennäismaakerroksesta (n=9) ennen biohiilen levitystä sekä biohiilen levittämisen jälkeen kesäkuussa, heinäkuussa ja elokuussa. Mikrobibiomassaan sitoutunut hiili ja typpi määritettiin kloroformi-fumigaatio uutolla [7]. Koealojen puuston pituuden ja läpimitan kasvua seurataan ja puuston hienojuurten tuotosta ja hiilen allokointia juuribiomassaan tutkitaan juurisukkamenetelmällä [8]. Lisäksi seurataan muutoksia typen mineralisaatiossa, biologisessa typen sidonnassa, mikrobiyhteisön koostumuksessa, maaveden laadussa sekä aluskasvillisuudessa.

## Tulokset ja tulosten tarkastelu

Ensimmäisen kasvukauden aikana maan lämpötila ja pH olivat biohiilikäsittelyissä korkeampia kuin kontrollikoealoilla. Mikrobibiomassaan sitoutuneet hiilen ja typen määrät eivät eronnet merkitsevästi biohiilikäsittelyjen ja kontrollialueiden välillä. Maahengitys oli merkitsevästi suurempi 1,0 kg $m^{-2}$ biohiilikäsittelyissä kuin muissa käsittelyissä. $CO_2$ vuot olivat alhaisimmat kontrollikoealoilla (868 mg $m^{-2}$ $h^{-1}$) ja korkeimmat koealoilla, jossa 500°C tuotettua biohiiltä oli lisätty 1,0 kg $m^{-2}$ (1024 mg $m^{-2}$ $h^{-1}$). Kun maan lämpötila ja kosteus otettiin maahengitystä selittävään malliin mukaan kovariaatteina, merkitsevät erot käsittelyjen välillä katosivat. Biohiilikoealojen lisääntynyt maahengitys johtui maan lämpötilan kohoamisesta, eikä maan kemiallisilla tai fysikaalisilla ominaisuuksilla ollut huomattavaa vaikutusta maahengitykseen. On todennäköistä, että biohiilen aiheuttama maan lämpötilan kohoaminen ja maahengityksen lisääntyminen jää lyhytaikaiseksi, sillä biohiili hävisi jo toisen kasvukauden aikana kehittyvän sammalkerroksen alle.

## Kirjallisuus


[1] Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and Environment* 5(7): 381–387.

[2] Ameloot, N., Graber, E.R., Verheijen, F.G.A. and De Neve, S. 2013. Interactions between biochar stability and soil organisms: review and research needs. *European Journal of Soil Science* 64: 379–390.

[3] Biederman, L.A. and Harpole, S.W. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta-analysis. *GCB Bioenergy* 5: 202–214.

[4] Liu, S., Zhang, Y., Zong, Y. Hu, Z., Wu, S., Zhou, J.I.E., Jin, Y. and Zou, J. 2015. Response of soil carbon dioxide fluxes, soil organic carbon and microbial biomass carbon to biochar amendment: a meta-analysis. *GCB Bioenergy* 8: 392–406.

[5] Thomas, S.C. and Gale, N. 2015. Biochar and forest restoration: a review and meta-analysis of tree growth responses. *New Forests* 46 (5): 931–946.

[6] Pumpanen, J., Kulmala, L., Lindén, A., Kolari, P., Nikinmaa, E. and Hari, P. 2015. Seasonal dynamics of autotrophic respiration in boreal forest soil estimated by continuous chamber measurements. *Boreal Environment Research* 20: 637–650.

[7] Brookes, P.C., Landman, A., Pruden, G. and Jenkinson, D.S. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 17: 837–842.

[8] Makkonen, K. and Helmisaari, H.-S. 1999. Assessing fine-root biomass and production in a Scots pine stand – comparison of soil core and root ingrowth core methods. *Plant and Soil* 210 (1): 43–50.

# Huokoisia keraameja matalaenergisillä prosessointimenetelmillä kaivosten rikastushiekoista

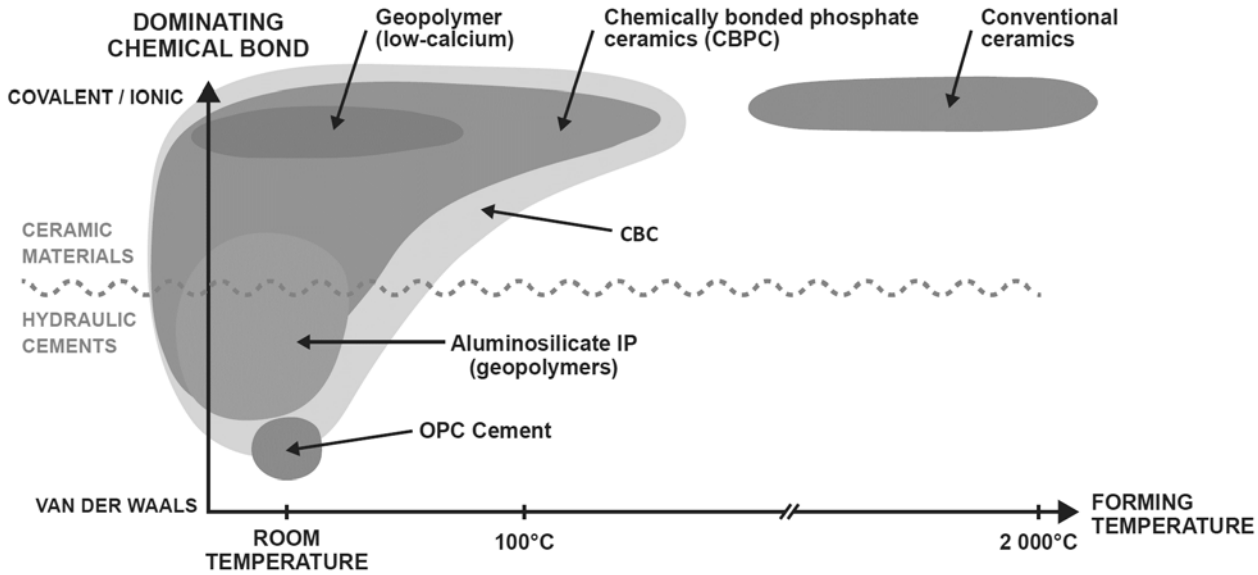
*Novel synthesis methods for advanced porous ceramics from mine tailings (CeraTail)*

Soili Solismaa[1], Marja-Liisa Räisänen[1], Mirja Illikainen[2], Päivö Kinnunen[2], Marjaana Karhu[3], Päivi Kivikytö-Reponen[3], Juha Lagerbom[3], Arnold Ismailov[4], Erkki Levänen[4]

**1** Geologian tutkimuskeskus (GTK), PL 1237, 70211 Kuopio
**2** Oulun yliopisto, PL 4300, 90014 Oulu
**3** Teknologian tutkimuskeskus (VTT), PL 1300, 33101 Tampere
**4** Tampereen teknillinen yliopisto (TTY), PL 599, 33101 Tampere

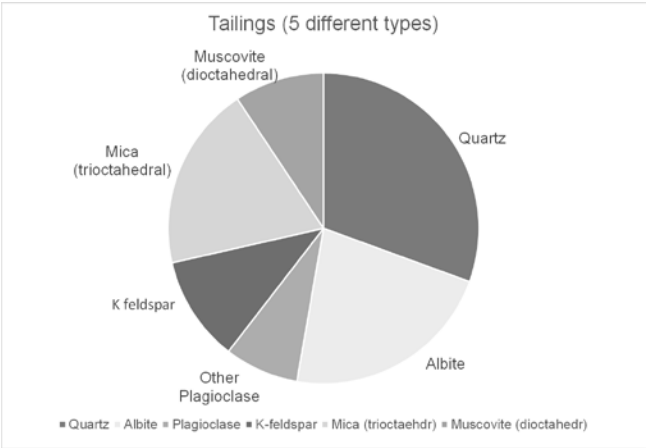
Kaivosjätteiden hyödyntäminen sekundäärisenä raaka-aineena on Euroopan komission keskeinen tavoite. Direktiivin 2006/21/EC toimeenpano on lisännyt kaivannaisteollisuuden paineita lisätä rikastushiekan hyötykäyttöä. Alhaisen arvon sovelluksia, kuten tiiliä ja muita rakennusmateriaaleja on valmistettu rikastushiekasta ja tutkittu laaja-alaisesti [1]. Teknisten keraamien tutkimus on ollut vähäistä, koska niiden raaka-aineille asettamat puhtausvaatimukset ovat huomattavasti korkeammat. Rikastushiekka on potentiaalinen raaka-aine huokoisen keraamin tekoon, koska niissä käytettävän materiaalin puhtausvaatimukset ovat matalammat, kuin muilla teknisillä keraameilla. Huokoisia keraameja käytetään teollisuudessa mm. suodattimina, eristeinä ja absorbentteinä.

Suomen Akatemian rahoittamassa CeraTail projektissa kuvataan aktiiviset, passiiviset ja haitalliset komponentit kolmelle erilaiselle keraaminmuodostusprosessille: geopolymerisoinnille, fosfaattikeraamin teolle ja sintraukselle. Sintraus tehdään korkeassa yli 1000 asteen lämpötilassa, mistä johtuen projektissa tutkitaan myös lämpöä tuottavien reaktioiden hyödyntämistä keraamintekoprosessissa. Geopolymeerien ja fosfaattikeraamien muodostuksessa kuumennusta ei välttämättä tarvita lainkaan (kuva 1). Merkittävin geopolymerisoinnin ja fosfaattikeraamin välinen ero on valmistuksessa käytettävä aktivaattori, joka on geopolymerisoinnissa emäksinen- ja fosfaattikeraamissa hapan liuos.




**Kuva 1.** Geopolymeerien, fofaattikeraamien (CBPC) ja sintraamalla valmistettavan keraamin (conventional ceramics) kuumennuslämpötilat.

Tutkimus aloitettiin laajalla kirjallisuuskatsauksella, jonka perusteella arvioitiin geopolymeerien ja fosfaattikeraamien teon kannalta potentiaalisimmat mineraalit ja mineraaliyhdistelmät rikastushiekoissa. Geopolymeerien valmistuksen kannalta potentiaalisia mineraaleja ovat mm. kiillemineraalit [2] ja maasälpäryhmän mineraalit [3], joita esiintyy runsaasti suomalaisissa rikastushiekoissa. Fosfaattikeraamin teossa mielenkiinnon kohteena ovat wollastoniitti- [4] ja apatiittirikkaat rikastushiekat. Kirjallisuuskatsauksen perusteella tutkimusten kohteeksi valittiin kahdeksan suomalaista rikastushiekkaa. Kuvassa 2. on esitetty keskiarvo viiden tutkitun rikastushiekan mineralogiasta.




**Kuva 2.** Keskiarvo viiden suomalaisen rikastushiekan mineralogiasta

Rikastushiekassa olevia muita mineraaleja voidaan yleensä hyödyntää keraamin täyteaineena, mutta mikäli muista mineraaleista todetaan olevan keraaminmuodostukselle haittaa, rikastushiekkoja voidaan jalostaa GTK:n mineraalitekniikan laboratoriossa. GTK:n vastuualueeseen CeraTail projektissa kuuluvat rikastushiekkojen geologian, geokemian ja mineralogian tutkiminen. Seuraavassa vaiheessa tutkitaan valmiiden keraamikappaleiden muuttumismineralogiaa ja selvitetään mitä mineraaleille tapahtuu erilaisissa keraamintekoprosesseissa.

**Kirjallisuus**

[1] Zhang L., 2013. Production of bricks from waste materials- A review. *Construction and Building Materials* 47: 643-655.

[2] Castro-Gomes, J.P., Silva, A.P., Cano, R.P., Durán Suarez, J., Albuquerque, A., 2012. Potential for reuse of tungsten mining waste-rock in technical-artistic value added products. *Journal of Cleaner Products* 25: 34–41.

[3] Xu, H., van Deventer, J.S., 2003. The effect of alkali metals on the formation of geopolymeric gels from alkali-feldspars. *Colloids Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects* 216: 27–44.

[4] Colorado, H.A., Wang, Z., Yang, J., 2015. Cement & Concrete Composites Inorganic phosphate cement fabricated with wollastonite, barium titanate, and phosphoric acid. *Cement and Concrete Composites*. 62: 13–21.

# Ruovikoiden ravinteet kiertoon: kokemuksia Ruokopelto-hankkeesta

*Nutrient recycling via Common Reed: experiences of the Reed Field -project*

Maria Yli-Renko[1] ja Eija Hagelberg[2]

[1] Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskus, PL 236, 20101 Turku
[2] Baltic Sea Action Group, JÄRKI-hanke, Ratakatu 1 B a 5, 00120 Helsinki

## Johdanto

Yksi Suomen rannikkoalueiden vakavimmista uhista on rehevöitymisen aiheuttama ranta-alueiden umpeenkasvu. Aiemmin ranta-alueita hyödynnettiin laajasti karjan laidunalueina ja niiltä kerättiin heinää talvirehuksi. Karjatalouden muutosten vuoksi rantalaiduntaminen on vähentynyt ja rantaniittyjen määrä on pudonnut. Samalla ranta-alueiden ravinne- ja kiintoainekuormitus on lisääntynyt. Valuma-alueilta tulevat ravinteet ja kiintoaines rehevöittävät vesiä ja rantoja, mikä osaltaan on johtanut kasvillisuuden runsastumiseen ja umpeenkasvuun. Rantojen rehevöitymisestä on hyötynyt erityisesti järviruoko, joka peittää rantoja jopa satojen hehtaarien laajuisina kasvustoina. Ruovikot hävittävät rantojen ja vesialueiden avoimuutta tarvitsevien eläin- ja kasvilajien elinympäristöjä, heikentävät veden laatua, lisäävät metaanipäästöjä, sulkevat maisemia, hankaloittavat rantojen virkistyskäyttöä sekä vähentävät rantakiinteistöjen arvoa. Yhtenä ratkaisuna tilanteeseen on järviruo'on hyötykäytön edistäminen, jolloin ranta-alueiden tarpeellisiin hoitotöihin saadaan lisää kiinnostavuutta ja kustannustehokkuutta. [1]

Ruokopelto-hankkeessa asiaan on lähdetty hakemaan ratkaisua ruo'on peltokäytön kautta, jossa järviruokoa käytetään peltojen maanparannusaineena ja viherlannoitteena, sillä peltolevityksen on todettu olevan yksi kustannustehokkaimmista ruovikkoalueiden hoito- ja käyttöketjuista leikkuusta kertyvälle biomassalle [1]. Lisäämällä eloperäistä ainetta kuten ruokobiomassaa peltoon voidaan maan mururakennetta parantaa. Ruokobiomassan levittäminen peltoon on monivaikutteinen toimenpide, jolla saadaan positiivisia ympäristövaikutuksia niin rantavesistöissä kuin pellon puolella, kun ravinteet kierrätetään vesistöstä takaisin peltoon parantaen samalla peltomaan rakennetta.

## Aineisto ja menetelmät

Hanke on hyvin käytännönläheinen ja tehdyt ruo'on levityskokeilut on tehty viljelykäytössä olevilla pelloilla. Ruoko on niitetty koepeltojen viereisiltä ranta-alueilta heinä-elokuussa vuosina 2015 ja 2016, ja se on levitetty kuivalannan levittimellä peltoihin noin kuukausi leikkuun jälkeen, syys-lokakuussa. Ennen levitystä ruoko on silputtu. Koepellot (5 kpl) on jaettu kahteen osaan, josta toiseen osaan on levitetty ruokoa (käsittely) ja toiseen osaan ei (kontrolli). Ruokosilpun vaikutusta peltomaahan mitataan sekä kemiallisin (viljavuusanalyysit) että biologisin (maaperän biologinen aktiivisuus) mittarein. Ennen levitystä ruokosilpusta otettiin lanta-analyysit, jotta voitiin arvioida silpun mukana peltoon menevien ravinteiden määrää. Lisäksi hankkeessa on testattu koneketjujen toimivuutta leikkuusta peltolevitykseen.

## Tulokset ja tarkastelu

Hankkeen kokeilujen aikana on todettu, että ruokosilpun levittäminen onnistuu normaalilla maatalouskoneistolla. Kuivalannan tarkkuuslevittimellä saataisiin todennäköisesti hieman tasaisempaa jälkeä eikä ruokosilppua tarvitsisi tasoittaa peltoon. Näin vältyttäisiin myös turhilta ajokerroilta pelloilla.

Ruokosilpun koolla on merkitystä sen sisältämille ravinteille. Mitä hienommaksi ruoko on silputtu, sitä suurempi on sen tilavuuspaino verrattuna karkeampaan silppuun. Tämä tulee

huomioida levitysmäärissä, sillä hienompi silppu sisältää kuutiota kohden enemmän ravinteita verrattuna karkeampaan. Työteknisesti sopiva levitysmäärä 10–15 cm pituista ruokosilppua on noin 80 $m^3$/ha. Tällöin ruokosilppua tulee maahan noin 5-7 cm paksu kerros ja se on muokattavissa maahan. Tällä levitysmäärällä ravinteita lisätään peltoon keskimäärin: 80 kg N/ha ja 11 kg P/ha.

Eloperäisen aineen merkitys viljavuudelle tiedostetaan. Ruokopelto-hankkeen kokemusten mukaan uudet ja innovatiiviset ratkaisut eri biomassojen hyötykäytölle viljelyssä kiinnostavat viljelijöitä, mutta lisää tutkimusta sekä tutkijoiden ja viljelijöiden yhteistyötä asian tiimoilta tarvitaan.

**Kirjallisuus**

[1] Ajosenpää, T. 2014. Suunnittelulla ja ruo'on hyötykäytöllä tehokkuutta rantojen hoitoon. Tuloksia ja kokemuksia VELHO-hankkeesta. *Varsinais-Suomen ELY-keskuksen raportteja 55/2014.* 112 s.

*Ruokopelto on kolmivuotinen hanke ja osa ympäristöministeriön ravinteiden kierrätystä edistävää ja Saaristomeren tilan parantamista koskevaa ohjelmaa (Raki-ohjelma). Hanke toteutetaan yhteistyössä Varsinais-Suomen ELY-keskuksen ja Baltic Sea Action Groupin JÄRKI-hankkeen kanssa.*

# Amending soils with sediment material from constructed wetlands increases phosphorus sorption

*Kosteikkosedimentin lisäys maahan edistää fosforin sorptiota*

Johanna Laakso[1], Risto Uusitalo[2], Markku Yli-Halla[1] and Janette Leppänen[1]

[1]Environmental Soil Science, Department of Food and Environmental Sciences, P.O. Box 27, FIN-00014 UNIVERSITY OF HELSINKI, Finland, johanna.m.laakso@helsinki.fi
[2]Natural Resources Institute Finland (Luke), Natural Resources and Bioproduction, FIN-31600 JOKIOINEN, Finland

**Abstract**

Sediment of constructed wetlands (CWs) is comprised of matter eroded from surrounding fields. This material is rich in aluminium (Al) and iron (Fe) (hydr)oxides that have a high affinity for phosphorus (P). Sediment material returned to fields could therefore affect soil P retention characteristics.

We incubated for three weeks a clay soil with a high soil test P (STP, 24 mg $P_{Ac}$ $l^{-1}$; extracted with pH 4.65 ammonium acetate buffer) and a sandy loam with excessive STP (210 mg $P_{Ac}$ $l^{-1}$) with increasing amounts of CW sediment: 0, 2, 5, 10 and 50% of the sample volume. After incubation, air-dried mixtures were shaken at 1:50 (w/vol) soil-to-solution ratio in water with increasing P content. Sorption-desorption curves were fitted to a modified Freundlich adsorption equation: $Q = a \times I^b - q$, where the parameters a, b and q are soil specific fitting constants. Concentration of P in bathing solution at which no net sorption or desorption occurs ($EPC_0$) was interpolated from the Q/I-plots.

Sorption affinity for P regularly increased with increasing the sediment share of the mixtures, the 0% sediment content having the lowest and 50% sediment content the highest P sorption. With 0% sediment application, the value of $EPC_0$ was 0.69 and 44.3 mg $l^{-1}$ for the clay soil and sandy loam, respectively. With 2-5% sediment amendment, the $EPC_0$ decreased 13-36% for the clay soil and 13-54% for the sandy loam. The 50% sediment mixtures had $EPC_0$ of 0.05 mg $l^{-1}$ for both soils. Amending the soils with sediment material would decrease P solubility and might at large application rates hamper P uptake by plants or, on the other hand, the sediment amendment in the soil might reduce P losses by runoff.

# SAVE – Savijoen peltojen kipsikäsittely

*SAVE – a large-scale gypsum experiment*

Petri Ekholm[1], Markku Ollikainen[2], Eliisa Punttila[2] ja Samuli Puroila[2]

[1] SYKE, petri.ekholm@ymparisto.fi
[2] Helsingin yliopisto, taloustieteen laitos

Maataloudesta peräisin oleva fosforikuormitus on laskenut vain vähän eikä nykyisin käytössä olevilla vesiensuojelumenetelmillä Suomen ole mahdollista yltää HELCOMin Itämeren suojelun toimintaohjelman mukaisiin päästövähennystavoitteisiin.

Saaristomeren vedenlaadun parantaminen peltojen kipsikäsittelyllä (SAVE) selvittää kipsin soveltuvuutta parantamaan Saaristomeren tilaa. SAVE kerää kokemuksia kipsin käytöstä laajalla alueella sekä tarkentaa aiempaa käsitystä kipsin vesistövaikutuksista. Hankkeessa toteutetaan laajamittainen kipsinlevityspilotti yhteistyössä viljelijöiden kanssa ja seurataan vaikutuksia vedenlaatuun. Tulosten pohjalta laaditaan suunnitelma kipsin käytölle Etelä-Suomen rannikkoalueilla ja ehdotus sen liittämiseksi osaksi maatalouden ympäristökorvausjärjestelmää.

Peltojen kipsikäsittelyllä on potentiaalia uudeksi, merkittäväksi keinoksi vähentää maatalouden fosforihuuhtoumaa Itämereen. Levitys on viljelijälle helppoa, ja vaikutukseltaan toimenpide on nopea ja tehokas. Kipsi parantaa peltomaan ionivahvuutta ja vähentää siten eroosiota ja fosforin huuhtoutumista vesistöihin. Aiempien tulosten mukaan kipsi voi vähentää pelloilta tulevan fosforikuormituksen noin puoleen, muttei edellytä muutoksia viljelykäytännöissä, vähennä viljelyalaa tai heikennä satoja.

Kipsiä levitettiin loppukesällä–syksyllä 2016 yli 1500 peltohehtaarille Savijoen keskijuoksulla. Savijoen yläjuoksu jätettiin vertailualueeksi, jolla kipsiä ei käytetty. Savijoen vedenlaatua seurattiin automaattisin anturein sekä perinteisellä näytteenotolla Kipsin vaikutusta maaperään ja satoon selvitettiin systemaattisen otannan avulla. Syksy 2016 oli poikkeuksellisen kuiva, mikä helpotti kipsin levitystä, mutta toisaalta hankaloitti kipsin tehon arviointia, koska myös valumat olivat vähäisiä. Syksyn 2016 tulosten mukaan niin maa-ainekseen sitoutuneen kuin liuenneen fosforin sekä liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuudet olivat kipsinlevitysalueella alhaisempia kuin vertailuvaluma-alueella. Tutkimus jatkuu vuoteen 2018 saakka.

# Glyfosaatti lounaissuomalaisilla suorakylvö- ja kyntömailla

*Glyfosate in no-till and ploughed fields in southwestern Finland*

Jaana Uusi-Kämppä

Luke, Luonnonvarat ja biotuotanto, Tietotie 4, 31600 Jokioinen, (*jaana.uusi-kamppa@luke.fi*)

## Johdanto

Glyfosaatti eli N-(fosfonometyyli)glysiini (C3H8NO5P) on totaaliherbisidi, jota käytetään kaikkien vihreiden kasvien, etenkin juolavehnän sekä heinämäisten ja syysitoisten rikkakasvien torjuntaan. Suomessa se on ollut käytössä vuodesta 1976 asti. Sen käyttö on jatkuvasti kasvanut, ja vuonna 2015 sen myyntimäärä oli 859 tehoainetonnia. Peltoviljelyn lisäksi glyfosaattia käytetään metsätaimitarhoilla, kaupunkiympäristöissä ja kotipuutarhoissa.

Glyfosaatti on hyväksytty Suomessa rikkakasvien torjuntaan. Käyttöä puolustetaan kustannustehokkuudella, sillä se tehoaa kaikkiin rikkakasveihin yleensä kertakäsittelyllä, ja valmisteet sekä levitysvälineet ovat halpoja. Peltoviljelyssä pääkohteena on juolavehnän torjunta. Käsittely tapahtuu tyypillisesti syksyllä puinnin jälkeen sänkeen tehtävällä ruiskutuksella. Suorakylvöpeltoja voidaan käsitellä glyfosaatilla myös keväällä ennen kylvöä tai kylvön jälkeen. Suomessa on lupa käyttää glyfosaattivalmisteita rikkakasvien torjuntaan myös ennen puintia rehuohralla ja -kauralla sekä rypsillä ja rapsilla, mutta ei siemen- tai leipäviljakasvustoihin. Lukessa tehtiin syksyllä 2015 esikoe, jossa käsiteltiin sekä ohra- että kaurakasvustoa glyfosaattivalmisteella ennen puintia (Rämö, 2016). Jyvissä glyfosaattijäämät jäivät alle 20 mg/kg, mikä on EU:n elintarvikekäyttöön asettama suurin sallittu glyfosaattipitoisuus (MRL-arvo) kauralla ja ohralla. Lajittelujätteistä mitattiin suurempia pitoisuuksia (16 ja 34 mg/kg). On myös keskusteltu, kulkeutuuko lantaan ja sen mukana pellolle glyfosaattia, kun karjan ruokinnassa käytetään glyfosaattijäämiä sisältävää rehua.

Glyfosaatin toiminta perustuu aminohapposynteesiin tarvittavan entsyymin toiminnan estämiseen. Koska vain kasvit sekä tietyt bakteerit ja sienet tuottavat kyseistä entsyymiä, glyfosaattia on pidetty vaarattomana eläimille. Epäilyjä on kuitenkin glyfosaatin haitallisista vaikutuksista maaperämikrobistoon ja siten myös tuotantokasveille. Hiljattain julkistetun itävaltalaistutkimuksen mukaan glyfosaatia sisältävän valmisteen todettiin laboratorio-oloissa vähentävän kastelierojen aktiivisuutta sekä kaste- ja peltolierojen lisääntymismenestystä.

Glyfosaatin karsinogeenisuus on ollut kiistelty aihe vuosia. Maailman terveysjärjestön (WHO) alainen Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos IARC (2015) luokitteli glyfosaatin todennäköisesti ihmiselle syöpävaaralliseksi (IARC:n luokitus 2A) toisaalta Euroopan elintarvikevirasto (EFSA) päätyi (11/2015) siihen, että glyfosaatti ei aiheuta ihmiselle syöpävaaraa. Euroopan kemikaalivirasto (ECHA) valmistelee omaa arviotaan glyfosaatista. Glyfosaatin hyväksyminen tehoaineena on jo useamman kerran saanut jatkoaikaa EU:ssa. Nykyinen hyväksyntä päättyy vuoden 2017 lopussa, johon mennessä päätös glyfosaatin syöpävaarallisuusluokituksesta pitäisi olla käytössä.

Glyfosaatti sitoutuu maahan vahvasti, mikä vähentää sen huuhtoutumista pinta- ja pohjavesiin. Glyfosaatin kulkeutumista valumavesien mukana ja sitoutumista savimaahan on tutkittu Luken koordinoimissa hankkeissa Glyfosaatin käytön aiheuttamat ympäristöriskit: aineen kulkureitit savimaalla ja päätyminen vesistöön (GlyFos 2011–2014) ja Glyfosaatin ympäristökuormituksen vähentäminen (GlyFos II 2016–2018).

**GlyFos-hankkeen tuloksia**

Glyfosaatti saattaa säilyä pitkään suomalaisessa savimaassa varsinkin syksyllä tehdyn ruiskutuksen jälkeen. Kotkanojan huuhtoutumiskentältä otetuissa kyntökerroksen maanäytteissä suorakylvölohkolla glyfosaatin ja AMPAn pitoisuudet olivat suurempia kuin syksyllä kynnetyllä lohkolla (Petruneva 2015). Tämä selittynee suurelta osin sillä, että suorakylvölohkoja jouduttiin käsittelemään glyfosaattia sisältävillä valmisteilla useammin kuin kyntölohkoja. Maan kyntäminen syksyllä ja muokkaaminen keväällä auttoivat pitämään juolavehnäkasvustoja paremmin kurissa kuin suorakylvö, jossa maata ei muokata. Suorakylvössä suurimmat pitoisuudet mitattiin maan pintakerroksesta (0–2,5 cm), ja ne laskivat syvempiin kerroksiin mentäessä. Kyntömaalla glyfosaatti ja AMPA sekoittuivat tasaisesti kyntökerrokseen (22 cm). Maasta löytyneet jäämät (1.04–2.70 kg/ha) olivat suuria verrattuna vuosittain ruiskutettuihin glyfosaattimääriin (1,1–2,0 kg/ha). Yleensä maassa oli enemmän AMPAksi hajonnutta glyfosaattia kuin hajoamatonta glyfosaattia.

Valumavesissä glyfosaatin (5–35 µg/l) ja AMPAn (0,5–4,5 µg/l) keskimääräiset pitoisuudet olivat korkeita 2012 syyskuun lopulla tehdyn ruiskutuksen jälkeen. Suuriin pitoisuuksiin oli syynä myöhäinen ruiskutusajankohta sekä käsittelyn jälkeinen suuri sademäärä. Pitoisuudet eivät kuitenkaan ylittäneet ruotsalaisten myrkyllisyystesteihin perustuvaa raja-arvoa 100 µg/l. Suorakylvössä esiintyi suurempia pitoisuuksia kuin kynnetyllä maalla. Yleensä pintavalunnan pitoisuudet olivat suurempia kuin salaojavalunnan, jos maata ei muokattu. Tästä huolimatta myös salaojavalunnan mukana kulkeutui paljon glyfosaatti- ja AMPA-jäämiä, koska salaojavalunnan osuus oli suuri kokonaisvalunnasta.

Tulokset herättivät keskustelun myös viljelijöiden keskuudessa glyfosaatin käyttäytymisestä savimaillamme. Niin käynnistyi jatkohanke (GlyFos II), jossa Luke selvittää maan glyfosaatti- ja AMPA-pitoisuuksia viljelijöiden suorakylvö- ja kyntölohkoilla.

**GlyFos II -hankkeen esittely**

Noin 20 lounaissuomalaiselta peltolohkolta on otettu maanäytteitä (0–2,5 cm ja 2,5–25 cm) keväällä 2016, vuorokausi keväällä tai syksyllä tehdyn käsittelyn jälkeen sekä marraskuun alussa. Peltomaan lisäksi näytteitä otettiin pohjavesialueella sijaitsevan Suonenjoen metsätaimitarhan ympäristöstä. Näytteistä määritetään glyfosaatin ja AMPAn pitoisuudet, ja niitä verrataan aikaisemmin Kotkanojan huuhtoutumiskentällä mitattuihin pitoisuuksiin. Syke hyödyntää mallinnuksessa koealueilta saatuja tuloksia. Lisäksi Ruissalossa Turun yliopiston puutarhassa on koe, jossa kasvatetaan rypsiä, kauraa, härkäpapua ja perunaa. Osa alasta on käsitelty glyfosaattivalmisteella ennen kylvämistä tai istutusta. Kokeessa selvitetään maassa olevan glyfosaatin epäsuoria vaikutuksia kasveihin ja ei-kohde-eliöihin. Lisätietoa GlyFos II -hankkeesta löytyy nettisivuilta https://www.luke.fi/projektit/glyfos-ii/.

**Kirjallisuus**

[1] Rämö, S. 2016. Viljakasvuston glyfosaattiruiskutus ennen sadonkorjuuta. *Kasvinsuojelulehti* 3/2016:

[2] Petruneva, E. 2015. *Comparison of glyphosate transport in clay soil on no-tilled and autumn ploughed plots. Master's thesis*. University of Helsinki, Department of Agricultural Sciences, Environmental Engineering in Agriculture.

[3] Uusi-Kämppä ym. Determination of glyphosate and AMPA: their transport to watercourses from untilled and ploughed clay soil. (Käsikirjoitus).

# Sienijuuresta kertova suomenkielinen kirja ilmestyy pian

*A book about mycorrhiza will soon appear in Finnish*

Mauritz Vestberg

Vihreä teknologia, Antinniementie 1, 41330 Vihtavuori

**Mitä on sienijuuri?**

Sienijuuri on sienen ja kasvin juuren muodostama toiminnallinen yhteisrakenne (juuri + sieni). Kasvi ja sieni elävät symbioosissa keskenään. Tästä hyötyvät molemmat osapuolet. Sienijuurisymbioosi on ekosysteemipalvelu, joka esiintyy luonnon ja viljellyissä kasveissa sekä metsän puissa. Yli 90 % maalla elävistä kasveista muodostaa sienijuuren. Sienijuurella on suuri merkitys sekä kasvien että ympäristön hyvinvoinnille, mutta näitä vaikutuksia tiedostetaan heikosti. Sienijuurisienten tärkein ominaisuus on niiden kyky ottaa ravinteita maasta ja luovuttaa niitä isäntäkasvilleen. Sienet ottavat erityisesti fosforia ja typpeä, mutta myös kasvin kaliumin, sinkin ja kuparin sekä raudan otto lisääntyy sienijuurisymbioosin ansiosta. Sienijuurellinen kasvi sietää myös äärioloisuhteita sienijuuretonta kasvia paremmin. Sienijuuri lisää kasvien vastustuskykyä maalevinteisiä kasvitauteja ja ankeroisia vastaan. Sienten muodostama rihmasto on bakteerien kanssa tärkeä maan mururakennetta ylläpitävä tekijä. Sienijuurisymbioosin paremmalla huomioonottamisella on selkeä positiivinen vaikutus kaikenlaisiin ekosysteemeihin ja ympäristöön.

**Suomenkielinen sienijuurikirja tekeillä**

Suomessa on suuri joukko päteviä sienijuuritutkijoita eri yliopistoissa ja tutkimuslaitoksilla, mutta suomenkielistä sienijuurikirjaa ei ole tähän mennessä julkaistu. Maj ja Tor Nesslingin apurahan turvin suunniteltiin ja aloitettiin vuonna 2014 uuden sienijuurikirjan kirjoittamisen. Sen jälkeen kirjan sisältö on täsmentynyt, teksti on laadittu ja kirjaan tuleva runsas kuvamateriaalikin on valittu. Kirjaan tulee myös runsaasti käsin tehtyjä piirroksia. Kirjan lopullinen sivumäärä on noin 200 – 250. Kirjoittajia on yhteensä 17, jotka edustavat Luonnonvarakeskusta, Helsingin, Oulun, Itä-Suomen ja Jyväskylän yliopistoja sekä Lappeenrannan teknillistä yliopistoa. Olemme pyrkineet kirjoittamaan yleiskielellä. Tulevan kirjan nimi on ”RIHMAN KIERTÄMÄT - kasvien ja sienten erottamaton elämä.” Nimi viittaa sienijuuririhmaston tärkeään merkitykseen kasvien juuristovyöhykkeellä maassa.

# Mistä syntyvät kuntasi kasvihuonekaasupäästöt – tarkista ESLab kuntien kasvihuonekaasulaskurilla

*ESLab: Land use-related and anthropogenic greenhouse gas emissions and sinks at the municipal level*

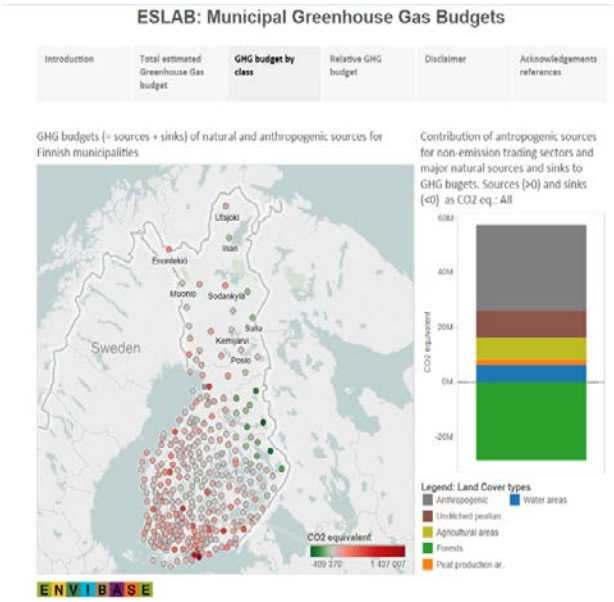
Pekka Vanhala[1], Maria Holmberg[2] ja Saku Anttila[3]

[1] Suomen ympäristökeskus SYKE, pekka.vanhala@ymparisto.fi
[2] Suomen ympäristökeskus SYKE, maria.holmberg@ymparisto.fi
[3] Suomen ympäristökeskus SYKE, saku.anttila@ymparisto.fi

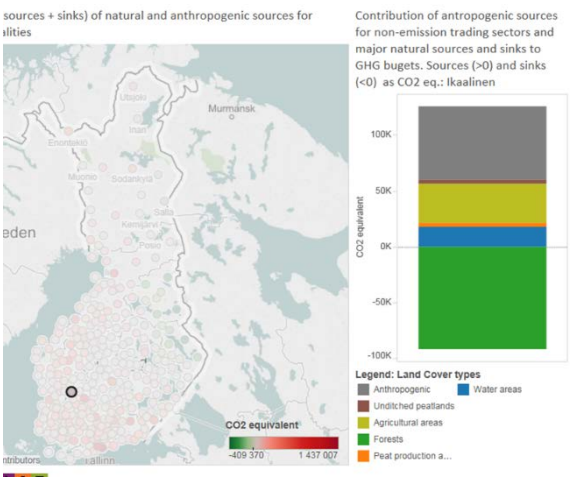
Kuntien ilmastovaikutukset riippuvat ihmistoiminnan lisäksi myös luonnon päästölähteistä ja nieluista, kuten metsien puustosta ja maaperästä, soista, vesistöistä ja pelloista. ESLab kuntien kasvuhuonekaasulaskurilla voi jokainen tarkastella oman kuntansa päästölähteitä ja hiilen nieluja. Laskuri selvittää miten kuntasi sijoittuu muiden kuntien joukossa esim. asukasta kohden lasketuissa kokonaispäästöissä.

Laskurilla voi tarkastella kuntakohtaisia tai laajempien alueiden kasvihuonekaasutaseita. Laskennassa sovelletaan kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa käytettyjä laskentamenetelmiä, jotka on viety kuntatasolle. ESLab kasvihuonekaasutaselaskenta on osa ekosysteemipalvelujen virtuaalilaboratoriota, joka tarjoaa helppokäyttöisiä työkaluja ekosysteemien tarkasteluun.

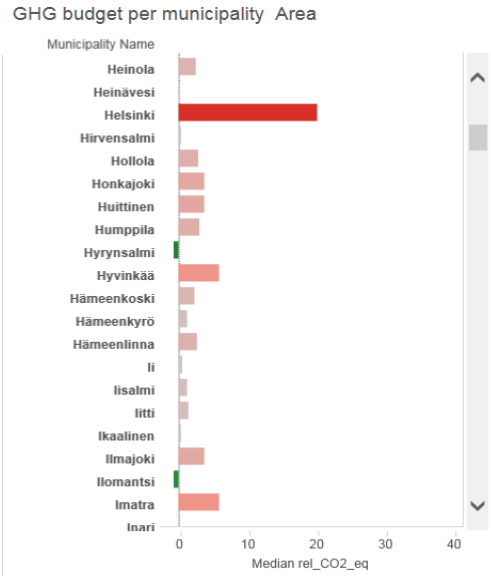
Laskurissa esitetään kuntien kasvihuonekaasujen päästöt ja nielut laskettuna kohti kuntaa, hehtaaria tai asukasta. Eri kasvihuonekaasut on esitetty vertailukelpoisesti CO2-ekvivalentteina. Suuret kaupungit osoittautuvat merkittäviksi päästölähteiksi kun taas runsasmetsäiset kunnat ovat vähäpäästöisiä johtuen metsien suuresta hiilinielusta. Kun tarkastellaan päästöjä asukasta kohden, suuret kaupungit eivät enää erotu erityisinä päästölähteinä ja harvaanasutut metsäiset kunnat toimivat hiilen nieluina. Toisaalta kunnat, joissa on paljon soita ja peltoja mutta vähän metsää, näyttäytyvät luontopäästöistä johtuen merkittävinä päästölähteinä.

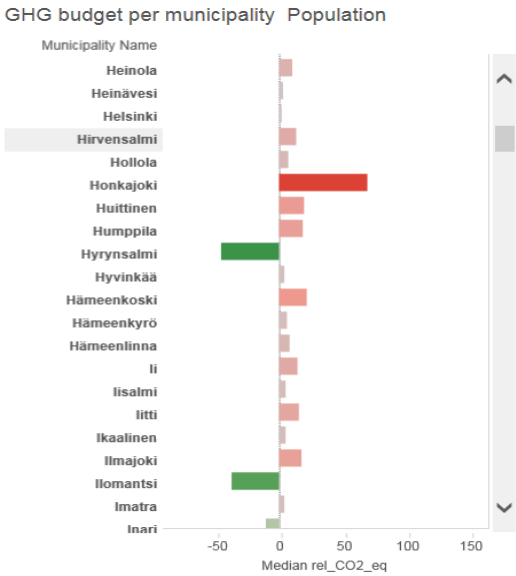



Kuntien kasvihuonekaasutaseet




Yksittäisen kunnan kasvihuonekaasutase




Kasvihuonekaasutase pinta-alaa kohden

Kasvihuonekaasutase asukasta kohden

Tulokset auttavat kuntia ilmastotavoitteidensa suunnittelussa. Laskentatuloksista käy ilmi metsien merkitys hiilen sitomisessa ja ilmastonmuutoksen hillinnässä. Metsien suureen hiilinieluun voidaan vaikuttaa tehokkaasti metsien käsittelyllä ja varmistaa hiilinielun säilyminen. Sitä vastoin vesistöjen, peltojen ja soiden päästöihin vaikuttaminen on vaikeampaa.

**Linkki palveluun**

http://wwwd3.ymparisto.fi/d3/test_services/ESLab/ESLab_test_and_demo_service.html

**Kirjallisuus**

Vanhala, P., Bergström, I., Haaspuro, T., Kortelainen, P., Holmberg, M., & Forsius, M. (2016). Boreal forests can have a remarkable role in reducing greenhouse gas emissions locally: Land use-related and anthropogenic greenhouse gas emissions and sinks at the municipal level. Science of The Total Environment, 557, 51-57. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.040

Haaspuro, T. (2013). LUONNIKAS-laskentatyökalu kunnille luontoperäisten kasvihuonekaasujen nielujen ja lähteiden arviointiin. In Finnish. Novia publikation och produktion, series A. Yrkeshögskolan Novia, Fabriksgatan 1, Vasa, Finland. ISBN: 978-952-5839-75-3. Available from on https://www.novia.fi/dmsdocument/40 Accessed May 2016

# Hevosenlannan varastoinnin päästöt ilmakehään

*Atmospheric emissions from the storage of horse manure*

Marja Maljanen[1], Zafar Gondal[1] ja Hem Raj Bhattarai[1]

[1]Ympäristö- ja biotieteiden laitos, Itä-Suomen yliopisto

## Johdanto

Hevosten lukumäärä harrastustoiminnan kasvusta johtuen on lisääntynyt Suomessa sekä muualla EU:n alueella. Nykyinen Suomen hevosmäärä tuottaa yli $10^6$ $m^3$ lantaa vuosittain, josta pieni osa jää laitumille kesän aikana mutta vuosittain talleista kerätään noin 770 000 $m^3$ lantaa, joka pääosin käytetään lannoitteena pelloilla [1]. Tällä hetkellä uusia talleja perustetaan erityisesti Etelä-Suomeen kaupunkialueelle, jossa lannan peltolevitys ei ole mahdollista ja lannan hävityksestä aiheutuu suuret kulut talliyrittäjille. Lantaa joudutaan siis varastoimaan tallialueilla ennen poiskuljetusta, jolloin typpeä voi huuhtoutua lantakasoista. Tämä on estettävissä rakenteilla, mutta typpeä voi karata myös kaasumaisina yhdisteinä mm. ammoniakkina ($NH_3$), dityppioksidina ($N_2O$) ja typpimonoksidina (NO) ja typpihapokkeena (HONO) [2, 3]. Näistä kaasuista ammoniakki muuttaa maan typpitasapainoa ja ilmakehässä se reagoi muodostaen aerosoleja, jotka vaikuttavat ilmanlaatuun. Dityppioksidi puolestaan on hiilidioksidiin verrattuna noin 300 kertaa tehokkaampi kasvihuonekaasu, lisäksi se voi hajottaa yläilmakehän otsonia. Typpimonoksidi ei ole varsinainen kasvihuonekaasu, mutta se aiheuttaa maaperän happamoitumista koska reagoidessaan hapen ja veden kanssa muodostaa typpihappoa. Typpihapoke (HONO) on merkittävä hydroksyyliradiakaalien (OH) lähde, jotka puolestaan puhdistavat ilmakehää mm. hapettamalla kasvihuonekaasu metaania, siten se on ilmastoystävällinen kaasu. Lannasta vapautuu myös muita kasvihuonekaasuja kuten metaania ja hiilidioksidia sekä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC). Näistä hevosenlannan suorista päästöistä ei kuitenkaan ole julkaistuja tuloksia. Tässä tutkimuksessa selvitimme $N_2O$-, NO-, HONO-, hiilidioksidi- sekä metaanipäästöjen suuruutta ja sitä miten lannan varastointiaika vaikuttaa päästöihin.

## Aineisto ja menetelmät

Mittasimme laboratorio-olosuhteissa eri-ikäisistä näytteistä (tuore, pari kuukautta varastoitu ja yli vuoden varastoitu hevosenlanta) $N_2O$-, NO-, HONO-, hiilidioksidi- ($CO_2$) sekä metaani- ($CH_4$) päästöjä. Näytteet kerättiin Kuopion lähellä sijaitsevalta tallilta. Tuoreet näytteet (alle 12h) kerättiin aamulla suoraan karsinoista ja vanhemmat näytteet eri-ikäisistä katoksen alla sijaitsevista lantakasoista keväällä 2016. Kaasupäästöjen mittaus tapahtui laboratoriossa (+20$^o$C). Näytteet punnittiin PVC renkaisiin (ø 18 cm) ja kaasupäästöjen mittaukset tehtiin käyttäen teflonkammiota. $N_2O$-, $CO_2$- ja $CH_4$-päästöt mitattiin staattisella kammiomenetelmällä ja näytteet analysoitiin kaasukromatografilla (Agilent). NO- ja HONO-päästöt mitattiin dynaamisen kammion menetelmällä ja kaasupitoisuudet määritettiin NO- (Thermo) ja HONO- (LOPAP) analysaattoreilla.

## Tulokset ja tarkastelu

Hevosenlannan $N_2O$-, NO-, HONO-päästöt kasvoivat selvästi varastointiajan mukaan, tuoreen lannan päästöt olivat pienimmät. Keskimääräiset HONO-päästöt lannasta olivat välillä 2.9 - 14 ng N kg $dw^{-1}h^{-1}$ ja NO-päästöt välillä 51 - 3000 ng N kg $dw^{-1}h^{-1}$ (laskettuna lannan kuivapainoa kohti). Korkeimmat $N_2O$-päästöt (20.3 µg N kg $dw^{-1}$ $h^{-1}$) mitattiin myös vanhimmasta, yli vuoden varastoidusta näytteestä. Metaani- ja hiilidioksidipäästöt sen sijaan pienenivät varastoinnin aikana. Osa vanhimmista näytteistä jopa kulutti ilmakehän metaania (mikrobiologinen metaanin hapetus). Tulosten perusteella voimme sanoa, että hevosenlannan $N_2O$-, NO-, HONO-päästöt kasvavat lantakasoissa varastoinnin aikana, joka mikä ilmeisimmin johtuu kiihtyneestä typen mineralisaatiosta ja nitrifikaatiosta, tämä näkyi myös varastoinnin aikana kohoavissa nitraattipitoisuuksissa. Typeksi laskettuna em. typpikaasuista dityppioksidin

päästöt olivat suurimmat, joten esimerkiksi HONO-kaasun päästöt eivät kompensoi dityppioksidin kasvihuonekaasuvaikutusta. Nämä huomattavan suuret typpipäästöt pitäisi huomioida suunniteltaessa ympäristöystävällistä hyötykäyttöä hevosenlannalle ja laskettaessa esim. hevosenlannan energiakäytön elinkaarianalyysiä.

**Kirjallisuus**

[1] Manninen, K., Grönroos, J., Luostarinen, S. ja Saastamoinen, M. 2016. Hevosenlannan energiakäytön ympäristövaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 30/2016. Luke Luonnonvarakeskus. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/535278/luke-luobio_30_2016.pdf?sequence=1

[2] Maljanen M., Martikkala, M., Koponen, H.T., Virkajärvi, P. & Martikainen, P.J. 2007. Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from experimental excreta patches in boreal agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 914–920.

[3] Maljanen, M., Yli-Pirilä, P., Hytönen, J., Joutsensaari, J. & Martikainen, P.J. 2013. Acidic northern soils as sources of atmospheric nitrous acid (HONO). *Soil Biology and Biochemistry* 67: 94–97.

# Eri hakkuumenetelmien vaikutukset kuusikoiden ja männiköiden emäskationibudjetteihin – simulointiin perustuva kestävyystarkastelu

*Impacts of harvesting practice on base cation budgets of coniferous stands in Finland – a sustainability study*

Päivi Merilä[1], Mike Starr[2], Brandon Stephens[2], Antti-Jussi Lindroos[3], Tiina Maileena Nieminen[3], Pekka Nöjd[3], Kirsti Derome[1] ja Liisa Ukonmaanaho[3]

[1]Luonnonvarakeskus (Luke), Oulu
[2]Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos
[3]Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki

## Johdanto

Simuloimme päätehakkuun vaikutuksia emäskationibudjetteihin (kalsium $Ca^{2+}$, kalium $K^{+}$, magnesium $Mg^{2+}$) kuusikoissa ja männiköissä kiertoajan kuluessa. Tarkastelussa oli mukana kolme eri skenaariota: runkopuuhakkuu (SOH), kokopuuhakkuu (WTH) ja kokopuuhakkuu + kannonnosto (WTHS).

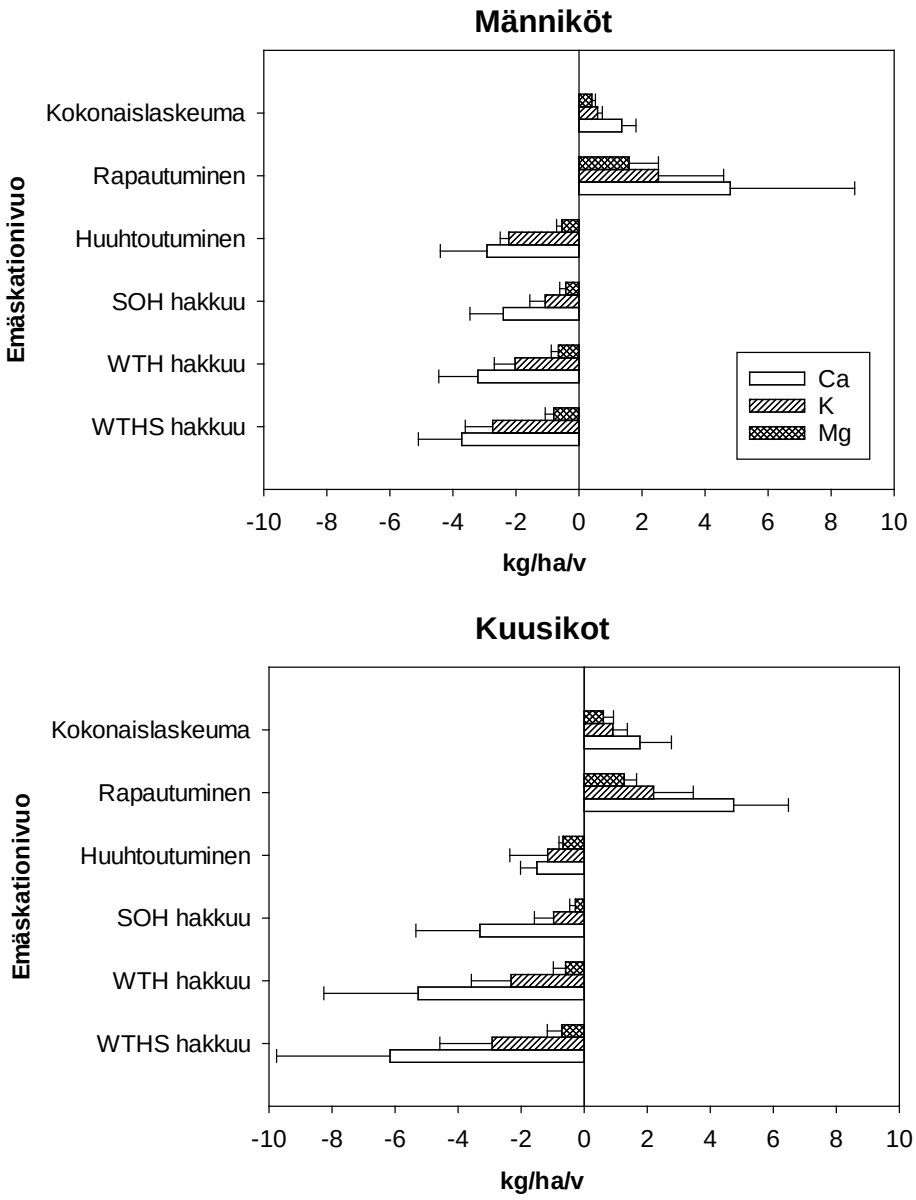
## Aineisto ja menetelmät

Aineistossa oli viisi kuusikkoa ja viisi männikköä, jotka kuuluvat UNECE:n ICP Forests Level II metsien intensiiviseurantaohjelmaan. Lähestymistapamme perustui massatasapainoon: arvioimme ekosysteemiin tulevat (kokonaislaskeuma TD, rapautuminen W) ja siitä lähtevät (huuhtoutuminen L, hakkuupoistuma H) emäskationivuot ja analysoimme puulajin ja ilmaston vaikutuksia niihin. Mittasimme myös maaperän vaihtuvien emäskationien varastot. Simulointien perusteella laskimme maaperän emäskationibudjettiin perustuvan kestävyysindeksin (SI) eri hakkuuskenaarioille seuraavasti: SI = TD + W – L – H.

Kokonaislaskeuma ja huuhtouma arvioitiin ajanjaksolle 1999–2007. Rapautuminen mallitettiin maan Ca-, K-, ja Mg-pitoisuuksien ja lämpötilan avulla[1]. Maanalainen ja –päällinen puustobiomassa ja siihen varastoituneiden emäskationeiden määrä mallitettiin käyttäen puustomittausaineistoa ja allometrisia biomassafunktioita[2] ja niiden avulla laskettiin eri hakkuuskenaarioissa tapahtuvat emäsravinnepoistumat.

## Tulokset ja tarkastelu

Kuusikoissa emäskationien kokonaislaskeuma oli suurempi kuin männiköissä ja väheni etelästä pohjoiseen siirryttäessä. Päätehakkuussa poistuvat emäskationimäärät olivat kaikissa skenaarioissa kuusikoissa suuremmat kuin männiköissä (Kuva 1). Kokopuuhakkuissa poistui enemmän ravinteita kuin runkopuuhakkuussa, mutta kannonnosto ei lisännyt emäskationihävikkiä tilastollisesti merkitsevästi (Kuva 1). Kuusikoissa kokopuunkorjuulla oli suurempi vaikutus emäskationivarastoihin kuin männiköissä. Kalsiumin kestävyysindeksi (SI) oli kuusikoissa negatiivinen molemmissa kokopuunkorjuuskenaarioissa (WTH + WTHS); kaliumin kohdalla SI oli negatiivinen sekä kuusikoissa että männiköissä. Sen sijaan magnesiumin SI oli positiivinen kaikissa hakkuuskenaarioissa. On huomattava, että SI on suhteellinen, monia epävarmuustekijöitä sisältävä arvo, eikä sovellu absoluuttisen kestävyysrajan määrittämiseen.




**Kuva 1.** Kalsium-, kalium- ja magnesiumvuot (kokonaislaskeuma, rapautuminen, huuhtoutuminen sekä runkopuu-, kokopuu- ja kokopuu + kannonnostoskenaariot) kuusikoissa ja männiköissä vuositasolle laskettuna.

## Kirjallisuus

[1] Olsson, M., Rosén, K. & Melkerud, P.A. 1993. Regional modelling of base cation losses from Swedish forest soils due to whole tree-tree harvesting. Applied Geochemistry, Suppl. Issue No. 2: 189–194.

[2] Ukonmaanaho, L., Merilä, P., Nöjd, P. & Nieminen, T.M. 2008. Litterfall production and nutrient return to the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland. Boreal Environment Research 13(suppl. B):67-91.

# INCA-Pathogens mallin sovellus suomalaiselle valuma-alueelle

*The INCA-Pathogens model application to the Finnish river basin*

Katri Rankinen[1], Paul Whitehead[2], Daniel Butterfield[2], Hannah Leckie[2], Jaana Uusi-Kämppä[3] ja Tarja Pitkänen[4]

[1] Finnish Environment Institute, P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki
[2] University of Oxford, Oxford OX1 2DL
[3] Natural Resources Institute Finland, Tietotie 4, FI-31600 Jokioinen
[4] National Institute for Health and Welfare, PL 95, 70701 Kuopio

**Modelling faecal bacteria in the river Loimijoki**

Good microbiological quality of surface waters is essential for recreational water use, drinking water production and food supplies via irrigation. Predictions of how and when microbes are transported are needed to protect downstream water users. In Finland there are guideline values for hygienic water quality which are set for drinking waters, bathing waters or waters used in food production. In this study we tested the new process-based INCA-Pathogens model in Finland. The INCA model is a catchment scale process based model to calculate pollutant transfer from terrestrial environment and point sources to the catchment outlet. The study area Loimijoki river basin (3138 $km^2$) is located in south western Finland. The main soil type in the river basin is clay. Fields cover 38% of the catchment area, and main crops are cereals and grass ley. There are also some areas with small-scale industry and several small but relatively densely populated settlements as well as cattle breeding farms. There are daily discharge measurements in three stations along the main river, and altogether 17 water quality sampling points of faecal coliforms (FC) and faecal enterococci (FS). In 1995-2004 sampling density was 2-10 samples per year, the highest sampling density being in the main river. The FC/FS ratio was over one but below four indicating that faecal contamination originated from both humans and animals. There were clear gradient in the concentration level of faecal coliforms along the river Loimijoki. The highest bacterial counts were in the middle part of the main stream immediately after small industries and municipal sewage treatment plants. INCA-Pathogen model was able to produce bacteria count level and seasonality in the low count sampling points and in the high count sampling points. The simulated bacterial counts in runoff waters from fields were at the same magnitude with the measured ones. The model performance was sensitive to the parameters defining light decay in river water and in soil compartment. Simulations were sensitive also to amount of faecal bacteria spread on the fields in manure. Number of faecal bacteria repeatedly exceeded the guideline values for good quality of bathing water.

# Turvetuhkaa terästettynä metsäojitetuille soille

*Improved peat ash in fertilization of drained peatland forests*

Lasse Aro[1], Jyrki Hytönen[2], Jorma Issakainen[3] ja Mikko Moilanen[4]

[1] Luonnonvarakeskus, Itäinen Pitkäkatu 3, 20520 Turku, lasse.aro @ luke.fi
[2] Luonnonvarakeskus, Silmäjärventie 2, 69100 Kannus
[3] Ratapellontie 11, 91500 Muhos
[4] Volantie 1 C10, 92500 Muhos

Tuhkien ravinnepitoisuuden vaihtelu voi olla suurta. Puutuhkan, jossa on melko runsaasti fosforia ja kaliumia, kierrätystä on tutkittu melko intensiivisesti vuosikymmenten ajan. Tutkimustulokset osoittavat, että puutuhkan käytöllä suometsissä on monia etuja. Sen on todettu lisäävän puuston kasvua ja parantavan ravinnetaloutta sekä vähentävän maaperän happamoitumista [1].

Suomessa turpeella on viime vuosina tuotettu 5–7 % kokonaisenergian kulutuksesta. Nykyisin turpeen osuus on laskenut, ja sitä poltetaan useimmiten yhdessä puun kanssa, jolloin syntyy sekatuhkia. Turvetuhkaa ja sekatuhkia arvioidaan syntyvän Suomessa vuosittain 300 000–400 000 tonnia [2]. Sekä puutuhkan että turvetuhkan sisältämien ravinteiden kierrätys on kiinnostava vaihtoehto kaatopaikoille ja läjitysalueille viennin sijaan. Turvetuhka sisältää runsaasti fosforia ja voisi sopia suometsien lannoitukseen. Toisaalta sen ominaisuuksia lannoitteena heikentää hyvin alhainen kaliumpitoisuus.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, parantaako kaliumlisäys turvetuhkan lannoitusvaikutusta männyntaimien alkukehityksessä turvemaalla [3]. Kaliumlähteinä verrattiin nopealiukoista kalisuolaa ja hidasliukoista biotiittia. Lisäksi haluttiin selvittää, millainen on turvetuhka-biotiittipelletin lannoitusvaikutus. Näissä käsittelyissä kaliumin määrä oli sama, 112 kg $ha^{-1}$. Vertailuna käytettiin lannoittamatonta käsittelyä ja pelkkää turvetuhkakäsittelyä (kaliumia 12 kg $ha^{-1}$). Kaikissa lannoitekäsittelyissä fosforin määrä oli 42 kg $ha^{-1}$. Tutkimus tehtiin turvetuotannosta vapautuneella suonpohjalla Vaalan Pelsonsuolla. Kohde soveltui hyvin kaliumlähteiden vertailuun, sillä pintaturpeen (0-10 cm) kaliummäärä oli hyvin pieni (8 kg $ha^{-1}$). Myös fosforimäärä oli alhainen (99 kg $ha^{-1}$). Jäljelle jääneen turvekerroksen paksuus oli keskimäärin 38 cm.

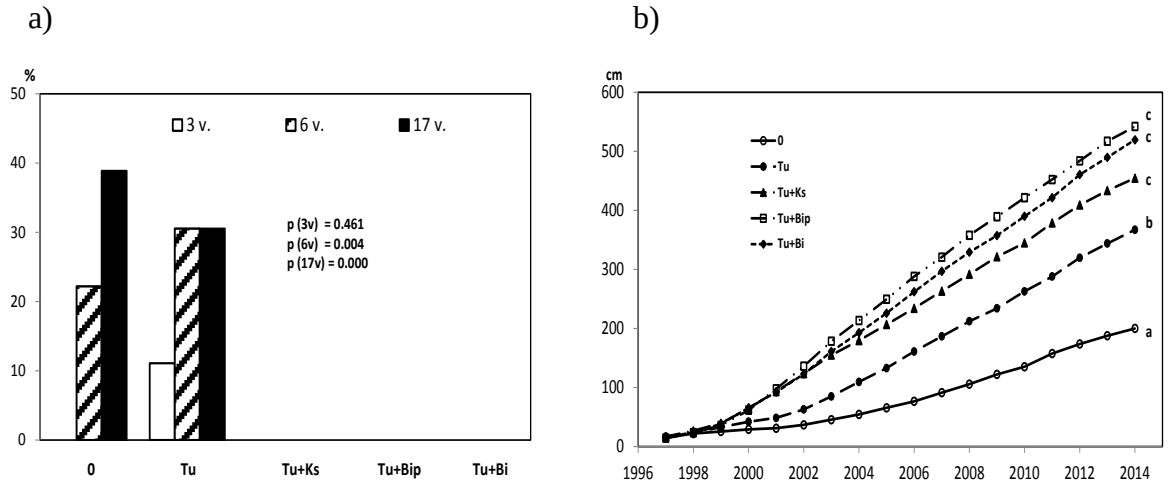
Koealueelle istutettiin yksivuotiaita männyntaimia keväällä 1997 ja lannoituskoe perustettiin seuraavana keväänä. Koe tehtiin taimikohtaisesti levittämällä lannoitetta 1,6 m:n säteelle taimien ympärille. Koe toistettiin satunnaistettujen lohkojen menetelmällä 10 kertaa, joten kokeessa oli yhteensä 50 tainta. Taimien pituus mitattiin useita kertoja 17-vuotisen seurantajakson aikana. Taimien ravinnetila analysoitiin kolmesti 3, 6 ja 17 vuoden kuluttua lannoituksesta.

Tutkimusjakson aikana taimia kuoli lannoittamattomilla koealoilla ja turvetuhkaa saaneilla aloilla. Kuusi vuotta kokeen lannoittamisen jälkeen taimia oli kuollut mainituilla käsittelyillä 22-31 % (kuva 1a). Ilman lannoitusta taimet kasvoivat huonosti ja elävien puiden keskipituus oli kokeen lopussa 2,0 m (kuva 1b). Turpeen tuhka lisäsi tilastollisesti merkitsevästi taimien kasvua ja puiden pituus kokeen lopussa oli 3,7 m. Pisimmät taimet löytyivät koealoilta, joille oli tuhkan lisäksi annettu kaliumia joko kalisuolana tai biotiittina. Kaliumlähteiden välillä ei todettu eroja. Turvetuhka-kalisuola -käsittelyllä puiden keskipituus kokeen lopussa oli 4,5 m ja turvetuhka-biotiitti -käsittelyllä puut olivat 5,2–5,4 m pitkiä. Tuhkan ja biotiitin rakeistus ei vaikuttanut mitattuihin puustotunnuksiin. Puiden keskitilavuus oli turvetuhka-aloilla

kaksinkertainen verrattuna lannoittamattomiin aloihin. Kun lannoituksessa käytettiin turvetuhkan lisäksi kaliumia, taimien keskitilavuus oli 4-5 kertaa lannoittamattomia suurempi.

Kaliumin puutoksia esiintyi lannoittamattomissa taimissa ja tuhkalannoitetuissa taimissa kolme vuotta kokeen perustamisen jälkeen. Kuusi vuotta lannoituksen jälkeen ravinnepuutosoireita alkoi esiintyä myös turvetuhkalla ja kaliumilla lannoitetuissa taimissa. Neulasten typpipitoisuudet olivat hyvin korkeita (17 vuoden jälkeen 16,5-21,2 mg $g^{-1}$), mutta fosfori- (1,2-1,3 mg $g^{-1}$) ja kaliumpitoisuudet (2,9-3,5 mg $g^{-1}$) olivat alle puutostason. Lannoitus kohotti neulasten kaliumpitoisuuksia kuusi vuotta lannoituksen jälkeen, mutta vaikutus oli pieni 17 vuoden kuluttua.

Tutkimuksen mukaan turvetuhkan ja biotiitin yhdistelmä on hyvä lannoite fosforin ja kaliumin puutoksista kärsiville suonpohjille. Tuloksia voidaan yleistää myös sellaisille metsäojitetuille soille, joilla esiintyy samankaltaisia puiden ravinnetalousongelmia kuin suonpohjilla. Koska hidasliukoista kaupallista PK-lannoitetta ei ole markkinoilla, biotiitin lisääminen turvetuhkaan mahdollistaisi tuhkaan perustuvien lannoitteiden raaka-ainepohjan laajentamisen. Raaka-aineseosten rakeistaminen tai pelletoiminen helpottaa levitystä, eikä näyttäisi vaikuttavan puuston kasvureaktiota vähentävästi.




**Kuva 1.** Kuolleiden männyn taimien osuus (%) 3, 6 ja 17 vuotta lannoituskäsittelystä (a) ja männyn taimien keskipituuden kehitys seurantajakson aikana (b). Käsittelyt: 0=ei lannoitusta, Tu=turvetuhka, Tu+Ks=turvetuhka+kalisuola, Tu+Bip=turvetuhka+biotiitti pellettinä, Tu+Bi=turvetuhka+biotiitti. Samalla kirjaimella merkityt käsittelyt eivät poikkea toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (p>0,05).

## Kirjallisuus

[1] Pitman, R.M. 2006. Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts. *Forestry* 79: 563–588.

[2] Moilanen, M. 2009. Metsätuhkan ravinteet takaisin metsään. *Motivan julkaisuja* 12/2009. 4 s.

[3] Hytönen, J., Aro, L., Issakainen, J. and Moilanen, M. 2016. Peat ash and biotite in fertilization of Scots pine on an afforested cutaway peatland. *Suo* 67(2): 53-66.

# Vanadiinispesiesten kemiallinen biosaatavuus maaperässä

*Chemical bioavailability of vanadium species in soil*

Inka Reijonen

Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, Helsingin Yliopisto, Latokartanonkaari 11, 00014 HY
(inka.reijonen@helsinki.fi)

## Tutkimuksen tausta

Vanadiini (V) on ympäristölle haitallinen raskasmetalli, jota päätyy ympäristöön mm. kemianteollisuudesta, terästeollisuudesta, kaivosteollisuudesta ja erityisesti fossiilisista polttoaineista. Metallin joutuminen maaperään aiheuttaa vakavan riskin ekosysteemien toiminnalle sekä useiden altistumisreittien (ravinto, pohjavesi ja maapölyn hengittäminen, jne.) kautta myös ihmisten terveydelle. Huolimatta siitä, että V:a päätyy huomattavia määriä ympäristöön, sen maaperä- ja ympäristökemia on melko heikosti tunnettua.

Maaperän V pitoisuuden on arvioitu vaihtelevan välillä 20–110 mg V $kg^{-1}$ (1). Korkeat luontaiset V pitoisuudet eivät välttämättä ole haitallisia ympäristölle. Haitallisuus perustuu ns. biosaatavuuteen eli käyttökelpoisuuteen eliöille. Niukkaliukoiset mineraalit eivät uhkaa ekosysteemejä, toisin kuin helppoliukoiset tai potentiaalisesti liukoiset V:n esiintymismuodot. Liukoisena V kulkeutuu herkästi maasta eliöihin, sekä vesistöihin ja pohjavesiin. Vanadiini esiintyy ympäristössä pääosin kahdella hapetusasteella: +IV ja +V, joista jälkimmäistä pidetään toksisempana muotona. Hapettuneena $V^V$ esiintyy *oksianionisena* vanadaattina ($H_2VO_4^-$ ja $HVO_4^{2-}$). Vanadaatti on analoginen fosfaatille, minkä seurauksena $V^V$ inhiboi tehokkaasti tärkeitä fosforia sisältäviä entsyymeitä (ATPaasit, fosfataasit yms)(2). Pelkistyneessä muodossa $V^{IV}$ on koordinoituneena hapen kanssa, muodostaen *kationisen* $VO^{2+}$ spesieksen. Luonnossa $V^{IV}$:a pidetään niukkaliukoisena johtuen sen taipumuksesta saostua hydrolyysireaktioissa (3).

Työn tavoitteena oli selvittää V:n kemiallista biosaatavuutta säätelevät reaktiomekanismit maassa. Lisäksi haluttiin arvioida miten V:n esiintymismuodot ($V^V$ ja $V^{IV}$) sekä maan ominaisuudet (pH, orgaaninen aines) vaikuttavat haitallisuuteen ja pohjavesien pilaantumisriskiin. Maan orgaanisen aineksen odotettiin pelkistävän $V^V$:a, mutta myös pidättävän molempia spesieksiä. Vanadiinin osalta haluttiin selvittää, näkyykö sitoutuminen orgaaniseen ainekseen peräkkäisellä uuttomenetelmällä. Uuttomenetelmä kehitettiin tätä tutkimusta varten ja sen perusteella haluttiin määrittää ympäristön kannalta relevantteja vanadiini fraktioita maassa. Vanadiinifraktioita uutettiin maasta heikentyvän biosaatavuuden perusteella (helppoliukoinen V > ns. ligandinvaihdolla pidättynyt V > (kiinteään) orgaanisen ainekseen sitoutunut V > erittäin voimakkaasti pidättynyt V).

## Tulosten esittely ja tarkastelu

Maan ominaisuudet (pH ja orgaaninen aines) säätelivät voimakkaasti vanadiinispesiesten kemiallista biosaatavuutta. Helppoliukoisen ja ligandin vaihdolla pidättyneen (potentiaalisesti biosaatavan) V:n osuudet kokonaispitoisuudesta vaihtelivat riippuen maatyypistä ja pH:sta. Molempien spesiesten, $V^V$:n ja $V^{IV}$:n, kemiallinen biosaatavuus ja huuhtoutumisherkkyys lisääntyivät maan pH:n noustessa. Lisäksi V spesiesten suhteellinen biosaatavuus lisääntyi maahan päätyvän V pitoisuuden kasvaessa. Toisin sanoen kokonaispitoisuuden perusteella ei voida arvioida V:n haitallisuutta maassa.

Maan orgaaninen aines vähensi molempien V spesiesten ($V^V$ ja $V^{IV}$) kemiallista saatavuutta ja siten myös niistä aiheutuvia haittoja ympäristölle ja eliöille. Vanadiinin huuhtoutumisriski on suuri erityisesti karkeissa maissa (vähän $V^V$:a pidättäviä rauta- ja alumiini oksideja ja hydroksideja), jotka sisältävät niukasti orgaanista ainesta.

Maassa tapahtuu samanaikaisesti V:n hapettumista ja pelkistymistä. Tämän seurauksena maassa voi esiintyä molempia spesieksiä ($V^V$ ja $V^{IV}$), huolimatta maahan päätyvän V:n alkuperäisestä hapetusasteesta. Hapettuneiden $V^V$ spesiesten osuus kasvaa pH:n noustessa, mikä lisäsi kemiallista biosaatavuutta ja siten myös potentiaalista pohjavesien saastumisriskiä. Lierokokeissa akuutin toksisuuden $LC_{50}$ arvo (Lethal Concentration 50 % eli pitoisuus, joka tappaa puolet koe-eliöinä käytetyistä peltolieroista), määritettiin maan eri pH-arvoille paljon orgaanista ainesta (3,2 %) sisältävässä pintamaassa ja vähän orgaanista ainesta sisältävässä jankossa (0,5 %). Kokonaisvanadiinille $LC_{50}$ arvot maassa vaihteli välillä 80–300 mg V $kg^{-1}$. Arvot olivat pääasiallisesti suurempia matalassa pH:ssa Tämä tarkoittaa, että maahan lisätyn $V^V$:n ja $V^{IV}$:n haitallisuus väheni happamassa eli lierot kestivät suurempia $V^V$ ja $V^{IV}$ kokonaispitoisuuksia. Heikentyneen toksisuuden happamissa maanäytteissä selitti $V^V$:n pelkistyminen ja voimakas pidättyminen orgaanisen ainekseen.

Erot maatyyppien ja pH-arvojen välillä vaikuttivat tasoittuvan kun $LC_{50}$ arvoja tarkasteltiin vesiliukoisen vanadiinin perusteella kokonaispitoisuuden sijaan. Tulosten perusteella ekotoksisuus perustui liukoisen V:n pitoisuuteen ($LC_{50}$ 20–80 mg $kg^{-1}$).

Vanadiinin kemiallinen käyttäytyminen pH:n suhteen poikkeaa monista muista raskasmetalleista. Usein raskasmetallien liukoisuuden (eli myös kemiallisen biosaatavuuden) arvellaan vähentyvän maan pH:n noustessa. Vanadiinin liukoisuus päinvastoin lisääntyi. Tämä on ensiarvoisen tärkeää huomioida riskinarvioinnissa koskien esimerkiksi pilaantuneita maita tai toisaalta erilaisia raja-arvoja koskevassa lainsäädännössä. Lisäksi orgaanisen aineksen merkitys V:n haitallisuuden vähentämisessä oli huomattava. Tämä tarkoittaa, että erityisesti maissa, joissa orgaanista ainesta on niukasti, V:sta aiheutuvat haitat korostuvat. Vanadiinin haitallisuutta arvioidessa tulee myös huomata V pitoisuuden akkumuloiva vaikutus kemialliseen biosaatavuuteen. Pienillä pitoisuuksilla pidättyminen maahan on voimakkaampaa kun taas suuremmilla pitoisuuksilla suurempi osuus on helppoliukoisessa muodossa. Toisin sanoen maan pelkistys- ja adsorptioreaktioihin perustuva kyky vähentää V:sta aiheutuvia haittavaikutuksia heikentyy merkittävästi pitoisuuksien kasvaessa, jolloin haitat ekosysteemeille suhteellisesti kasvaa.

**Kirjallisuus**


1. Kabata-Pendias, 2004. Soil–plant transfer of trace elements—an environmental issue. *Geoderma,* 122(2), pp. 143-149.
2. Leonard, A. and Gerber, G., 1998. Mutagenicity, carcinogenicity, and teratogenicity of vanadium. *Advances in environmental science and technology-new york-*, 31, pp. 39-54.
3. Tracey, A.S., Willsky, G.. and Takeuchi, E., 2007. *Vanadium: chemistry, biochemistry, pharmacology and practical applications.* C press.


**Kiitokset**


Mirka Lares, Minna Laihonen (lierokokeet),
Noora Manninen, Mirva Kauppinen ja Martina Metzler (uuttoanalyysit)

# Orgaanisen hiilen kulkeutuminen pelloilta vesistöihin eroosioaineksen mukana

*Export of soil organic carbon from agricultural soil with eroded material*

Noora Manninen[1], Sanna Kanerva[1], Helena Soinne[1], Eila Turtola[2], Riitta Lemola[2]

[1] Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, Latokartanonkaari 11 PL 27, Helsingin yliopisto
[2] Luonnonvarakeskus, Humppilantie 14, 31600 Jokioinen

## Johdanto

Maatalousmaiden orgaanisen hiilen (OC) määrän on todettu laskeneen Suomessa viimeisten vuosikymmenten aikana [1]. Orgaanista hiiltä häviää maasta sekä hiilidioksidina mikrobien hajotustoiminnan seurauksena, että valumavesien mukana liukoisena tai eroosioainekseen sitoutuneena. Orgaanisen hiilen väheneminen heikentää maan rakennetta [2] ja lisää edelleen eroosioriskiä. Cole ym. [3] arvioi maailmanlaajuisesti hiiltä kulkeutuvan maaperästä sisävesiin 1.9 Pg vuosittain, josta noin 11 % hautautuu sedimenttiin, 42 % hajoaa mikrobitoiminnan seurauksena ja 47 % kulkeutuu merivesiin asti. Maan muokkauksella tiedetään olevan vaikutusta pellolta lähtevän eroosioaineksen määrään sekä hiilen kertymiseen maahan [4] [5]. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää maatalousmaasta eroosioaineksen mukana kulkeutuvan orgaanisen hiilen kuorman suuruutta sekä viljelymenetelmän vaikutusta siihen.

## Aineisto ja menetelmät

Orgaanisen hiilen huuhtoutumista tutkitaan Luonnonvarakeskuksen (Luke) Etelä-Suomessa Jokioisilla (Yöni, Kotkanoja) ja Keski-Pohjanmaalla (Toholampi) sijaitsevilla koekentillä, joita viljellään erilaisin menetelmin. Yönin savimaan kentällä on mukana tavanomainen viljelykierto, luomuviljelyn kierto ja pysyvä nurmi. Kotkanojan savimaan kentällä tutkittavat alueet ovat kevätviljanviljelyssä joko suorakylväen tai käyttäen syyskyntöä. Toholammin karkealta hietamaalta mukaan valittiin nurmivaltainen luomukierto, jossa käytetään kotieläinlantaa, ja tavanomainen kasvinviljelytilan kierto, jossa käytetään väkilannoitusta. Mittaukset tehdään kaikilla koepaikoilla eri menetelmistä kahdelta eri lohkolta (kaksi toistoa).

Koekenttien pintamaissa (0-5 cm) hiilipitoisuudet vaihtelevat välillä 2,7-6,2 % siten, että pienin pitoisuus on Kotkanojan kyntöruuduilla ja suurin Yönin pysyvällä nurmella. Kotkanojan ja Toholammin kentiltä kerätään ja mitataan pinta- ja salaojavalunta erikseen, kun taas Yönin kentältä kokonaisvalunta sisältäen sekä pinta- että salaojavalunnan. Tässä tutkimuksessa eroosioainesta kerätään valunnoista hiilimittauksia varten kahden vuoden ajan (2015-17), ja mitattujen hiilipitoisuuksien ja valunnan määrän avulla lasketaan OC:n kokonaiskuorma (kg $ha^{-1}$). Aineiston keräys on kesken ja alla esitetään ensimmäisiä tuloksia Kotkanojan ja Yönin kenttien valumavesistä.

## Tulokset ja tarkastelu

Kevätvalunnan eroosioainespitoisuudet olivat Kotkanojan kyntölohkoilla 8-13 -kertaisia suorakylvöön verrattuna. Eroosioainespitoisuudet olivat pienimpiä suorakylvettyjen lohkojen pintavalunnassa (< 0,1 g $l^{-1}$) ja suurimpia kynnettyjen lohkojen salaojavalunnassa (keskimäärin 1,1 g $l^{-1}$). Valumaveden kuljettamassa eroosioaineksessa oli hiiltä kynnetyillä lohkoilla keskimäärin 2 % ja suorakylvetyillä lohkoilla 3 %. Yönin koekentällä eroosioainespitoisuudet valumavesissä olivat pieniä (≤ 0,1 g $l^{-1}$) ja eroosioaineksen hiilipitoisuus (2,5 % tavanomaisessa viljelyssä, 3 % nurmella ja 2 % luomuviljelyssä) oli samaa luokkaa kuin Kotkanojalla.

Alustavien tuloksien mukaan eroosioaineksen hiilipitoisuuden ja pintamaan (0-5 cm) hiilipitoisuuden välillä havaittiin selvä positiivinen yhteys pinta- ja salaojavalunnassa ($r^2$=0,94 ja $r^2$=0,93) Kotkanojan kentällä, ja myös kokonaisvalunnassa ($r^2$=0,94) Yönin kentällä.

Eroosioaineksen mukana valumavesiin päätyvän orgaanisen hiilen pitoisuus näyttäisi siis olevan sitä suurempi, mitä enemmän pintamaassa on hiiltä. Yhteydestä huolimatta orgaanisen aineksen kertyminen peltomaahan voi kuitenkin parhaimmillaan johtaa pienempään orgaanisen hiilen kokonaiskuormaan, jos seurauksena on maan rakenteen parantuminen ja sen myötä pienentynyt eroosioriski.

**Kirjallisuus**

[1] Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V., Regina, K. 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974-2009. Global Change Biology 19: 1456-1469.

[2] Soinne, H., Hyväluoma, J., Ketoja, E. & Turtola, E. 2016. Relative importance of organic carbon, land use and moisture conditions for the aggregate stability of post-glacial clay soils. Soil & Tillage Research, 158: 1-9.

[3] Cole, J.J., Prairie, Y.T., Caraco, N.F., McDowell, W.H., Tranvik, L.J., Striegl, R.G., Duarte, C.M., Kortelainen, P., Downing, J.A., Middelburg J.J. & Melack J. 2007. Plumbing the global carbon cycle: integrating inland waters into the Terrestrial Carbon Budget. Ecosystems, 10: 172-185.

[4] Beniston, J.W., Shipitalo, M.J., Lal, R., Dayton, E.A., Hopkins, D.W., Jones, F., Joynes, A. & Dungait, A.J. 2015. Carbon and macronutrient losses during accelerated erosion under different tillage and residue management. European Journal of Science, 66: 218-225.

[5] Mchunu, C.N., Lorentz, S., Jewitt, G., Manson, A. & Chaplot, V. 2011. No-Till impact on Soil and Soil Organic Carbon Erosion under Crop Residue Scarcity in Africa. Soil & Water Management & Concervation, 75: 1503-1512.

# Juurten ja helposti saatavan hiilen vaikutus maaperän orgaanisen aineen fraktioiden hajoamiseen boreaalisessa metsämaassa

*The influence of roots and easily available carbon on the decomposition of soil organic matter fractions in boreal forest soil*

Jukka Pumpanen[1], Aki Lindén[2], Viktor J. Bruckman[3], Frank Berninger[2], Hannu Ilvesniemi[4], Markku Oinonen[6], Eloni Sonninen[6], Mai Kukumägi[7] ja Jussi Heinonsalo[5]

[1]Ympäristö- ja Biotieteiden laitos, Itä-Suomen yliopisto, PL 1627, 70211 Kuopio, email: jukka.pumpanen@uef.fi
[2]Metsätieteiden laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, email: frank.berninger@helsinki.fi, aki.linden@kolumbus.fi
[3]Section for Mathematics and Natural Sciences, Austrian Academy of Sciences, Dr. Ignaz-Seipel-Platz 2, 1010 Vienna, Austria, email: viktor.bruckman@oeaw.ac.at
[4]Luonnonvarakeskus (Luke), Viikinkaari 4, 00790 Helsinki, email: hannu.ilvesniemi@luke.fi
[5]Elintarvike ja ympäristötieteiden laitos, PL 56, 00014 Helsingin yliopisto, email: jussi.heinonsalo@helsinki.fi
[6]Luonnontieteellinen keskusmuseo – LUOMUS, Ajoituslaboratorio, PL 64, 00014 Helsingin yliopisto, email: markku.j.oinonen@helsinki.fi, eloni.sonninen@helsinki.fi
[7]University of Tartu, Department of Botany, Lai 40, 51005 TARTU, email: mai.kukumagi@ut.ee

## Johdanto

Maan orgaaninen aines on suuri hiili- ja typpivarasto [1], jonka hajoamisnopeudella on suuri vaikutus maapallon hiilitaseeseen ja ekosysteemien bruttoprimäärituotokseen. Boreaalisissa metsäekosysteemeissä kasvien kasvu riippuu suurelta osin metsässä kiertävän typen määrästä, koska ilmakehästä peräisin olevan typpilaskeuma on hyvin pieni verrattuna biomassan kasvuun tarvittavan typen määrään [2]. Mikrobeille helposti saatavilla olevan hiilen on havaittu lisäävän maassa olevan vaikeasti hajoavan maan orgaanisen aineksen mineralisaatiota, mutta helposti hajoavan hiilen ja elävän juuriston yhteisvaikutusta on tutkittu vähän. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia helposti hajoavan hiilen ja juuriston vaikutusta erilaisten liukoisten maa- fraktioiden hajoamiseen sekä niiden $^{13}C$, $^{14}C$ ja $^{15}N$-isotooppisuhteisiin.

## Materiaalit ja menetelmät

Tässä kokeessa inkuboitiin metsämaan humuskerroksesta kerättyä maata kuusi kuukautta mikrobeille helposti käytettävissä olevan hiilen (glukoosin) kanssa ja ilman glukoosia. Lisäksi juuriston vaikutusta maan orgaanisen aineksen hajotukseen tutkittiin inkuboimalla vastaavasti maata taimien kanssa ja ilman taimia. Kuuden kuukauden inkubointijakson jälkeen maa-aines jaettiin kolmeen fraktioon paineistetun kuumavesiuuton avulla. Maa-aines uutettiin vedellä lämpötiloissa kolmeen eri fraktioon; sokerit ja muut helposti liukenevat aineet 60°C asteessa, hemiselluloosat 170°C asteessa. Menetelmässä suuri osa ligniinistä ja muut vaikealiukoiset aineet jäävät veteen liukenemattomaan kiinteään jäännökseen. Uutetuista maafraktioista mitattiin kuivapainot, hiili- ja typpipitoisuudet sekä $^{13}C$, $^{14}C$ ja $^{15}N$ isotooppien pitoisuudet. Lisäksi fraktioiden kemiallisia ominaisuuksia kuten molekyylien toiminnallisia ryhmiä ja hajoamisastetta tutkittiin infrapunaspektroskopialla (FTIR).

## Tulokset ja tulosten tarkastelu

Alustavien tulosten mukaan kasvien juuristo voi lisätä maan orgaanisen aineksen hajoamista ja typenottoa liukoisista maafraktioista. Uuttomenetelmällä pystyttiin jakamaan maan orgaaninen aines kolmeen fraktioon, jotka erosivat selkeästi toisistaan isotooppisuhteiltaan. Puiden elävä juuristo muutti maan liukoisten fraktioiden massasuhteita, $^{15}N$-isotooppisuhdetta ja FTIR-menetelmällä mitattua infrapunaspektriä. Helpoimmin hajoava maafraktio oli $^{14}C$- ja $^{15}N$-

isotooppisuhteiltaan muita rikastuneempaa, joka voi olla merkkinä siitä, että se sisältää myös vaikeasti hajoavasta fraktiosta mikrobien toiminnan tuloksena irronneita yhdisteitä tai itse mikrobeiden sisältämää ainesta. FTIR-menetelmällä mitatut tulokset osoittivat myös, että pidemmälle hajonneiden orgaanisten yhdisteiden määrä liukoisissa fraktioissa oli suurempi taimellisissa kuin taimettomissa käsittelyissä.

Ilman elävää juuristoa vastaavia muutoksia ei ollut havaittavissa, vaikka mikrobeilla olisi ollut käytettävissä helposti saatavilla olevaa energia glukoosin muodossa. Tämä viittaa elävän juuriston tärkeään rooliin maan orgaanisen aineen hajotuksessa. Tuloksemme osoittivat myös, että käytetyt menetelmät eivät erikseen kuvaa orgaanisen aineksen hajotettavuutta tai käyttökelpoisuutta mikrobeille, vaan on parempi käyttää useampaa menetelmää rinnakkain.

**Kirjallisuus**

[1] Hättenschwiler, S. & Vitousek, P.M. 2000. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. *Trends in Ecology & Evolution* 15: 238-243.

[2] Korhonen, J.F.J., Pihlatie, M., Pumpanen, J., Aaltonen, H., Hari, P., Levula, J., Kieloaho, A.J., Nikinmaa, E., Vesala, T. & Ilvesniemi, H. 2013. Nitrogen balance of a boreal Scots pine forest. *Biogeosciences* 10: 1083-1095.

# Typpilaskeuman vaikutus soiden hiilen sidontaan ja ravinnekiertoon: varpu-sieni vuorovaikutuksen merkitys

*Plant-mycorrhizal feedbacks of nitrogen deposition to peatland carbon and nutrient cycling*

Tuula Larmola[1], Heikki Kiheri[1], Hannu Fritze[1], Raija Laiho[1], Taina Pennanen[1], Erik A. Hobbie[2], Jill L. Bubier[3], Netty van Dijk[4], Nancy Dise[4], Tim R. Moore[5], Mats B. Nilsson[6], Julie Talbot[7]

[1] Luonnonvarakeskus, Helsinki, tuula.larmola@luke.fi
[2] Earth Systems Research Center, University of New Hampshire, United States
[3] Environmental Studies Department, Mount Holyoke College, United States
[4] Centre for Ecology and Hydrology, Penicuik, Edinburgh, United Kingdom
[5] Department of Geography and Global Environmental and Climate Change Centre, McGill University, Canada
[6] Department of Forest Ecology and Management, Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden
[7] Département de Géographie, Université de Montréal, Canada

Suot ovat merkittäviä hiilen ja typen pitkäaikaisvarastoja. Maailmanlaajuisesti soihin on sitoutunut kolmannes maaperän hiilestä ja 15% typestä. Suomen hiilivarastosta jopa 2/3 on sitoutunut turpeeseen. Teollistumisen ja maatalouden tehostumisen myötä 150 viime vuoden aikana ilmakehän typpilaskeuma on lisännyt kasvien ja mikrobien saatavilla olevan typen määrää ekosysteemeissä. Typpilaskeuma voi heikentää soiden hiilinielua nopeuttamalla hajotusta, ravinteiden kiertoa ja lisäämällä hiilidioksidin vapautumista ilmakehään.

Tutkimme, miten typpilaskeuma vaikuttaa suokasvien ravinteiden ottoon, mykorritsoihin ja miten tämä heijastuu hiilen sidontaan. Monet suovarvut muodostavat mykorritsan eli sienijuuren, symbioosin sienen kanssa. Siinä isäntäkasvi saa sieneltä ravinteita, sieni kasvilta hiiliyhdisteitä: kasvi voi syöttää jopa 20% ilmakehästä sitomastaan hiilestä sienelle [1]. Tämä hiilivirta maahan voi heiketä, jos ravinteita on muutenkin saatavilla. Kokeellista tutkimusta laskeuman vaikutuksesta sienijuuren hiilinieluun on erittäin vähän eikä lainkaan soilta.

Aineistona on kolme pitkäaikaisinta typpilannoituskoetta soilla: Degerö Stormyr Ruotsissa, Whim Bog Skotlannissa ja Mer Bleue Kanadassa. Soita on lannoitettu 16-22 vuotta mineraalitypellä 2-15 kertaa alueen taustalaskeuman verran siten, että lannoittamattomat verrokit ja kokeelliset typpilisät yhdessä vastaavat ilmakehän typpilaskeuman vaihtelua Euroopassa (2-64 kg N/ha/v). Kokeilta on jo olemassa pitkäaikaisaineistot lannoituksen vaikutuksista muun muassa maanpäälliseen kasvibiomassaan ja eri mykorritsatyyppien isäntäkasvien runsauteen. Täydennämme aineistoja juuri- ja sienibiomassan, lehti- ja maaperän kemian ja kasvien ravinnestressimittauksin.

Pitkäaikaiskokeet tarjoavat ainutlaatuisen mahdollisuuden tutkia typpilaskeuman ekosysteemivaikutuksia, jotka ilmenevat usein viipeellä. Tuloksia voidaan hyödyntää hiilen ja typen kiertomalleissa ja typen päästörajoitusten tehokkaassa kohdentamisessa ja kuormituksen raja-arvojen määrittämisessä soiden hiilinielun turvaamiseksi.

**Kirjallisuus**

[1] Hobbie, E.A. and Hobbie, J.E. 2008. Natural abundance of $^{15}N$ in nitrogen-limited forests and tundra can estimate nitrogen cycling through mycorrhizal fungi: A Review. *Ecosystems* 11: 815-830.

# Interaction between soil- and dead wood-inhabiting fungi of an unmanaged Norway spruce stand

*Maaperän ja lahopuun sieniyhteisöt luonnontilaisessa kuusimetsässä*

Raisa Mäkipää[1], Taina Pennanen[1], Tiina Rajala[1],†, Dmitry Schigel[2], Katja T. Rinne[1], Otso Ovaskainen[2]

[1]Natural Resources Institute Finland, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki
[2]Department of Biosciences, P.O. Box 65, FI-00014, University of Helsinki, Finland

## Introduction

Forest soil and decaying wood are inhabited by a large variety of partly common fungal species (1), but the influence of the decaying logs on soil fungal communities and interaction between soil- and wood-inhabiting communities is still poorly studied. Fungal connection between soil and decaying wood may have important implications to wood decomposition process as fungal mycelia can translocate nutrients to sites of demand and fungal mediated nitrogen from soil may be a source of external nitrogen in the decaying logs (2). The aim of this study is to analyze fungal succession in decaying wood and the relationship between wood- and nearby soil-inhabiting fungal communities. We ask in which decay phase and by which species wood- and soil-inhabiting fungal communities become similar, and what proportion of the fungi are unique to dead wood habitat.

## Material and Methods

The 4 ha study site was located in Sipoo, Southern Finland. Altogether 61 fallen Norway spruce trees were selected as sample logs, which were distributed equally to different decay classes (1-5). We applied DNA extraction and 454 pyrosequencing to study fungi inhabiting both soil and decaying wood in an unmanaged Norway spruce-dominated stand.

## Results and Discussion

We observed altogether over 2000 operational taxonomic units (OTUs) of fungi, of which more than 600 were shared by both substrates. The soil was more species rich than the decaying wood and the number of the OTUs in wood increased along with wood decomposition being very close to that of soil organic matter in the latest decay phases. There was considerable interaction between soil and wood saprotrophic and ectomycorrhizal fungal decomposers, for example certain aphyllophoroid fungi known for their resupinate wood inhabiting lifestyle were present in almost all the wood and soil samples. Also several mycorrhizal symbionts of trees such as *Piloderma* and *Tylospora* sp. were highly abundant in both substrates. On the contrary, we did not observe any ingrowth of white and brown rot fungi from dead wood into forest soil.

## References

(1) Rajala, T., Peltoniemi, M., Pennanen, T., Mäkipää, R. 2012. Fungal community dynamics in relation to substrate quality of decaying Norway spruce (Picea abies [L.] Karst.) logs in boreal forests. *FEMS Microbial Ecology* 81: 494-505.

(2) Cairney JWG. 2005. Basidiomycete mycelia in forest soils: dimensions, dynamics and roles in nutrient distribution. *Mycological Research* 109: 7-20.

# Kuinka mitata viljelymaan biologista kasvukuntoa?

*How to measure soil biological quality in arable soils?*

Ansa Palojärvi

Luonnonvarakeskus (Luke), Itäinen pitkäkatu 3, 20520 Turku

Kestävien viljelymenetelmien tavoitteena on, että kasvit kasvavat hyvin, ravinteet käytetään tehokkaasti hyväksi ja viljelyn hiilitase saadaan kasvavaksi, ei väheneväksi kuten nykyään. Peltomaan biologia ja hyödyllisten mikrobiologisten toimintojen vahvistaminen ja niihin tukeutuminen ovat kestävän ja tehokkaan kasvin- ja ruoantuotannon ytimessä.

Maaperän monipuolinen mikrobisto edistää kasvien ravinteidensaantia ja osallistuu myös maalevintäisten kasvitautien kurissapitoon. Aktiivinen mikrobisto hajottaa eloperäistä ainesta ja onkin siten keskeinen tekijä kierrätyslannoitteiden hyödyntämisessä ja niiden sisältämien ravinteiden vapauttamisessa viljelykasvien käyttöön. Maaperämikrobit reagoivat nopeasti olosuhteiden muutoksiin ja voivat toimia myös herkkinä maan laadun mittareina ja kierrätysmateriaaleihin mahdollisesti liittyvien riskien osoittajina.

Viljelymaan kasvukunnon arvioiminen painottuu edelleenkin kemiallisten maaperäominaisuuksien määrittämiseen. Käytössä ei edelleenkään ole maan ja kasvin vuorovaikutusta tai maan toiminnallisuutta kokonaisvaltaisesti mittaavia kaupallisia testimenetelmiä. Biologisen kasvukunnon mittareiden tulisi olla yksinkertaisia toteuttaa, ja olla käyttökelpoisia sekä asiantuntijoille että viljelijöille. Niiden tulisi olla herkkiä toimenpiteille ja ilmastolle pitkällä aikavälillä. Luotettavien tulosten saamista ja tulosten tulkintaa helpottaisi, jos käytettävistä mittareista olisi jo olemassa mittausaineistoa samalta maaperä- ja ilmastoalueelta. Pellolla tehtävät pikamittaukset ovat hyvä apu, luotettavat ja vertailukelpoiset tulokset saadaan huolella käsiteltyjen maanäytteiden laboratoriomittauksilla.

# Metsäojitetun suon vedenpinnan noston vaikutus maan ja puiden metaanikierron mikrobiologisiin muuttujiin

*Microbial $CH_4$ turnover in soil and trees on a forestry drained peatland*

Anuliina Putkinen[1,2], Iikka Haikarainen[1], Elisa Halmeenmäki[1], Petteri Pyykkö[1], Annalea Lohila[3], Mika Korkiakoski[3], Jussi Heinonsalo[2], Hannu Fritze[4] ja Mari Pihlatie[1,5]

[1] Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos, PL 64, 00014 Helsingin yliopisto
[2] Helsingin yliopisto, Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, PL 56, 00014 Helsingin yliopisto
[3] Ilmatieteen laitos, PL 503, 00101 Helsinki
[4] Luonnonvarakeskus, Viikinkaari 4, 00790 Helsinki
[5] Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos, Viikin kasvitieteen keskus (ViPS), 00014 Helsingin yliopisto

## Johdanto

Metaani on voimakas kasvihuonekaasu, jonka ainoana biologisena lähteenä pidettiin pitkään hapettomissa oloissa toimivia metanogeenisia arkeoneja. Viime vuosina metaania on kuitenkin esitetty syntyvän myös elävissä kasveissa esimerkiksi kemiallisesti UV-säteilyn vaikutuksesta (Keppler et al. 2006) tai lahottajasienten toimesta (Lenhart et al. 2012), minkä vuoksi näkemys esimerkiksi metsistä ilmakehän metaanin nieluna on kyseenalaistettu (Machacova et al. 2016). Tutkimuksessamme vertaillaan maaperän ja puiden roolia metsien metaaninkierrossa metsäojitetulla suolla. Tavoitteena on selvittää, näkyykö vedenpinnan nosto lisääntyneenä potentiaalisena metaanintuottona ja/tai -hapetuksena sekä muutoksina näihin prosessihin liittyvissä mikrobiyhteisöissä. Näitä tuloksia peilataan samoilla koealoilla tehtyihin metaanivuo- ja pitoisuusmittauksiin.

## Materiaalit ja menetelmät

Koealamme sijaitsevat Etelä-Suomessa ravinteikkaalla Lettosuolla (60°38' N, 23°57' E), joka on metsäojitettu 1970-luvulla. Puusto koostui ojituksen jälkeen männyistä (*Pinus sylvestris)*, koivuista (*Betula pubescens*) ja kuusista (*Picea abies*). Haihdunnan pienentämiseksi toiselta koealalta poistettiin männyt helmikuussa 2016, mikä nosti vedenpintaa kontrollialaan nähden keskikesällä 10–15 cm. Mikrobiologisia analyysejä varten kerättiin näytteitä elokuussa 2016, minkä jälkeen tuoreista turve- ja sammalnäytteistä mitattiin laboratoriokokeena potentiaalista metaanintuottoa ja -hapetusta. Metaaninkiertoon liittyvät mikrobiyhteisöt on tarkoitus karakterisoida syväsekvensoinnin avulla turpeen ja sammalien ohella myös puunrungoista eristetystä DNA:sta. Metsän pohjan metaanivuo mitattiin automaattisilla kammioilla ja puiden runkojen metaanivuo manuaalisilla kammioilla kesä-syyskuussa 2016. Lisäksi mitattiin sekä puunrunkojen että maaperän eri kerrosten (65 cm:n syvyyteen asti) metaanipitoisuuksia.

## Alustavat tulokset ja tarkastelu

Sekä potentiaalinen metaanintuotto että -hapetus näytti olevan voimakkaampaa mäntyjen hakkuu-alalla, mutta suuresta vaihtelusta johtuen ero kontrollialaan oli merkitsevä vain hapetuksessa 15 cm:n syvyydessä. Hapeton metaanintuotto oli molemmilla aloilla selvästi voimakkainta syvimmässä turvekerroksessa (-65 cm) ja hapetus 15–25 cm:n syvyydessä. Potentiaalimittausten perusteella suurin osa maaperässä syntyvästä metaanista voisi hapettua jo ennen sen kulkeutumista turpeen pinnalle. Vielä ei kuitenkaan voida varmuudella sanoa, johtuuko vuomittauksissa havaittu kontrollialan suurempi metaaninielu tuon alan suuremmasta ilmakehän metaanin hapetuksesta vai hakkuu-alan suuremmasta metaanintuotosta. Puiden runkojen vuomittaukset näyttivät koivun ja kuusen olleen metaanin lähteitä ja että nämä päästöt olivat korkeammat hakkuu-alalla. Alustavat tulokset viittaavat puiden kuljettavan ja vapauttavan rungoistaan maassa syntynyttä metaania. Rahka-, kynsi- ja seinäsammalissa havaittiin heikkoa potentiaalista metaanintuottoa hapellisissa, valoisissa oloissa. Ilman happea

ja/tai valoa metaania muodostui merkittävästi vähemmän, mikä viittaa sammalien metaanin syntyvän muulla tavoin kuin metanogeenien tuottamana.

**Kirjallisuus**

[1] Keppler F., Hamilton, J.T.G., Braß M., Röckmann T. 2006. Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. *Nature* 439: 187–191.

[2] Lenhart K., Bunge M., Ratering S., et al. 2012. Evidence for methane production by saprotrophic fungi. *Nature Communications* 3: 1046.

[3] Machacova K., Bäck J., Vanhatalo A., et al. 2016. Pinus sylvestris as a missing source of nitrous oxide and methane in boreal forest. *Scientific Reports* 6: 23410.

# Miten kuusen, männyn ja koivun hakkuutähde vaikuttaa metsämaan typen kiertoon ja häviöihin avohakkuun jälkeen?

*How logging residues of different tree species affect soil nitrogen cycling and losses?*

Tiina Törmänen, Veikko Kitunen, Antti-Jussi Lindroos ja Aino Smolander

Luonnonvarakeskus, *Latokartanonkaari 9*, 00790 Helsinki

Kokopuun korjuu on yleistynyt 2000-luvulla sekä harvennus- että päätehakkuumetsissä eli runkopuun lisäksi korjataan osa oksista ja latvuksista ja joskus myös kannoista. Hakkuutähteen korjuu vähentää huomattavasti metsämaahan tulevan tuoreen orgaanisen aineen määrää. Nykyisessä korjuuteknologiassa hakkuutähteet eivät jakaudu tasaisesti hakkuualalle perinteisessä runkopuunkorjuussakaan, jossa hakkuutähteet kasataan ajourille ja niiden läheisyyteen.

Sekä hakkuutähteen korjuu että sen epätasainen jakautuminen vaikuttavat väistämättä metsämaan hajotustoimintaan ja ravinteiden vapautumiseen orgaanisesta aineesta.

Tavoitteena on selvittää, miten kuusen, männyn ja koivun hakkuutähde vaikuttaa metsämaan typen kierron prosesseihin avohakkuun jälkeen. Tutkimus toteutetaan syksyllä 2014 kuusivaltaiseen mustikkatyypin metsikköön perustetulla kokeella. Metsikkö avohakattiin ja siinä yhteydessä perustettiin kuusen, männyn ja koivun hakkuutähdekoealat (tuoretta hakkuutähdettä 40 kg/m$^2$) ja hakkuutähteettömät kontrollikoealat (0 kg/m$^2$) neljänä toistona. Kokeella tutkitaan typen kierron päätapahtumia eli typen mineralisaatiota, nitrifikaatiota, denitrifikaatiota, biologista typensidontaa ja mikrobibiomassaan sitoutunutta typpeä. Lisäksi selvitetään nitrifikaation ja denitrifikaation osuutta dityppioksidin ($N_2O$) tuottajana.

Ensimmäisen vuoden tulosten perusteella hakkuutähde oli kohottanut humuskerroksen pH:ta. Hakkuutähde oli kiihdyttänyt typen nettomineralisaatiota ja nitrifikaatiokin oli alkanut joidenkin kasojen alla. Hakkuutähde oli myös lisännyt mineraalitypen määrää selvästi. Tulokset viittasivat myös puulajikohtaisiin eroihin.

Lisäksi samalla kokeella tutkitaan typpihäviöitä sekä typen huuhtoutumisena että $N_2O$-päästöinä ilmakehään.

# Arktisen hiekkadyynialueen mikrobiyhteisön muutos primäärisukkessiossa

*Microbial community in arctic inland sand dunes shifts with primary succession*

Heli Juottonen[1], Minna Männistö[2] ja Minna-Maarit Kytöviita[1]

[1] Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto, heli.m.juottonen@jyu.fi
[2] Luonnonvarakeskus, Rovaniemi

## Johdanto

Arktisten alueiden maaekosysteemit altistuvat yhä enemmän eroosiolle maankäytön voimistumisen ja ilmastonmuutoksen johdosta. Eroosioalueen maaperäkemian muokkaajina maan mikrobit voivat olla keskeisesti mukana kasvillisuuden kehittymisessä erodoituneille maille. Sirkumpolaariselle alueelle muodostui viime jääkauden jälkeen laajoja sisämaan hiekkadyynialueita [1]. Jään vetäydyttyä voimakkaat tuulet kerrostivat lentohiekkaa dyyneiksi, jotka saivat kasvipeitteen ilmaston lauhtuessa. Sittemmin nämä lentohiekka-alueet ovat monin paikoin menettäneet kasvipeitteensä, ja tuuli on kovertanut niistä kasvittomia deflaatioaltaita [2]. Metsäpalot ja poronlaidunnus ovat hidastaneet tai estäneet kasvillisuuden palautumista. Sisämaan hiekkadyynien deflaatioaltaat toimivat malliekosysteeminä eroosiosta kärsiville arktisille maa-alueille ja niiden kasvipeitteen palautumiselle.

## Aineisto ja menetelmät

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli vertailla subarktisen hiekkadyynialueen mikrobiyhteisöjä primäärisukkession eri vaiheissa. Koealoina oli neljä deflaatioallasta Kalmakaltion dyynialueella Enontekiöllä (68° 29' N, 24° 42' E). Kuhunkin deflaatioaltaaseen määriteltiin kasvillisuuden perusteella kuusi sukkessiovaihetta alkaen kasvipeitteettömästä hiekasta päättyen dyynit alun perin peittäneeseen tunturikoivikkoon. Maanäytteistä eristetystä DNA:sta tutkittiin bakteeri- ja sieniyhteisöt Ion Torrent-sekvensoinnilla. Bakteereille merkkigeeninä käytettiin ribosomaalista 16S RNA-geeniä ja sienille ITS-aluetta. Mikrobibiomassa ja bakteerien ja sienten suhteelliset osuudet määritettiin fosfolipidirasvahappoanalyysin (PLFA) avulla. Maaperäkemian ja kasvillisuuden yhteyttä mikrobiyhteisön rakenteeseen selvitettiin monimuuttuja-analyyseillä.

## Tulokset ja tarkastelu

Sukkession alkuvaiheiden (paljas-hiekka, paljaalla hiekalla kasvava metsälauha (*Deschampsia flexuosa*) ja harva sammalpeite) bakteeriyhteisöt muistuttivat toisiaan ja erosivat selvästi myöhemmistä vaiheista, joiden kasvipeitteisyys oli suurempi. Paljaan hiekan vaiheissa esiintyi *Deinococcus*-suvun bakteereja, joiden tiedetään kestävän hyvin ääriolosuhteita, kuten paljaan hiekan kuivuutta ja suuria lämpötilavaihteluja. Seuraavassa sukkessiovaiheessa, jossa paljaan hiekan päällä on jäkälä- ja sammalkerros, bakteeriyhteisö muistutti jo enemmän variksenmarjavarvikon (*Empetrum nigrum*) ja tunturikoivikon yhteisöjä kuin paljaan hiekan vaiheita. Tämä ryhmittely viittaa siihen, että jo hyvin ohuen kasvillisuuskerroksen muodostuminen riitti muuttamaan bakteeriyhteisön koostumusta sukkession myöhempien, kokonaan kasvipeitteisten vaiheiden kaltaiseksi. Variksenmarjavarvikossa ja tunturikoivikossa maan orgaanisen aineksen, hiilen, typen ja fosforin pitoisuudet olivat selvästi korkeampia kuin hiekkavaiheissa ja pH alhaisempi. Näissä myöhemmissä sukkessiovaiheissa acidobakteerien osuus oli suurimmillaan, ja yleisesti acidobakteerien osuus kasvoi pH:n laskiessa. Suhteellisen osuuden lisäksi myös acidobakteerien esiintyminen ryhmätasolla vaihteli sukkessiovaiheiden välillä. Ryhmät 7 ja 4 olivat tunnusomaisia hiekkaisille vaiheille, ryhmä 3 esiintyi kaikissa sukkessiovaiheissa, ja ryhmä 1 runsastui tunturikoivikkovaiheessa. Kasvillisuus ja maaperäkemia yhdessä selittivät 15% bakteeriyhteisön koostumuksen vaihtelusta.

Bakteeridiversitetti oli alhaisin puhtaassa hiekassa ja oletusten vastaisesti korkein variksenmarjavaiheessa eikä tunturikoivikossa, jossa ravinnemäärät ovat suurimmat. Samoin sienten osuus biomassasta oli suurin variksenmarjavaiheessa mutta korkea myös tunturikoivikossa. Mikrobiomassa oli selvästi suurin tunturikoivikossa, alhaisempi varvikossa ja pienimmillään paljaan hiekan vaiheissa.

Tulokset bakteeriyhteisöjen osalta osoittavat, että jäkälä- ja sammalpeitteen muodostuminen paljaan hiekan päälle muutti yhteisökoostumusta, myöhempien, kokonaan kasvipeitteisten vaiheiden kaltaiseksi. Jäkäläpeitteen alla ravinnemäärät ja pH olivat vielä lähellä paljaan hiekan vaiheita, joten peitteen merkitys kosteuden pidättämisessä voi selittää muutoksen. Jäkälä- ja sammalpeitteen muodostuminen on tärkeä vaihe lentohiekan vakauttamisessa ja kasvipeitteen kehittymisessä. Peitteen alaisen hiekan bakteeriyhteisöllä voi olla näin olla osuutta kasvillisuuden palautumisessa eroosioalueille.

**Kirjallisuus**

[1] Johansson, P., Sahala, L., Virtanen, K. 2000. Rantamerkit, tuulikerrostumat ja moreenikerrostumat geologisina luontokohteina. *Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti* 151.

[2] Seppälä, M. (1995) Deflation and redeposition of sand dune in Finnish Lapland. *Quaternary Science Reviews* 14:799-809.

# Veden säästäminen on meille Faintendissä ykkösasia

Kenneth Jönsson

Oy Faintend Ltd, Joensuunkatu 15, 24100 Salo, kenneth.jonsson@faintend.com

Valmistamme Salossa tensidin Greenfain WP3 jonka avulla autamme veden säästämisessä. Rikomme veden pintajännityksen, jonka ansiosta kasteluvesi tunkeutuu maahan helpommin ja nopeammin. Kasteluveden tunkeutuessa maahan se kastelee aluetta sekä vertikaalisesti että horisontaalisesti. Kun maaperä saadaan pysymään tasaisen kosteana, kasvi pystyy kehittämään hienompaa juuristoa ja kasvaa siten terveemmin. Siitä syystä voi myös säästää lannoitteiden ja torjuntaaineiden käytössä. Kasvi osaa myös paremmin hakea ravinteita maasta.

Kastelussa Greenfainin avulla maahan jää jäämiä, jonka vuoksi käsittely Greenfainilla ei ole tarpeellista kuin ehkä 3-4 viikon välein. Muuna aikana kastelu tapahtuu normaalista, mutta huomattavasti pienemmällä vesimäärällä. Olemme Saudeissa pystyneet säästämään jopa 65% veden määrästä. Paljon riippuu myös kastelutavasta.

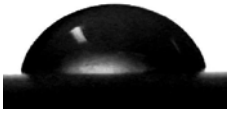
Vuonna 2016 olemme LUKEn avulla Siinain niemimaassa Egyptissä onnistuneet kokeissamme mm siten, että ohranviljelyssä säästimme 50% veden kulutuksessa saamalla jopa hieman suurempi sato kuin vertauskohteessa jossa käytettiin 100 % vettä ilman Greenfain WP3.

Tarkoituksemme on saada maailman tietoon aineemme hyviä ominaisuuksia ja toivomme voivamme viedä teknologiamme maailman kuiviin maihin.

Greenfain WP3 on suomalainen avainlippumerkkituote. Se on pitkän tutkimus- ja tuotekehitystyön tulos, jossa mukana ovat olleet myös tuotteen käyttäjät. Turun yliopistolla (TY) vuonna 2011 tehdyssä tutkimuksessa havaittiin Greenfain WP3:n pienentävän veden pintajännitystä huomattavasti enemmän kuin vertailussa oleva kilpailijatuote ja kontaktikulman olevan jopa pienempi kuin aiemmalla vastaavalla tuotteellamme, Greenfain WP3:lla.

**Mitä pienempi kontaktikulma, sitä parempi veden tunkeutuvuus (TY 2011).**

VESI 105°



KILPAILIJA 74°

Greenfain WP3: 47°

**Ominaisuuksia:**

- ❖ tuote antaa kasveille ja nurmikolle uutta elinvoimaa ja enemmän vehreyttä.
- ❖ taloudellinen, sillä sen ansiosta säästyy huomattava määrä kasteluvettä. Kasteluveden säästö voi olla jopa 30-40 % käyttökohteesta riippuen. Tuotteen käyttö säästä aikaa ja energiaa sekä vähentää merkittävästi valumien syntymistä.
- ❖ täysin veteen liukeneva.
- ❖ biologisesti helposti ja nopeasti hajoava ekologinen tuote.
- ❖ ei sisällä saippuapohjaisia tensidejä eikä alkoholia.
- ❖ tuotteen tehokkuus ja turvallisuus perustuu patentoituun, suomalaiseen Fain –pinta-aktiiviseen orgaanisten aineiden seokseen ja sen pitkäaikaiseen kehitystyöhön.

Greenfain WP3 ei ole ärsyttävä eikä haitallinen tuote käyttäjälle eikä ympäristölle.

**Käyttöalueita:**

- ❖ WP3 soveltuu erilaisten maa-ainesten, kasvualustojen viheralueiden sekä mm. kuivalaikkujen kastelussa käytettävän kasteluveden pintajännityksen poistamiseen
- ❖ Soveltuu myös tuhkan, hiilen, kuonan ym. huokosten aineiden kasteluun.
- ❖ voidaan käyttää sadevesien synnyttämien lammikoiden nopeaan imeyttämiseen maaperään.
- ❖ Tuotetta voidaan käyttää, koneelliseen tai käsin tapahtuvaan kasteluun.
- ❖ Voidaan käyttää myös kotikukkien, pihanurmikoiden, pensaiden, puiden ja kasvipuutarhojen ym. alueiden kastelussa
- ❖ Käsittely toistetaan tarvittaessa tai 4-10 viikon välein kasvualustasta ja tilanteesta riippuen.

**Annostus:**

- ❖ peruskäsittely: ~ 1: 500 (0,2 %), esim. 500 ltr vettä = 1,0 ltr Greenfain
- ❖ jatkokäsittely: ~ 1:1000 (0,1 %), esim. 1000 ltr vettä = 1,0 ltr Greenfain
- ❖ kuivalaikuissa ja erittäin kuivissa olosuhteissa lisätään annostusta ja toistokertoja tarpeen mukaan. Ei vahingoita kasvustoa eikä jätä haitallisia kertymiä maa-ainekseen.

Annostus kotipuutarhassa = 10 ltr kastelukannuun n. 1 ruokalusikallista Greenfain tuotetta.

TENSIOMETRIMITTAUS
(Pintajännitysmittaus)

Greenfain WP3, käyttöliuos 0,1 % = 30,1 mN/m

Vesi = 72,5 mN/m

# Torjunta-aineiden tutkiminen vesistöistä perinteisen vesinäytteenoton ja Chemcatcher-passiivikeräimien avulla

*Pesticide monitoring via traditional surface water sampling and Chemcatcher® passive sampling*

Heidi Ahkola[1], Katri Siimes[2] and Anri Aallonen[3]

[1] Suomen ympäristökeskus (SYKE), Survontie 9 A, 40500 Jyväskylä
[2] Suomen ympäristökeskus (SYKE), PL 140, 00251 Helsinki
[3] Ramboll Analytics, Niemenkatu 73, 15140 Lahti

Euroopan Unioinin (EU) vesipolitiikan puitedirektiivissä (VPD) esitettyjen ympäristölaatunormien [1] avulla kemikaalien pitoisuudet vesissä pyritään pitämään haitattomalla tasolla. Vuosittaisen korkeimman sallitun ympäristölaatunormin arvioimiseksi VPD vaatii vähintään kerran kuukaudessa toteutettavaa haitta-aineiden pitoisuuksien seurantaa. Ympäristölaatunormin määritys perustuu tavanomaisten vesinäytteiden analysointiin, mikä kuvaa ainoastaan tietyllä ajanhetkellä ja tietystä pisteessä olevaa tilannetta. Esimerkiksi torjunta-aineiden pitoisuudet voivat pintavesissä kuitenkin olla niin alhaisia, että niitä ei vesinäytteestä havaita tai vastaavasti vaadittu näytetilavuus kasvaisi useiksi litroiksi. Torjunta-aineiden levityksen ajankohta, huuhtoutuminen ja veden virtausolosuhteet vaikuttavat siihen ajoittuuko näytteenotto torjunta-ainepiikin kohdalle vai ei. Vesinäytteenoton haavoittuvuus on tiedostettu ja vuonna 2013 EU lanseerasi direktiivin [1], jossa kannustettiin erilaisten passiivikeräinmenetelmien kehittämiseen.

Torjunta-aineita tutkittiin Savijoelta kahdelta näytepaikalta kesällä 2016 vesinäytteiden ja passiivikeräimien avulla. Passiivikeräimiä altistettiin kahden viikon ajanjaksoja toukokuusta syyskuuhun, yhteensä yhdeksän kertaa. Vesinäytteitä otettiin kaksi kertaa kuukaudessa. Torjunta-aineiden kerääntymisnopeus määritettiin laboratoriokokeella, jolloin Savijoessa altistettujen keräimien ng/keräin –määrä voidaan muuntaa ng/L pitoisuudeksi [2] mitä edelleen voidaan verrata torjunta-aineiden ympäristölaatunormiin.

Passiivikeräimien avulla havaittiin 41 torjunta-ainetta alajuoksulla sijaitsevalta näytepaikalta ja 20 ainetta yläjuoksun mittapadolta; vesinäytteillä havaittujen yhdisteiden määrä oli vastaavasti 30 ja 23. Torjunta-ainepitoisuudet pintavesissä vaihtelevat merkittävästi lyhyessäkin ajassa. Torjunta-aineiden seuranta vesistä perinteisen vesinäytteenoton avulla voi antaa jopa harhaanjohtavan kuvan vesistön todellisesta tilasta, sillä riittävän tiheää näytteenottoa ei yleensä ole mahdollista järjestää. Passiivikeräimien avulla voidaan määrittää torjunta-aineiden keskiarvoinen pitoisuus kahden viikon ajan jaksolta, mikä antaa edustavamman kuvan läsnä olevista yhdisteistä. Keräimien avulla myös voidaan havaita yhdisteitä, joiden pitoisuus vesinäytteessä jää alle määritysrajan. Passiivikeräimien käyttö tarjoaa kustannustehokkaan menetelmän torjunta-aineiden pitoisuuksien tutkimiseen muuttuvissa ympäristöolosuhteissa.
Tutkimus toteutettiin maa- ja metsätalousministeriön rahoittaman Maa- ja metsätalouden kuormituksen ja sen vesistövaikutusten seuranta (MaaMet) sekä ympäristöministeriön rahoittaman Vesien- ja merenhoidon uudet prioriteettiaineet (UuPri) -hankkeiden turvin.

## Kirjallisuus

[1] EC 2013. Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy Text with EEA relevance. *Official Journal of the European Union* L226:1-17.

[2] Ahkola, H., Juntunen, J., Laitinen, M., Krogerus, K., Huttula, T., Herve, S. and Witick, A. 2015. Effect of the orientation and fluid flow on the accumulation of organotin compounds to Chemcatcher passive samplers. *Environmental Science: Processes & Impacts* 17: 813 – 818.

# Biohiili maan mururakenteen ja huokoisuuden parantajana

Jaakko Heikkinen[1], Johanna Nikama[1], Jari Hyväluoma[1], Helena Soinne[2] ja Kimmo Rasa[1]

[1]Luonnonvarakeskus (Luke), Humppilantie 14, 31600 Jokioinen
[2] Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto

Peltomaan viljavuus riippuu ravinnetilan ohella maan rakenteesta ja sen huokoskokojakaumasta. Eroosio ja ravinteiden huuhtoutuminen ovat myös vähäisempää hyväkuntoisesta maasta, mikä vähentää ruuantuotannon ympäristövaikutuksia. Biohiilen lisäämistä maahan on esitetty yhdeksi keinoksi parantaa maan rakennetta pitkäaikaisesti. Biohiiltä tuotetaan pyrolysoimalla eloperäistä ainesta hapettomissa olosuhteissa ja korkeassa lämpötilassa. Monet maatalouden ja teollisuuden sivuvirrat sopivat biohiilen raaka-aineeksi.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin biohiilen vaikutusta maan mururakenteeseen ja huokoskokojakaumaan. Tutkimuksessa käytettiin savimaata ja 320°C lämpötilassa pyrolysoitua pajuhiiltä. Muhitusta varten valmistettiin maanäytteet 5% biohiililisäyksellä ja ilman biohiiltä. Näytteitä muhitettiin kenttäkapasiteettia (pF2) vastaavassa kosteudessa 3 kuukauden ajan, jonka jälkeen näytteiden vedenkestävien murujen osuus määritettiin kolmessa eri murukokoluokassa: <2mm, 2-6mm ja >6mm. Maan huokoisuutta tutkittiin näytteiden vedenpidätyskyvyn avulla.

Biohiilen lisääminen maahan lisäsi vedenkestävien murujen osuutta maassa. Kosteassa maassa lisäys oli noin 27 %. Kuivatuissa näytteissä biohiili lisäsi vedenkestävien murujen osuutta noin 5 %. Vaikutus riippui murukokoluokasta niin, että biohiili lisäsi erityisesti pienten murujen kestävyyttä. Alustavien tulosten perusteella biohiili lisää maan vedenpidätyskykyä.

Tutkimuksen perusteella biohiilen maanparannusvaikutus on lupaava. Erityisesti biohiili voisi soveltua huonon rakenteen ja heikon vedenpidätyskyvyn vuoksi ajoittain kuivuudesta kärsivien viljelymaiden kunnostukseen. Biohiilet kuitenkin poikkeavat ominaisuuksiltaan riippuen lähtömateriaalista ja menetelmästä. Erityisen tärkeää olisikin kehittää biohiilituotteita siten, että niiden käyttö johtaisi maaperän ja ympäristön kannalta parhaimpaan lopputulokseen.

# Esimerkkejä edullisen kauko-ohjattavan kopterin käytöstä maaperätutkimuksissa

*Examples of the use of affordable remote-controlled multi-copter in soil surveys*

Ari Ikonen[1] ja Ville Kangasniemi[1]

[1] EnviroCase Oy, Hallituskatu 1 D 4, 28100 Pori

Kauko-ohjattavat kopterit ovat yleistyneet viime aikoina niiden teknisen kehityksen ja hintojen laskun vuoksi. Viranomais- ja harrastuskäytön lisäksi kopterien moninaiset hyödyntämismahdollisuudet ovat avanneet ovia uudenlaiselle tutkimukselle ja yritystoiminnalle ja kauko-ohjattavia koptereita käytetäänkin nykyään työkaluna mm. erilaisissa ympäristötutkimuksissa sekä metsävarojen ja viljelyalojen kartoittamisessa.

Perinteiseen ilmakuvaukseen verrattuna kauko-ohjattava kopteri mahdollistaa tarkempien kuvien ottamisen otollisissa olosuhteissa ja käyttökelpoiseen lopputulokseen päästään nykyään jo edullisemmillakin kopterimalleilla (kuva 1). Kopterilla kuvaaminen on myös nopeampaa ja vaivattomampaa ilmakuvaukseen verrattuna, sillä sopivien olosuhteiden koittaessa ovat kopterikuvauksen esivalmistelut ennen varsinaisen kuvauksen aloittamista lyhyet. Kauko-ohjattava kopteri on melko herkkä tuulelle, mutta toisaalta kuvaaminen onnistuu pilvisemmissäkin olosuhteissa matalan lentokorkeuden vuoksi. Kopteri toimii tarvittaessa myös työkaluna kenttätöissä; se antaa mahdollisuuden tutkia kohteita, joihin on joko hankala tai mahdoton päästä (esimerkiksi saaret ja jyrkänteet) ja kopterilla voidaan myös luoda yleissilmäys tutkimusalueeseen ilmasta käsin tai kartoittaa kenttätöiden aikana sopivia tutkimuspaikkoja lähiympäristöstä, jolloin maastotöiden ajankäyttö tehostuu.

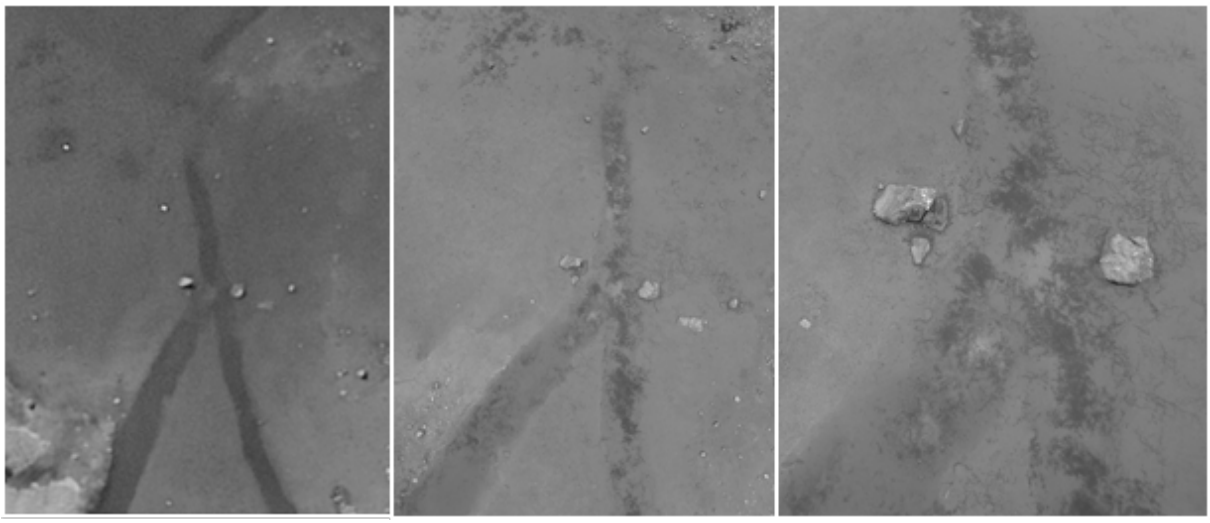
**Kuva 1.** Esimerkki edullisesta kauko-ohjattavasta kopterista kuvausvalmiudessa: Yuneec Q500 Typhoon+, lentoonlähtömassa 1,8 kg.

Kauko-ohjattavan kopterin käyttö vaatii harjoittelua ja koneen ohjaajan tulee olla tietoinen viranomaisen määräyksistä ja voimassa olevista ilmailuun liittyvistä pysyvistä ja tilapäisistä rajoituksista. Edullisten kopterien käyttöä rajoittavat akun lyhyt kesto (kuvaustapahtuma tulee suunnitella hyvin etukäteen), erilaiset esteet (sähkölinjat, puut, maastonmuodot ja rakennukset), kauko-ohjaimen kantama, pienehkö lentokuorma (rajoittaa raskaampien kameroiden ja antureiden käyttöä), olosuhteet (tuuli, sade ja hämärä/pimeä), viranomaismääräykset (mm.

enimmäislentokorkeus ja näköyhteyden säilyttäminen), pysyvät ja muuttuvat ilmailurajoitukset (tarkistettava päivittäin) sekä kotirauhaan ja yksityisyyteen liittyvät seikat.

Kopterin mukana tulevalla tai siihen asennettavalla kameralla voidaan kuvata monenlaisia ympäristötyyppejä ja tunnistaa niistä erilaisia muuttujia (mm. kasvillisuus, suon ominaisuudet, pintasedimentin ja maaperän laatu). Lentokorkeudella on suoraan alaspäin kuvattaessa mahdollisuus säädellä kuvan tarkkuutta ja toisaalta kartoitettavan alan laajuutta (kuva 2). Kuvauskulmaa säätämällä on mahdollisuus kuvata viistosti laajempia alueita karkeammalla tasolla (käyttökelpoinen vaihtoehto tutkimuksen suunnitteluvaiheessa esimerkiksi suoympäristössä). Ajankohdan ja olosuhteiden vaikutus tutkimustuloksiin ja päätelmiin on ilmeinen; kuvauksia suunniteltaessa ja kuvia analysoitaessa tuleekin miettiä tarkkaan, mitä kyseisenä ajankohtana havaitaan ja mitä jää mahdollisesti havaitsematta (esimerkkinä kuva 2).

Esityksessä esitetään yllä esitettyjä kopterin hyödyntämisen mahdollisuuksia ja rajoitteita tarkemmin sekä esitellään kopterin käyttökohteita esimerkkikuvien avulla.



**Kuva 2.** Matalan ja kivikkoisen merenlahden (Viasvedenlahti, Pori) pohjan muotoja kolmella tarkkuudella: tavanomaisesta ilmakuvasta rajattu kuva (vasen) sekä kauko-ohjattavalla kopterilla 50 metrin (keskellä) ja alle 10 metrin (oikea) korkeudelta otetut kuvat. Ilmakuva: © Maanmittauslaitos, 5/2015 (ladattu 10/2016); muut kuvat: Ville Kangasniemi (10/2016).

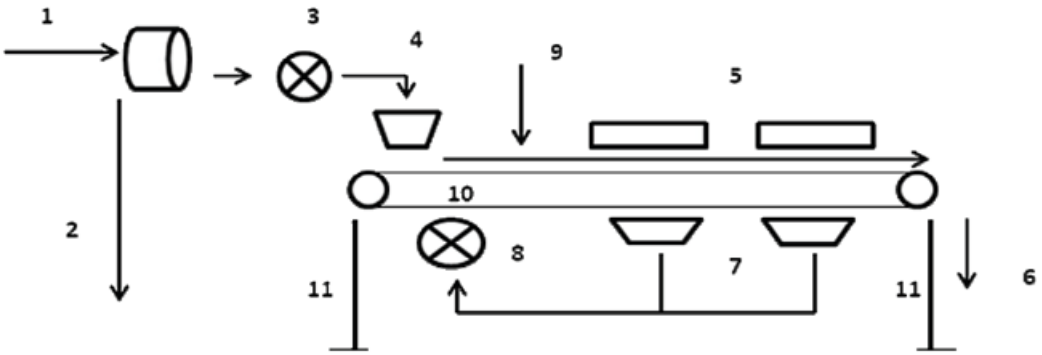
# PASKÍER-prosessi puhdistamolietteen kuivauksessa

*PASKÌER process in dying of sewage sludge*

Petri Kapuinen

Luonnonvarakeskus, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö, petri.kapuinen@luke.fi

PASKÍER-prosessi (kuva 1) perustuu kuivaukseen infrapunasäteilyllä 850 °C:een lämpötilassa [1]. Menetelmää on käytetty mm. Etelä-Afrikassa kaivoslietteiden kuivaukseen. Prosessissa syntyy lannoitevalmistetta, joka nykyisellään luokitellaan orgaanisten maanparannusaineiden tyyppinimiryhmän tyyppinimeen kuivarae tai –jauhe kuuluvaksi [2]. Infrapunakuivatulla lietteellä on merkittäviä etuja suhteessa esimerkiksi mekaanisesti kuivattuun mädätysäännökseen ja muilla menetelmillä kuivattuihin kuivarakeisiin nähden. Sen kuljetuskustannukset ovat selvästi pienemmät kuin vain mekaanisesti kuivatun mädätysjäännöksen. Mekaanisesti kuivatun mädätysjäännöksen kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 30 % ja kuivarakeen 90 % [3]. Periaatteessa kuljetettava massaa pienenee kolmasosaan. Suhteessa muihin vastaaviin kuivausmenetelmiin energiankulutus on pienempi. Infrapunakuivaukseen käytettävä laite on kooltaan pienempi ja hankintakustannukseltaan edullisempi kuin muuta vastaavaan tarkoitukseen käytettävät laitteistot.




**Kuva 1.** PASKÍER-prosessiin perustuva kuivauslaite. 1) esiseula, 2) kiinteä epäorgaaninen materiaali, 3) suulakepuristin, 4) infrapunakuivaimen syötin, 5) infrapunakuivausyksiköt, 6) kuivattu liete, 7) vakuumilaatikot, 8) vakuumipuhallin, 9) kuivausilman palautus, 10) teräskudosnauha, 11) runko [1]

Menetelmässä liete puristetaan mekaanisen kuivauksen jälkeen suulakkeen läpi, jolloin siitä muodostuu noin 3 - 5 mm halkaisijaltaan olevia nauhoja [1]. Nämä nauhat kuivataan tasaisena noin 3 – 5 mm:n kerroksena teräskudosnauhalla keskiaallon (1 – 2 µm) infrapunasäteilyllä. Lietteen kuivumislämpötila voidaan säätää säteilyä säätämällä välillä 100 – 850 °C. Nauhan nopeus säädetään taajuusmuuntajan avulla niin, että lietteen residenssiaika on sen hygienisoitumisen kannalta riittävä. Säteilyn vaikutusta tehostetaan imemällä käsiteltävän lietekerroksen läpi ilmaa kuljetusnauhan alta ja palauttamalla se nauhan päälle.

Kuivattu tuote (taulukko 2) voidaan käyttää sellaisenaan tai jalostaa edelleen. Sille on ominaista keveys verrattuna muihin kuivarakeisiin ja –jauheisiin. Keveys on haitaksi levitettäessä tuotetta lannoitteen levittimellä, mutta se voidaan levittää kuivalannan tarkkuuslevittimillä ja se sopii hyvin ympäristökorvauksen ympäristösitoumuksen lohkokohtaiseen toimenpiteeseen: Ravinteiden ja orgaanisen aineksen kierrättäminen, koska siinä pienin levitysmäärä (15 $m^3$/ha), jolla tuen (40 €/ha = 2,67 €/$m^3$) saa on määritelty tilavuutena eikä massana hehtaaria kohti [4]. Keveyden takia tukeen oikeuttava levitysmäärä

käyttö on mahdollinen ainakin välttävässä viljavuusluokassa toisin kuin useimmilla vastaavilla raskaimmilla kuivarakeilla. Samalla tuesta muodostuu suurempi massaa kohti (7,73 €/t), jolloin se kattaa suuren osan kustannuksista, kun kustannus muodostuu ensisijassa massasta ja tuen määrä on lähes yhtä suuri kuin ravinteiden arvo. Ravinteiden arvo painottuu fosforiin (80,4 %), ja kuivarae on ensisijassa fosforin lähde. Liukoinen typpi on arvostettavissa täyteen hintaan täydennyslannoituksen olleessa suositusten [3] mukainen. Fosforin arvostaminen on ongelmallista, koska sen todelliseen kasveille käyttökelpoisuuteen vaikuttaa mm. käytettyjen saostuskemikaalien määrä. Markkinahintaa alentaa se, että fosforia ei yleensä ole tarpeellista käyttää joka vuosi. Levityskustannus 2,23 – 2,66 €/m$^3$ [6] ylittää typen ja kaliumin arvon, joten tuki kasvattaa viljelijän mielenkiintoa siihen merkittävästi, jos viljelijällä ei ole perusteita arvostaa sen fosforia pellon riittävien fosforilukujen takia.

**Taulukko 1.** Erään infrapunavalolla kuivatun liete-erän ominaisuudet

| | Pitoisuus | Ravinteen arvo, €/kg [5] | Tuotteen arvo €/t | Tuotteen arvo €/m$^3$ | Osuus arvosta, % |
|---|---|---|---|---|---|
| Kokonaistyppi | 28,7 kg/t | | | | |
| Vesiliukoinen typpi | 4,5 kg/t | 0,73 | 3,30 | 1,14 | 14,5 |
| Ammoniumtyppi | 2,5 kg/t | | | | |
| Vesiliukoiset org. typpi | 2,0 kg/t | | | | |
| Kokonaisfosfori | 19,7 kg/t | | | | |
| Vesiliukoinen fosfori | 34,1 g/t | | | | |
| Kasveille käyttökelpoinen fosfori | 11,8 kg/t | 1,55 | 18,32 | 6,32 | 80,4 |
| Kokonaiskalium | 1,5 kg/t | 0,78 | 1,16 | 0,40 | 5,1 |
| Tilavuuspaino | 345 kg/m$^3$ | | | | |
| Kosteus | 10,3 % | | | | |
| Orgaaninen aines | 60,7 % | | | | |
| Ravinnearvo yhteensä | | | 22,78 | 7,86 | 100,0 |

Kun tuote jalostetaan edelleen rakeistamalla, saadaan paremmin tavanomaisiin lannoitteen levittimiin sopiva lannoitevalmiste. Kun rakeisen lannoitevalmisteen tilavuuspaino ja raekoko ovat lähellä mineraalilannoitteen vastaavia, voidaan niistä muodostaa mekaaninen seos, jossa ravinnesuhteet ovat kasvin tarpeen mukainen ja joka on levitettävissä tavanomaisilla kylvölannoittimilla.

## Kirjallisuus


[1] Nanopar 2014. PASKÍER Prosessi. Saatavilla: http://www.nanopar.fi/tuotteet.php [Viitattu 8.10.2016]

[2] MMM 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24. Annettu Helsingissä 1. syyskuuta 2011. Saatavilla: www.finlex.fi/data/normit/37638-11024fi.pdf [Viitattu 8.10.2016]

[3] Tontti. T., Kapuinen, P., Orajärvi, J., Joki-Tokola, E., Laurila,. M. Ikäläinen, T. Kekkonen, J. Veijalainen, A.-M. 2015. Orgaanisten lannoitevalmisteiden varastointi, levittäminen ja annostelu. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46: 1 – 79. Saatavilla: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-092-4[Viitattu 8.10.2016]

[4] VN 2015. Valtioneuvoston asetus ympäristökorvauksesta 235. Annettu Helsingissä 19. päivänä maaliskuuta 2015. [Viitattu 8.10.2016]

[5] MT 2016. Maaseudun Tulevaisuus 22.8.2016. Lannoitteiden hinnat. s. 7.

[6] Palva, R. 2015. Konetyön kustannukset ja tilastolliset urakointihinnat. Maataloustyö ja tuottavuus. *TTS:n tiedote 3*: 1 – 12.

# Oranki – Hanke orgaanisen aineksen merkityksestä maaperän tuottokyvylle

*Orangutan – A project on the role of organic matter in soil productivity*

Riikka Keskinen[1], Anu Akujärvi[2], Juha Grönroos[3], Kari Hyytiäinen[4], Sanna Kanerva[5], Pirkko Kortelainen[2], Visa Nuutinen[1], Katri Rankinen[2], Mari Räty[6], Tapio Salo[1], Asko Simojoki[5], Helena Soinne[5], Eila Turtola[1]

[1]Luonnonvarakeskus Luke, Luonnonvarat ja biotuotanto, Jokioinen
[2] Suomen ympäristökeskus Syke, Ekosysteemien toiminta, Helsinki
[3] Suomen ympäristökeskus Syke, Luonnonvarojen käytön kestävyys, Helsinki
[4]Helsingin yliopisto, Taloustieteen laitos, Helsinki
[5]Helsingin yliopisto, Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, Helsinki
[6]Luonnonvarakeskus Luke, Vihreä teknologia, Maaninka

Oranki-hankkeessa tuotetaan tietoa orgaanisen aineksen merkityksestä maan kasvukunnolle, valumavesiä vastaanottavien vesistöjen laadulle sekä ruuantuotannon taloudelliselle kannattavuudelle. Hankkeen viisi työpakettia on esitelty lyhyesti alla. Interaktiivinen tiedonvälitys on tärkeä osa hanketta, ja tutkimuksen etenemistä voi seurata sivustolla: *https://peda.net/hankkeet/**oranki***

Orgaanisen aineksen ja maan rakenteen välistä yhteyttä tutkitaan maan rakennetta kuvaavilla kenttä- ja laboratoriomittauksilla (mm. vedenjohtavuus, irtotiheys, penetrometrivastus, juuriston laajuus, maamurujen kestävyys ja C/saves-suhde). Mittaukset toteutetaan hyvin ja huonosti tuottavilla peltolohkoilla Luken koeasemilla sekä käytännön maatiloilla. Tulosten avulla selvitetään, näkyvätkö hyvien ja huonojen lohkojen satoerot eroina maan rakenteessa ja kuinka paljon orgaanisen aineksen määrä selittää maan rakenne-eroja.

Maan orgaanisesta aineksesta mineralisoituvan typen vaikutusta typpilannoitustarpeeseen selvitetään vertaamalla vierekkäisten typpilannoitettujen ja –lannoittamattomien alueiden satotasoja Maiden mikrobiologista aktiivisuutta ja typen nettomineralisaatiota tutkitaan inkubointikokeella. Lisäksi typen mineralisaation vaikutusta lannoitustarpeeseen tarkastellaan COUP-mallin avulla.

Maaperän hiilivarastoa kerryttävistä viljelymenetelmistä sekä niiden rakenne, sato- ja vesistövaikutuksista kerätään tietoa kirjallisuudesta. Kirjallisuusselvityksen tueksi toteutetaan viljelijäkysely hankkeessa mukana oleville tiloille.

Yhdistämällä Itämereen laskevien isojen jokien ravinnepitoisuuksien ja ravinnesuhteiden (C/N) pitkäaikaisseurannan trendit jokien valuma-alueiden ominaisuuksiin ja maankäyttöön selvitetään maaperän vaikutusta ravinnepäästöihin.

Hankkeen tulokset sisällytetään monimuuttujamalliin, jonka avulla tunnistetaan hyvin ja huonosti tuottavien lohkojen ominaisuuksia ja maan hyvään kasvukuntoon johtaneita toimenpiteitä. Lisäksi kootaan bioekonominen malli, jota analysoimalla tarkastellaan maaperän ominaisuuksien ja erilaisten viljelyn valintojen vaikutuksia satoon, ympäristöön ja talouteen.

Tutkimus toteutetaan vuosina 2016−2019 Maa- ja metsätalousministeriön rahoituksella osana Maatalouden ympäristövaikutusten tutkimusohjelmaa (MATO). Tutkimuksessa laaditaan suositukset maaperän hoitotoimenpiteistä, joilla viljelijä voi saavuttaa mahdollisimman suuren tuoton mahdollisimman pienillä tuotantopanoksilla samalla minimoiden viljelystä aiheutuvat negatiiviset ympäristövaikutukset.

# Kerä- ja pintasienijuuren muodostus maan pakkaskäsittelyjen jälkeen

Jouni Kilpeläinen[1], Mauritz Vestberg[2], Tapani Repo[3] ja Tarja Lehto[1]

[1]Itä-Suomen yliopisto, metsätieteiden osasto, Joensuu
[2]Luonnonvarakeskus, Laukaa
[3]Luonnonvarakeskus, Joensuu

Laajalti hyväksytyn teorian mukaan eri mykorritsatyyppien vallitsevuus eri kasvillisuusvyöhykkeillä liittyy pääasiassa siihen, kuinka hyvin eri tyypit pystyvät ottamaan maasta kasvua rajoittavia ravinteita. Ravinteiden saatavuuden taas oletetaan johtuvan välillisesti ilmastosta maaperän ominaisuuksien kautta. Ilmastolliset tekijät, varsinkin lämpötila ja kosteus kuitenkin saattavat määrittää eri mykorritsatyyppien menestymistä myös suoranaisesti eikä ainoastaan ravinteiden kautta. Hankkeemme hypoteesina on, että keräsienijuuret eli arbuskelimykorritsat (AM) kestävät kuivuutta paremmin kuin pintasienijuuret eli ektomykorritsat (EM) ja EM kestävät alhaisia lämpötiloja paremmin kuin AM. Posterissa esitellään erittäin alhaisten lämpötilojen vaikutuksia maaperässä oleviin sieniin. Keräsimme pintamaata erilaisilta metsä- sekä niittykasvupaikoilta Kolin kansallispuistosta ja Joensuun ympäristöstä. Sekoitimme ja homogenisoimme maan, jotta siinä olisi kattavasti ja tasaisesti eri sienijuurisieniä. Maa jaettiin eriin, jotka altistettiin +5°C (kontrolli), -12. -25, -48 ja -130°C lämpötiloille. Tämän jälkeen rauduskoivun (*Betula pendula*), harmaalepän (*Alnus incana*) sekä valkoapilan (*Trifolium repens*) siemeniä kylvettiin maihin kasvatuskammioissa. Taimia kasvatettiin suotuisissa olosuhteissa 11 viikkoa, jolloin taimet korjattiin ja niiden mykorritsanmuodostus sekä lehtien ravinnepitoisuudet määritettiin.

Käsittelyt eivät vaikuttaneet pintasienijuuren muodostukseen mitenkään koivussa eikä lepässä. Arbuskelien muodostus niin ikään oli samanlaista eri käsittelyissä, mutta vesikkeleitä, AM-rihmoja sekä itiönmuodostusta oli vähemmän kylmimpien käsittelyjen jälkeen apilassa. Rihmastoa oli vähemmän myös lepässä. Ammoniumasetaattiliukoisen fosforin määrä maassa lisääntyi pakkaskäsittelyjen jälkeen, mutta apilassa fosforipitoisuus väheni alhaisempien lämpötilojen jälkeen.

Tulokset tukivat hypoteesia, sillä EM sietivät pakkasta paremmin kuin AM. Vähäisempi vesikkelien, rihmaston ja itiöiden muodostus voi johtua kasvullisen rihmaston kuolemisesta; maassa olevat itiöt ovat kestävämpiä, mutta kasvuun lähtö voi olla hitaampaa. Lajikoostumuksen muutokset ovat myös mahdollisia, ja niitä selvitetään edelleen. Hitaampi kasvuun lähtö keväällä voi olla osasyynä keräsienijuuren suhteellisen vähäiselle määrälle kylmissä ilmastoissa.

# Nano-erbiumin ja nano-dysprosiumin vaikutus *Cerrena unicolor* - valkolahosienen hapettavien entsyymien tuottoon ja haitallisten yhdisteiden biohajotukseen

*Effects of nano-erbium and nano-dysprosium to the production of oxidative enzymes and biodegradation of harmful xenobiotics compounds with white-rot fungus Cerrena unicolor*

Anu Kinnunen[1], Annele Hatakka[1] ja Mika A. Kähkönen[1]

[1] Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos/ Mikrobiologian ja biotekniikan osasto, Biokeskus 1 (Viikinkaari 9), 00014 Helsingin yliopisto

## Johdanto

Nanotiede on tuottanut monia materiaaleja, joilla on aiempaa soveltuvampia ominaisuuksia verrattuna tavallisen mikrokokoluokan materiaaleihin. Harvinaisiin maametalleihin kuuluvien erbiumin (Er) ja dysprosiumin (Dy) nanokoon partikkeleita on käytetty muun muassa elektroniikassa ja lasertekniikassa. Nano-Er ja nano-Dy käyttäytyvät eri tavalla kuin niiden vastaavat perinteiset muodot, sillä partikkelikoon pienentyessä pinta-alan suhde tilavuuteen kasvaa. Nanopartikkelit avaavat uusia mahdollisuuksia, mutta samalla niiden ympäristövaikutukset ja -käyttäytyminen tulisi tutkia maaperässä ja eliöissä. Puuta, kariketta ja maata kolonisoivat kantasienet tuottavat hapettavia solunulkoisia epäspesifisiä ligninolyyttisiä entsyymejä, joita tarvitaan erityisesti puuaineksen vaikeasti hajoavan ligniinin, mutta myös haitallisten aromaattisten yhdisteiden hajoittamiseen [1]. Maaperässä olevalla nikkelillä on todettu olevan haitallinen vaikutus kantasienten kasvuun ja hapettavan lakkaasientsyymin tuottoon [2]. Vain vähän tiedetään nano-erbiumin ja nano-dysprosiumin vaikutuksista maaperässä ja karikkeella kasvavien kantasienten kasvuun, entsyymintuottoon ja kykyyn hajottaa haitallisia yhdisteitä.

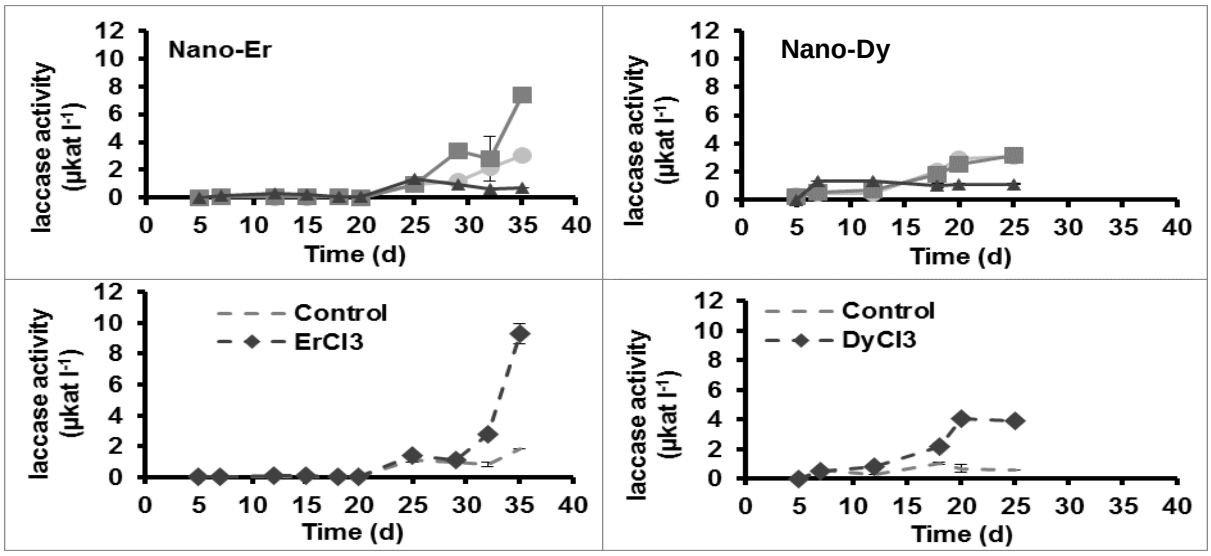
Tavoitteena on tutkia dysprosiumin ja erbiumin vaikutuksia nanokoon ja mikrokoon hiukkasina *Cerrena unicolor* –valkolahosienen (Suomessa yleisesti esiintyvän pörrökäävän) lignolyyttisten entsyymien tuottoon, kasvuun ja kykyyn hajottaa violettiatsotekstiiliväriä, jossa on aromaattisia rakenteita. Vaikeasti hajoavan tekstiilivärin vaalentumista on tässä työssä käytetty sienten toiminnallisuuden indikaattorina.

## Materiaalit ja menetelmät

*Cerrena unicolor* FBCC387 –valkolahosientä kasvatettiin vähätyppisessä ravinneliuoksessa ravistelussa (120 rpm) olevissa pulloissa (100 ml), joissa oli nano-$Er_2O_3$, $Er_2O_3$, nano-$Dy_2O_3$, $Dy_2O_3$ (0, 5, 50, 200 mg/ l) ja suoloja $ErCl_3$ ja $DyCl_3$ (50 mg/ l). Kaikki kasvatukset tehtiin kolmena rinnakkaisena (22 °C). Lakkaasin (EC 1.10.3.2) ja versatiiliperoksidaasin (VP, EC 1.11.1.16) aktiivisuudet sekä Violtin värin (Remazol Brilliant Violet 5R) hajoamista mitattiin spektrofotometrisesti 96-kuoppalevyllä Infinite-kuoppalevylukijalla (Infinite 200, Tecan, Switzerland). Pyyhkäisyeletronimikroskoopilla otettiin kuvia testattujen metallien vaikutuksista *C. unicolorin* rihmastoon ja analysoitiin nanomateriaalin kokojakaumaa.

## Tulokset ja tulosten tarkastelu

*Cerrena unicolor* kasvoi molempien testattujen metallien (Er, Dy) läsnäollessa. Tuloksemme osoittivat (Kuva 1), että *C. unicolor*in lakkaasin tuotanto oli korkeampi 5-50 mg nano-Er/ l -pitoisuuksilla kuin 200 mg nano-Er/ l -pitoisuuksilla osoittaen, että nano-Er:n ylin pitoisuus (200 mg/ l) oli haitallinen. *C. unicolor*in lakkaasin tuotanto oli korkeampi Er-pitoisuuksilla 5-50 mg/ l kuin ylimmällä pitoisuudella (200 mg/ l).




**Kuva 1.** Valkolahosieni *Cerrena unicolor* FBCC387:n lakkaasientsyymin tuotto ravinneliuoksessa. ● 5 mg $l^{-1}$, ■ 50 mg $l^{-1}$ or ▲ 200 mg $l^{-1}$ nano-Er (vasen kuva) ja nano-Dy (oikea kuva). Alarivillä tulokset ilman metallia ja suolojen kanssa ($ErCl_3$ ja $DyCl_3$, 50 mg/l).

Tuloksemme osoittivat, että *C. unicolor* tuotti lakkaasia oksidien nano-$Er_2O_3$, $Er_2O_3$, nano-$Dy_2O_3$, ja $Dy_2O_3$ (0-20 mg/ l) ja suolojen $ErCl_3$ ja $DyCl_3$ läsnäollessa. Lakkaasiaktiivisuus oli kolme kertaa korkeampi alimmalla (5 mg Dy/ l) ja keskimmäisellä nano-dysprosium (50 mg Dy/ l) -pitoisuudella kuin ylimmällä (200 mg/ l) 26 vrk kasvatuksen jälkeen. Tuloksemme osoittavat, että nano-Dy oli haitallinen *C. unicolor*in lakkaasin tuotannolle. Samanlaista alenemista ei ollut mikrokokoluokan dysprosiumin muodolla, sillä lakkaasiaktiivisuus oli sama kaikilla testatuilla pitoisuuksilla (5-200 mg/ l). *C. unicolor*in lakkaasin tuotanto erbium- ja dysprosiumsuolan läsnäollessa oli samansuuruinen kuin vastaavalla nano-Er ja nano-Dy -pitoisuudella.

*C. unicolorin* versatiiliperoksidaasin (VP) tuotanto oli samanlainen vastaavilla pitoisuuksilla nano-Er-, nano-Dy-, Er- ja Dy-metallia sekä Er- ja Dy-suolojen läsnäollessa nesteviljelmissä. Tuloksemme osoittivat, etteivät nano-erbium ja nano-dysprosium (5-200 mg/ l) vaikuttaneet *C. unicolorin* versatiiliperoksidaasin tuottoon. *C. unicolor* vaalensi testatun violetin värin (Remazol Brilliant Violet 5R) nano-Er:n, nano-Dy:n sekä vastaavien perinteisten metallimuotojen ja suolojen läsnäollessa. Tuloksemme osoittivat, että *C. unicolor* kykeni hajottamaan aromaattisen rengasrakenteen omaavia yhdisteitä. Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuvat (SEM) osoittivat, että testattuja nano-Er:a, nano-Dy:a, Er:a ja Dy:a sekä Er- ja Dy-suoloja oli sienirihmaston pinnalla. Nanomateriaali peitti tasaisesti rihmaston pinnan kun sitä vastoin samojen metallien mikrokokoluokan partikkelit innoittivat sienen rihmaston vain osin.

Tuloksemme soittivat, että nano-Er, nano-Dy, Er ja Dy haittasivat *C. unicolor* –kantasienen hapettavien entsyymien tuottoa. Tämä häiritsee tai vähentää sienten kykyä hajottaa pysyvän aromaattisen rakenteen omaavia yhdisteitä nano-metalleilla pilaantuneessa maaperässä. Hapettavien entsyymien alentunut tuotanto soveltuu varhaisen haitan indikaattoriksi pilaantuneessa maaperässä.

**Kirjallisuus**

[1] Hatakka, A. 1994. Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi. Production and role in lignin degradation. *FEMS Microbiology Reviews* 13: 125-135.

[2] Lankinen, P., Kähkönen, M. A., Rajasärkkä, J., Virta, M., Hatakka, A. 2011. The effect of nickel contamination on the growth of litter-decomposing fungi, extracellular enzyme activities and toxicity in soil. *Boreal Environment Research* 16: 229-239.

# Reference lake sediments, geochemistry and *in situ* distribution coefficients, $K_d$ values, southwestern Finland

*Referenssijärvien sedimentit, geokemia, ja* in situ *jakaantumiskertoimet, $K_d$ arvot, Lounais-Suomessa*

Anne-Maj Lahdenperä

Saanio & Riekkola Oy, Laulukuja 4, 00420 Helsinki, Finland
anne-maj.lahdenpera@sroy.fi

The Olkiluoto Island on the western coast of Finland has been selected as a repository site for nuclear waste. At the Olkiluoto area, the post-glacial crustal rebound (at present 6 mm/y) shapes the landscape from a coastal to an inland type within a few millennia in the future (*i.e.*, in the time frame in which releases from the waste repositories could reach the biosphere). The land uplift and the shoreline displacement will change the local biosphere conditions and influence soil and sediment properties and the groundwater flow pattern. As these effects are important for the long-term safety and biosphere assessments that address the radiation exposure of people and biota in scenarios of radionuclide releases.

The properties of the future lake ecosystems surrounding the Olkiluoto Island can be forecast and radionuclide transport models applied based on the properties of present lakes. Currently, however, there are no lakes on the island. Due to lack of Olkiluoto specific data, a Reference Area where lakes of various successional stages are selected within a larger geographical area as analogues of those expected to form at the Olkiluoto site.

**Materials Methods**

The sorption of the radionuclides released from the waste in soils and sediments is an integral part of biosphere modelling, the distribution coefficient ($K_d$) is a key parameter, and often the indigenous stable isotopes of the same elements are used as analogues to the long-lived radioisotopes.

For the field data, eight deep lake sediment samples within Posiva's Olkiluoto repository programme; 2] are utilised here. Sediment samples are taken from the different lithological units. The Lakes have isolated during the Littorina or Limnea Sea stages. In addition to the $K_d$ data, pH, C concentration and fraction of fines (<0.06 mm) in the same samples are considered. For the *in situ* $K_d$ values, fresh soil samples were incubated for one week at room temperature and afterwards centrifuged. The extracted pore solution was aspirated through a 0.45 µm filter and acidified using de-ionised $HNO_3$ to pH <2 before the determination of element concentrations. The pseudo-total element concentrations in the solid fractions are determined after $HNO_3$–HF(trace) extraction or $LiBO_2$ fusion, and bioavailable element concentrations after $NH_4Ac$ (pH 4.5) extraction The $K_d$ values are calculated as the ratio of the element concentration in the dried solids to that in the extracted pore solution.

**Results**

*In situ*, $K_d$ values indicate the relevant mobility and retention of the main indigenous elements and radionuclides. Ag, Cl, Cs, I, Mo, Nb, Ni, Pb, Pd, Se, Sn and Sr are the main interest elements in the biosphere assessment because they are analogues to the highest dose contributing radionuclides from the repositories. In addition, geochemistry and $K_d$ values of main cations (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na), P, S, main heavy metals (As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn and Zn), Th and U are evaluated.

The $K_d$ data of the lake sediments are inherently extremely variable, but also vary systematically with key environmental factors, thus their co-influence is important for each individual element, and their act in different sediment types by site to site and by sediment depths. Organic matter content and sediment mineral composition, especially clay and silt fraction, have a distinct influence on the $K_d$ values.

***Table 17.*** *Clay and organic matter contents (%) by sub–samples in the reference lakes (NA = not analysed). The highest values are marked in bold.*

| ID number | Lake name | Sediment type | Sub–sampling interval cm | Clay content % | LOI % 500° C |
|---|---|---|---|---|---|
| SPJ | Suomenperänjärvi | Gyttja | 10–60 | 2.5 | **32** |
| SPJ | Suomenperänjärvi | Clayey gyttja | 60–70 | 0.0 | 15.6 |
| SPJ | Suomenperänjärvi | Gyttja clay | 84–140 | 10.4 | 7.8 |
| SPJ | Suomenperänjärvi | Clayey gyttja | 150–199 | NA | 5.8 |
| | | | | | |
| PoJ | Poosjärvi | Gyttja | 10–190 | 6.3 | **23** |
| PoJ | Poosjärvi | Sand | 207–213 | NA | 11.3 |
| PoJ | Poosjärvi | Gyttja clay | 230–240 | 0.0 | 8.4 |
| PoJ | Poosjärvi | Clay | 270–390 | 20 | 2.5 |
| PoJ | Poosjärvi | Clay | 480–520 | **49** | 3.3 |
| | | | | | |
| LuJ | Lutanjärvi | Gyttja | 20–360 | 15.5 | **21** |
| LuJ | Lutanjärvi | Clayey gyttja | 370–408 | 3.4 | 12.9 |
| LuJ | Lutanjärvi | Gyttja clay | 420–640 | 4.8 | 10.3 |
| | | | | | |
| KiJ | Kivijärvi | Gyttja | 20–40 | NA | **18.7** |
| KiJ | Kivijärvi | Gyttja | 60–70 | NA | 22 |
| KiJ | Kivijärvi | Gyttja | 90–160 | 12.4 | 24 |
| KiJ | Kivijärvi | Gyttja | 200–240 | 2.9 | 16.2 |
| KiJ | Kivijärvi | Gyttja clay | 260–270 | 8.7 | 11.2 |
| KiJ | Kivijärvi | Sand | 447–457 | **32** | 1.3 |
| KiJ | Kivijärvi | Clay | 457–466 | NA | 3.1 |
| KiJ | Kivijärvi | Clay | 466–474 | NA | 3.1 |
| KiJ | Kivijärvi | Clay | 490–650 | **48** | 3.4 |
| KiJ | Kivijärvi | Clay | 680–690 | **68** | 3.8 |
| | | | | | |
| KJ | Koskeljärvi | Gyttja | 50–320 | 1.3 | **25** |
| KJ | Koskeljärvi | Clayey gyttja | 343–360 | **17.1** | 14.4 |
| KJ | Koskeljärvi | Gyttja clay | 380–400 | NA | 12.7 |
| KJ | Koskeljärvi | Gyttja clay | 440–540 | 9.2 | 9.9 |
| | | | | | |
| LaJ | Lampinjärvi | Gyttja | 20–110 | 2.1 | **24** |
| LaJ | Lampinjärvi | Gyttja | 130–140 | NA | 19.9 |
| LaJ | Lampinjärvi | Gyttja clay | 160–230 | 2.1 | 12.3 |
| LaJ | Lampinjärvi | Sand | 271–283 | NA | 1.6 |
| LaJ | Lampinjärvi | Clay | 300–310 | 4.7 | 2.6 |
| LaJ1 | Lampinjärvi | Clay | 385–610 | 15.2 | 2.7 |
| LaJ1 | Lampinjärvi | Clay | 720–730 | **30** | 2.8 |
| | | | | | |
| VaJ | Valkjärvi | Gyttja | 20–140 | 0.0 | **30** |
| VaJ | Valkjärvi | Gyttja clay | 180–290 | 2.2 | 12.7 |
| VaJ | Valkjärvi | Gyttja clay | 310–480 | 6.0 | 11.2 |
| | | | | | |
| NaJ | Narvijärvi | Gyttja | 20–210 | 7.1 | **24** |
| NaJ | Narvijärvi | Gyttja clay | 250–480 | 3.8 | 12.6 |
| NaJ | Narvijärvi | Gyttja clay | 510–630 | 6.4 | 10.3 |

# Optimointi kiertotalouden työkaluna - esimerkkinä metsäbiomassan kuivatus ja kuljetus

*Optimization as a tool in circular economy - drying solid forest fuel piles as an example*

Ari Laurén[1] ja Lauri Sikanen[2]

[1] Luonnonvarakeskus, Luonnonvarat ja biotuotanto, ari.lauren@luke.fi
[2] Luonnonvarakeskus, Uudet liiketoimintamahdollisuudet, lauri.sikanen@luke.fi

## Johdanto

Bioenergian osuus Suomen energian käytöstä on 26 %, josta metsähake on suurin yksittäinen polttoainejae metsäteollisuuden jäteliemien jälkeen. Metsäbiomassan ja erityisesti hakkuutähteiden käyttö energian tuotannossa on esimerkki kiertotaloudesta, jossa hyödynnetään muun tuotannon jätteitä tai materiaalien sivuvirtoja. Raaka-aineen arvo on alhainen ja toiminnan kannattavuus riippuu ratkaisevasti siitä, kuinka tehokkaita ja tarkoituksenmukaisia hyödyntämisen työvaiheet ovat. Matemaattisella mallintamisella ja optimoinnilla voidaan hakea systemaattisesti entistä tehokkaampia toimintamalleja esimerkiksi metsäbiomassan hyödyntämiseen.

## Aineisto ja menetelmät

Rakensimme yksinkertaisen laskentamallin kuvaamaan metsäbiomassakasojen kosteuden muutosta, kuivamassatappioita, kuljetuskustannuksia ja kasan nettonykyarvoa. Kasasta maksetaan sen energiasisällön mukaan, joten arvo kasvaa kun kasa kuivuu. Arvoa pienentävät kuivamassatappiot, kuljetus- ja haketuskustannukset, sekä sitoutuneen pääoman korko. Tutkimuksessa yhdistettiin paikkatieto-, simulointi- sekä optimointilaskentaa.

Laskennan ensimmäisessä vaiheessa luotiin paikkatietoympäristössä 15 biomassakasaa satunnaisiin paikkoihin Joensuun, Liperin ja Kontiolahden alueille ja laskettiin jokaisen kasan etäisyys polttolaitoksesta. Kasat luotiin simuloinnin ensimmäisen vuoden ajalle noudattaen hakkuiden ajallista jakaumaa. Kasojen käyttö sijoitettiin toiselle vuodelle lämpölaitoksen energian kysyntäjakauman mukaan. Laskennan toisessa vaiheessa jokaisen kasan kosteus, energiasisältö ja nettonykyarvo laskettiin simuloinnin kolmannen vuoden loppuun saakka.

Simulated annealing -optimointialgoritmia käytettiin ratkaisemaan missä järjestyksessä nämä 15 kasaa tulisi polttaa, että kasojen kokonaisarvo maksimoituisi. Vaikka kysymyksenasettelu on yksinkertainen - kasoja ja polttohetkiä on vain 15 - erilaisia polttojärjestyksiä ja siten myös mahdollisia kokonaisnettonykyarvoja on yhteensä 1 300 000 000 000 kappaletta.

## Tulokset ja tarkastelu

Optimoinnilla - pelkästään kasojen polttojärjestyksen valinnalla - voitiin parantaa kasojen kokonaisarvoa 5-7% satunnaiseen polttojärjestykseen verrattuna. Kokonaisarvon parantuminen syntyi kuiva-ainetappioiden pienenemisestä, lyhentyneestä varastointiajasta ja kuljetuksen tehostumisesta. Kiertotalouden kannalta tätä parannusta, joka pohjautuu ainoastaan tiedon lisäämiseen, voidaan pitää merkittävänä.

# Raetuhkalannoituksen vaikutus maahengitykseen ja puuston kasvuun kahdessa boreaalisessa suometsässä

*The effect of wood ash fertilization on soil respiration and tree stand growth in two boreal peatland forests*

Maarit Liimatainen[1], Marja Maljanen[1], Jyrki Hytönen[2]

[1]Itä-Suomen yliopisto, ympäristö- ja biotieteiden laitos, PL 1627, 70211 Kuopio, email: maarit.liimatainen@uef.fi
[2]Luonnonvarakeskus, luonnonvarat ja biotuotanto, Silmäjärventie 2, 69100 Kannus, email: jyrki.hytonen@luke.fi

Yli puolet suomalaisista soista on ojitettu metsätalouden käyttöön[1] ja noin neljännes metsistä kasvaa turvemailla[2]. Luonnontilaiset suot toimivat hiilidioksidinieluina, sillä ne sitovat muodostuvaan turpeeseen enemmän hiiltä, kuin mitä hiiltä vapautuu ilmakehään[3]. Kun suo ojitetaan, hapen määrä turpeessa lisääntyy ja turpeen hajoaminen kiihtyy, jolloin hiiltä alkaa vapautua ilmakehään hiilidioksidina ($CO_2$).

Metsähakkeen käyttöä on tarkoitus lisätä energiantuotannossa nykyisestä 8,2 miljoonasta kuutiometristä vuoteen 2020 mennessä 13,5 miljoonaan kuutiometriin. Lisääntyvä metsäenergian käyttö lisää myös syntyvän tuhkan määrää. Puuntuhka sisältää typpeä lukuun ottamatta kaikkia puiden tarvitsemia pää- ja hivenravinteita likimain oikeissa suhteissa. Puutuhkan kalkitusvaikutus on myös hyvä[4]. Se sopii erinomaisesti runsastyppisten suometsien lannoitteeksi, koska niillä fosforin ja kaliumin niukkuus voi rajoittaa puiden kasvua. Tällä hetkellä puuntuhka on ainoa saatavilla oleva käytännön mittakaavan PK-lannoite suometsiin. Tuhkan ja rakeistuslaitosten määrän ja kapasiteetin kasvaessa myös vuotuinen tuhkalannoitusala tulee todennäköisesti kasvamaan lähivuosina nykyisestä noin 10 000 hehtaarista. Tuhkan vaikutukset esim. kasvillisuuteen, maaperän ominaisuuksiin ja puuston kasvuun sekä ravinnetalouteen tunnetaan jo melko hyvin. Tosin suurin osa tutkimuksista on tehty käsittelemättömällä tuhkalla[5], kun nykyään käytetään pääasiassa rakeistamalla stabiloitua tuhkaa. Stabiloinnilla tuhka muutetaan kiinteään muotoon, jolloin se ei pölyä ja ravinteiden liukoisuus hidastuu. Samalla lannoitusvaikutus kestää todennäköisesti kauemmin, eikä raetuhka aiheuta kasvillisuudelle pH- ja suolashokkia kuten hienotuhka.

Raetuhkan vaikutuksia suometsien kasvihuonekaasuihin on tutkittu vielä melko vähän. Laboratoriokokeissa raetuhka on alentanut voimakkaasti dityppioksidin tuottoa todennäköisesti tuhkasta liukenevien suolojen vuoksi[6,7]. Kenttätutkimuksissa vaikusta dityppioksidi- tai metaanipäästöihin ei sen sijaan havaittu, mutta maahengitys kasvoi[6], mikä on havaittu myös muilla tuhkamuodoilla[5]. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää raetuhkan vaikutusta maahengitykseen, puuston kasvuun ja puustoon sitoutuneeseen hiilen määrään.

Kenttätutkimukset suoritettiin kahdessa ominaisuuksiltaan erilaisessa suometsässä Länsi-Suomessa vuosina 2011-2012. Jouhteneenjärven koealue on ravinteikkaampi ja sen hiili-typpisuhde (C/N) on 18. Ravinneköyhän Nahkanevan koealueella pohjaveden taso on korkea, ja turpeen C/N on yli 80. Molemmat koealueet on lannoitettu raetuhkalla vuonna 2003 (5000 kg $ha^{-1}$)[6]. Tuhkalannoituksen vaikutusta puuston kasvuun seurattiin puustomittauksilla lannoituskokeen alussa sekä 5 ja 10 vuoden kuluttua lannoituksen jälkeen. Maanäytteistä analysoitiin turpeen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet. Turpeen hiilidioksidipäästöjä (heterotrofinen respiraatio) mitattiin näytealoilta, joista oli poistettu kasvillisuus ja karike, ja juuristot oli katkottu asentamalla 30 cm:n syvyyteen ulottuvia alumiiniputkia mittauspisteisiin. Kasvien hengityksen poistamiseksi (autotrofinen respiraatio) koealat pidettiin kasvipeitteettöminä. Tutkimuksessa mitattiin siten turpeen orgaanisen aineen hajoamisesta johtuvia $CO_2$-päästöjä. Respiraatiomittauksia tehtiin kesällä 2011 9-10 kertaa ja vuonna 2012

6 kertaa. Lisäksi respiraatiota mitattiin talvella 2011-2012 4 kertaa. Mittaukset suoritettiin kammiomenetelmällä käyttäen $CO_2$-analysaattoria. Maan lämpötila mitattiin manuaalisesti 5 cm:n syvyydestä kaasumittausten aikana ja lisäksi maan lämpötilaa seurattiin jatkuvasti maahan asennetuilla loggereilla. Vuosittaista maarespiraatiota mallinnettiin olettaen, että päästö muuttuu lämpötilan funktiona.

Alustavien tulosten mukaan raetuhkalannoitus lisäsi merkittävästi turpeen $CO_2$-päästöä eli turpeen hajoamista. Muutos oli suuri etenkin karulla Nahkanevan koealueella. Tuhkalannoitus lisäsi voimakkaasti puustoon sitoutuneen hiilen määrää. Silti molemmilla koealueilla maahengitys oli suurempi kuin puihin sitoutuneen hiilen määrä. Näin oli erityisesti typpiköyhällä Nahkanevalla, missä puusto kasvaa heikosti, eikä aluetta voida yleisesti ottaen pitää sopivana tuhkalannoitukselle.

**Kirjallisuus**

[1] Turunen, J. 2008. Development of Finnish peatland area and carbon storage 1950-2000. *Boreal Environment Research* 13: 319-334.

[2] Päivänen, J. & Hånell, B. 2012. Peatland ecology and forestry - a sound approach. University of Helsinki, Department of Forest Sciences Publications 3. 267 s.

[3] Gorham, E. 1991. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications* 1: 182-195.

[4] Saarela, I. 1991. Wood, bark, peat and coal ashes as liming agents and sources of calcium, magnesium, potassium and phosphorus. *Annales Agriculturae Fenniae* 3: 373-388.

[5] Huotari, N., Tillman-Sutela, E., Moilanen, M., Laiho, R., 2015. Recycling of ash – For the good of the environment? *Forest Ecology and Management* 348: 226-240.

[6] Maljanen, M., Liimatainen, M., Hytönen, J., Martikainen, P.J., 2014. The effect of granulated wood-ash fertilization on soil properties and greenhouse gas (GHG) emissions in boreal peatland forests. *Boreal Environment Research* 19: 295-309.

[7] Liimatainen, M., Martikainen, P.J., Maljanen, M., 2014. Why granulated wood ash decreases $N_2O$ production in boreal acidic peat soil? *Soil Biology & Biochemistry* 79: 140-148.

# Laskeuman ja maaveden strontiumin pitoisuuksiin vaikuttavat luontaiset tekijät Olkiluodon saarella vuosina 2013 - 2015

*Natural factors influencing strontium concentrations in deposition and soil water on Olkiluoto Island in 2013-2015*

Antti-Jussi Lindroos ja Lasse Aro

Luonnonvarakeskus (Luke)

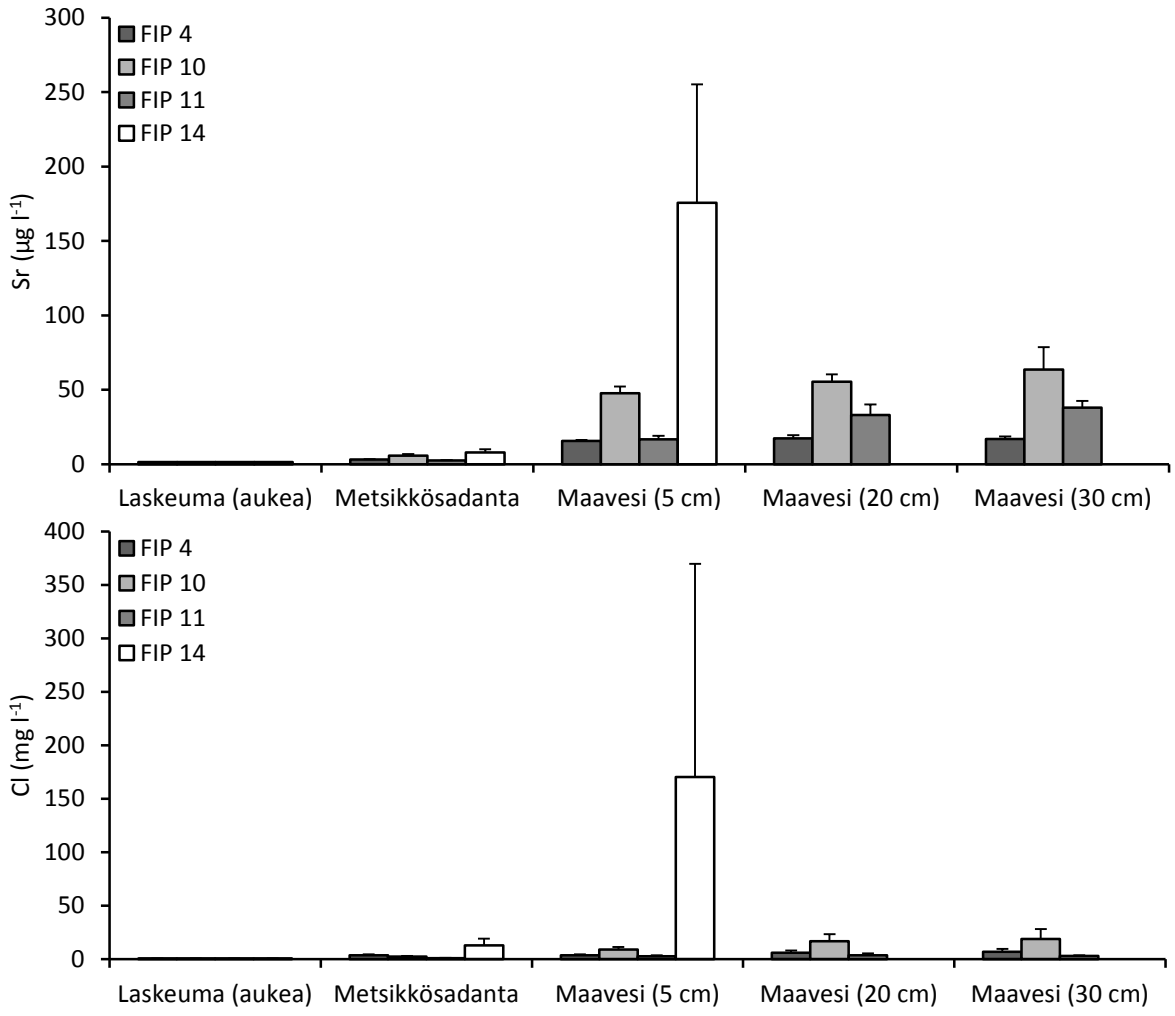
Strontium (Sr) on maa-alkalimetalli, joka käyttäytyy monella tavalla geokemiallisesti samoin kuin kalsium. Maaperän silikaattimineraaleissa strontiumia on usein pieniä määriä, ja se esiintyy tyypillisesti yhdessä kalsiumin ja kaliumin kanssa. Moreenin hienoaineksesta rapautumisessa vapautuva Sr on tavallisesti peräisin heikosti rapautuvista kalium-maasälvistä tai plagioklaaseista. Helpommin rapautuvissa kiilteissä ja tummissa mineraaleissa on strontiumia usein vain vähän [1,2]. Rapautuminen on kuitenkin maasälpien runsauden vuoksi tärkeä Sr:n lähde, vaikka Sr:n vapautuminen rapautumisessa onkin todennäköisesti hidasta.

Olkiluodon saarella tehtävien metsäntutkimusten tarkoituksena on seurata metsien tilaa ja mitata metsissä tapahtuvia prosesseja. Tuloksia tarvitaan mm. käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuusarvioinnissa. Metsäntutkimukset ovat osa Posivan toteuttamaa ympäristön seurantaohjelmaa Olkiluodossa [3]. Osana seurantaa on selvitetty Sr:n luontaista esiintymistä avoimen paikan laskeumassa, metsikkösadannassa ja metsämaan maavedessä sekä tutkittu pitoisuuksiin vaikuttavia luontaisia tekijöitä. Sr:n pitoisuuksien seuranta ja tausta-arvojen määrittäminen ovat tärkeä osa alueen biogeokemiallisia tutkimuksia.

Avoimen paikan laskeumaa, metsikkösadantaa ja maavettä metsämaan eri syvyyksiltä kerättiin 2 - 4 viikon välein vuosina 2013-2015 eri puolilta Olkiluodon saarta. Kaksi havaintoaloista sijaitsi avoimella paikalla ja neljä alaa Olkiluodolle tyypillisissä metsissä: varttuneessa kasvatusmännikössä (FIP4), vanhassa kuusikossa (FIP10), koivuvaltaisessa taimikossa (FIP11) ja tervalepikossa meren rannalla (FIP14). Avoimen paikan laskeumaa ja metsikkösadantaa kerättiin ympäri vuoden; lumettomana aikana suppilokeräimillä (läpimitta 20 cm) ja talviaikana lumikeräimillä (36 cm). Maavettä kerättiin lumettomana aikana orgaanisen kerroksen alta 5 cm:n syvyydeltä maanpinnasta levylysimetreillä sekä 20 ja 30 cm:n syvyyksiltä alipainelysimetreillä. Vesinäytteistä määritettiin useiden aineiden pitoisuudet, mukaan lukien Sr ja kloridi (Cl) [3].

Alustavien tulosten mukaan Sr-pitoisuus kohosi sadannan kulkiessa metsän latvuskerroksen läpi, mikä heijastui metsikkösadannan korkeampina pitoisuuksina verrattuna avoimen paikan laskeumaan (kuva 1). Sr-pitoisuus oli selvästi korkeampi metsämaan maavedessä verrattuna metsikkösadantaan (kuva 1). Mineraalien rapautuminen ja maaperän kationinvaihtoreaktiot ovat todennäköisesti syynä maaveden korkeampiin pitoisuuksiin verrattuna metsikkösadantaan. Metsikkösadannan ja maaveden Sr-pitoisuuksien erot eri havaintometsiköiden välillä noudattivat hyvin Cl-pitoisuuksien vaihtelua (kuva 1). Strontiumilla on pohjavesitutkimuksissa havaittu olevan riippuvuus suolaisuutta osoittavien tunnusten kanssa [2]. Korkeimmat Sr- ja Cl-pitoisuudet mitattiin Olkiluodossa tervalepikossa (FIP14), joka sijaitsee aivan meren rannalla (kuva 1).

Tutkimusta rahoitti Posiva Oy Olkiluodon monitorointiohjelman puitteissa.




**Kuva 1.** Avoimen paikan laskeuman, metsikkösadannan ja maaveden (syvyyksiltä 5, 20 ja 30 cm) Sr- ja Cl-pitoisuudet Olkiluodon saarella männikössä (FIP4), kuusikossa (FIP10), koivuvaltaisessa taimikossa (FIP11) ja tervalepikossa (FIP14). Tervalepikossa (FIP14) maavettä kerättiin vain syvyydeltä 5 cm. Kuvassa on esitetty keskiarvo ja keskihajonta vuosilta 2013 - 2015.

## Kirjallisuus

[1] Koljonen, T. (toim.) 1992. Suomen Geokemian Atlas, osa 2: Moreeni. Espoo: Geologian tutkimuskeskus. 218 s., 11 liitekarttaa.

[2] Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U. & Suomela, P. 2002. Tuhat kaivoa – Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. Tutkimusraportti 155.

[3] Aro, L., Lindroos, A.-J. & Rautio, P. 2015. Results of forest monitoring on Olkiluoto Island in 2013. Posiva Oy, Working Report 2015-06.

# Tulva- ja routakäsittelyn vaikutus männyn juurten ja maanpäällisten kasvinosien fenologiaan

*Root and shoot phenology of boreal trees in relation to waterlogging and soil freezing*

Tapani Repo[1], Timo Domisch[1], Sirkka Sutinen[1], Aifang Wang[1], Tarja Lehto[2], Marja Roitto[1] ja Leena Finér[1]

[1]Luonnonvarakeskus (Luke), Luonnonvarat ja biotuotanto, Joensuu
[2]Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteen osasto, Joensuu

Vuodenaikojen mukaan vaihtelevat ympäristöolot ohjaavat puiden fenologisten ilmiöiden ajoittumista ja fotosynteesin kautta sidotun hiilen allokaatiota eri kasvinosiin. Huomattavan osan puiden hiilivirrasta tiedetään suuntautuvan juuriin, mutta niiden fenologia tunnetaan lähinnä menetelmällisistä syistä johtuen heikosti. Fenologiatutkimus onkin painottunut maanpäällisiin kasvinosiin. On ennustettu, että boreaalisen vyöhykkeen sääolot muuttuvat ilmastonmuutoksen seurauksena erityisesti talvella, jolloin routaa on lumipeitteestä riippuen joko enemmän tai vähemmän. Lisäksi sadannan lisääntymisestä johtuen talvitulvat voivat yleistyä. Voidaan olettaa, että sadantamuutokset vaikuttavat puiden fenologiaan ja hiilen allokaatioon.

Teimme kokeen kontrolloiduissa oloissa männyllä (*Pinus sylvestris*). Käsittelyissä puiden lepovaiheen aikana oli kaksi pohjavedenpinnan tasoa (tulva/ei-tulva) ja maa joko jäädytettiin tai pidettiin sulana. Käsittelyt kestivät 6 viikkoa. Ilman olosuhteet olivat kokeen aikana kaikissa käsittelyissä samat. Juurten kasvua seurattiin miniritsotronikuvauksen avulla. Lisäksi seurattiin verson ja neulasten pituuskasvua ja rungon paksuuskasvua.

Routa-tulva käsittelyn seurauksena ensimmäisen kertaluvun juurten (lyhytjuuret) kasvukäyrä muuttui yksihuippuiseksi, kun se muissa käsittelyissä oli kaksihuippuinen. Samainen käsittely aikaisti verson pituuskasvua, mutta viivästytti neulasten pituuskasvua ja rungon paksuuskasvua. Tulokset ovat merkkejä siitä, että maan olosuhteiden muutokset männyn lepovaiheen aikana vaikuttavat juurten ja maanpäällisten kasvinosien fenologiaan, hiilen allokaatioon ja kasvuun.

# Pohjoisen puhdas maaperä kriittisten mineraalien lähteenä

*The clean northern soil as a source for critical minerals*

Pertti Sarala

[1] Geologian tutkimuskeskus, PL 77, 96101 Rovaniemi, e-mail pertti.sarala@gtk.fi

Maaperän fysikaaliset ja kemialliset tekijät ovat seurausta kallioperän, sen kulutuksen ja erilaisten maa-aineksen koostumusta muuttavien geologisten prosessien yhteisvaikutuksesta. Nämä tekijät luovat myös perustan luontaisille alkuaineiden pitoisuustasoille, jotka voivat vaihdella huomattavasti eri alueilla ja eri mittakaavoissa tarkasteltuna. Näin on myös Suomessa, jossa pääosin arkeeisista ja proterotsooisista kivistä koostuvan kallioperän koostumus vaihtelee suuresti syväkivistä (gabrot, graniitit ja gneissit) vulkaniittien ja sedimenttien muodostamiin liuskejaksoihin. Rapautumisen ja useiden jäätiköitymisvaiheiden kulutus-, kuljetus- ja kerrostumistoiminnan seurauksena kallioperä on lähes täysin moreenin tai muiden jääkausien aikaisten sekä niiden jälkeisten sedimenttien peittämää.

Suomessa ja erityisesti sen pohjoisosissa maaperän geokemiallinen tarkastelu osoittaa, että alkuaineiden pitoisuustasot ovat eurooppalaisessa ja skandinaavisessa vertailussa alhaisia[1]. Erityisesti raskasmetallipitoisuudet ja ilmaperäisen laskeuman kautta tullut metallikontaminaatio ovat Pohjois-Suomessa vähäistä. Lähempi tarkastelu kuitenkin osoittaa, että alueelliset erot ovat suuria ja esimerkiksi useilla malmikriittisillä alueilla pitoisuustasot voivat olla huomattavasti tausta-arvoja suurempia. Tätä voidaan luonnollisesti käyttää apuna malmiesiintymiä ja -potentiaalisia alueita etsittäessä.

Nyky-yhteiskunnassa tarvittavien metallien ja mineraalien kirjo kasvaa koko ajan ja lähes koko jaksollinen alkuainejärjestelmä on tarkastelun alla. Kierrätyksestä huolimatta tarvetta on koko ajan löytää uusia metalli- ja mineraaliesiintymiä ja myös etsintäalueet laajenevat entisestään. Kysyntää on yhteiskunnan infrastruktuurin rakentamistarpeesta johtuen eteenkin perusmetalleille, mutta näiden lisäksi etsinnän kohteeksi ovat nousseet erityisesti ns. kriittiset mineraalit, joita on EU:n mineraalistrategiassa nostettu agendalle parisen kymmentä[2]. Tämä lähtee niin EU:ssa kuin Suomessakin tarpeesta turvata raaka-aineiden tuotannon omavaraisuus. Suomi ja erityisesti Pohjois-Suomi ovat tässä avainasemassa kallioperämme malmipotentiaalista johtuen.

Aktiivinen tutkimustoiminta Suomessa vaatii aiempaa vähemmän ympäristöön jälkiä jättävien ja pohjoiset olosuhteet huomioivien etsintämenetelmien kehittämistä. Erityisen haastavia malminetsintätutkimukset ovat alueilla, jotka ovat jäätiköityneet useita kertoja ja ovat paksujen maakerrosten tai soiden peittämiä sekä sijaitsevat herkillä tai suojelluilla luontoalueilla. Tällaiset olosuhteet ovat vallitsevia eteenkin Pohjois-Suomessa.

Suomessa on viime vuosina tutkittu ja kehitetty menetelmiä aiempaa ympäristöystävällisempien malminetsintämenetelmien saamiseksi perinteisten rinnalle. Tekesin Green Mining -ohjelman alla toteutettiin kaksi uusien esiintymien etsintään herkillä luontoalueilla painottunutta tutkimusprojektia, joissa Geologian tutkimuskeskus (GTK) oli vastuullisena projektipartnerina. Uudenlaisilla aineiston keruu-, näytteenotto- ja analysointimenetelmillä, data-analyysillä ja tulosten tulkintasovelluksilla tutkimusta voidaan tehdä hyvin pienillä tai jopa olemattomilla vaikutuksilla herkkään subarktiseen, pohjoiseen luontoon[3,4]. Samat menetelmät ovat sovellettavissa myös perinteisemmille malminetsintäalueille sekä osittain myös jo olemassa oleville kaivostoiminta-alueille.

Kesällä 2016 käynnistyi projekti: Indikaattorimineraalien automatisoitu tunnistaminen kriittisten mineraalien etsinnässä (Indika)[5], jossa fokus on EU:n mineraalistrategian mukaisten kriittisten mineraalien etsintämenetelmien kehittämisessä hyödyntäen uusinta analysointi- ja mineraalien tunnistusteknologiaa. Euroopan aluekehitysrahaston rahoittamassa projektissa on yhteistyötahoina GTK, Lapin AMK ja Oulun yliopisto. Tavoitteena on edistää erityisesti korkean teknologian tuotteiden valmistuksessa tarvittavien kriittisten mineraalien ja metallien tuotannon omavaraisuuden nostamista EU:n alueella kehittämällä indikaattorimineraalien konsentrointia ja analysointia sekä mineraalien on-site tunnistamista. Kriittisten mineraalien etsinnässä uusien malmiesiintymien löytämisen lisäksi on olemassa suuri potentiaali vanhoilla kaivosalueilla rikastushiekka- ja sivukivikasoissa aiemmin tunnistamattomille mineraalivaroille. Näiden hyöty- ja uusiokäyttö on ollut viime vuosina runsaan keskustelun kohteena ja niiden hyödyntämismahdollisuuksille haetaan ratkaisuja Indikassa kiertotalouden näkökulmasta.

**Kirjallisuus**

[1] Sarala, P. 2014. The natural purity of the soil in Lapland and the factors affecting it. Acta Lapponica Fenniae 24, English version, 25-41.Verkkojulkaisu: http://www.lapintutkimusseura.fi/files/Acta_Lapponica_Fenniae_24_netti.pdf. Viitattu 4.11.2016

[2] EU 2016. Policy and strategy for raw materials. Verkkojulkaisu: https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy_en. Viitattu 4.11.2016.

[3] Sarala, P. (toim.) 2015. Novel technologies for greenfield exploration. Geological Survey of Finland, Special Paper 57, 196 p. ISBN 978-952-217-329-4. Saatavana elektroonisena versiona: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_057.pdf

[4] Sarala, P. 2015. Kohti vähäisiä ympäristövaikutuksia mineraalipotentiaalin arvioinnissa. Teoksessa: Sarala, P. & Ylipieti, J. (toim.), Vuosikirja 2013-2014. Lapin tutkimusseura, Rovaniemi, 5-8. Verkkojulkaisu: http://www.lapintutkimusseura.fi/?q=julkaisut. Viitattu 4.11.2016.

[5] Indika − Indikaattorimineraalien automatisoitu tunnistaminen kriittisten mineraalien etsinnässä 2016. Verkkojulkaisu: http://www.gtk.fi/tutkimus/tutkimushankkeet/. Viitattu 4.11.2016.

# Peltosalaojien asennusmenetelmien toiminta

*Functionality of different subsurface drain installation methods*

Markus Sikkilä[1], Helena Äijö[1], Maija Paasonen-Kivekäs[2], Merja Myllys[3], Jyrki Nurminen[1], Mika Turunen[4], Heidi Salo[4], Harri Koivusalo[4], Laura Alakukku[5], Markku Puustinen [6]

[1] Salaojayhdistys ry, Simonkatu 12 A 11, 00100 Helsinki, etu.suku@salaojayhdistys.fi
[2] Sven Hallinin tutkimussäätiö, Simonkatu 12 A 11, 00100 Helsinki
[3] Luonnonvarakeskus, Humppilantie 14, 31600 Jokioinen
[4] Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, PL 14100, 00076 AALTO
[5] Helsingin yliopiston maataloustieteiden laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
[6] Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki

## Johdanto

Salaojitukset tehdään Suomessa pääosin kahdella ojitusmenetelmällä, kaivavalla salaojakoneella tai aurakoneella. Eri konetyypeillä salaojaputket asennetaan maahan eri tavoin. Kaivava kone kaivaa maahan suorakulmaisen salaojasyvyyden korkuisen kaivannon, ja kaivuumaa nostetaan maan pinnalle. Kaivanto täytetään myöhemmin. Aurakone vetää maassa terää, joka syrjäyttää maata eteenpäin ajettaessa tehden tilaa ojitussyvyyteen salaojaputkelle ja ympärysaineelle. Kaivannon täyttöä ei tarvita. Erilaiset asennustavat vaikuttavat erityisesti ojakaivannon rakenteeseen ja siinä olevan maa-aineksen ominaisuuksiin, mikä näkyy mahdollisesti eroina salaojien toiminnassa.

## Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa on seurattu eri salaojitusmenetelmillä tehtyjen ojien toimivuutta peltomittakaavan kokeessa Pohjois-Pohjanmaalla Sievissä. Tutkittavat muuttujat ovat pohjavedenpinnan korkeus ja salaojavalunta eri menetelmillä tehdyissä ojituksissa. Koealueilla mitataan myös sadon määrää ja laatua.

Koekenttä on jaettu 12 koealueeseen, joista kahdeksan aluetta kuuluu varsinaiseen kokeeseen. Kahdeksasta koealueesta neljä ojitettiin aurakoneella (Hoes) ja vastaavasti neljä kaivavalla koneella (Inter-Drain 1824 T) kesäkuussa 2015. Jokainen alue ojitettiin kolmella salaojalla, käyttäen 15 metrin ojaväliä ja keskimäärin 1,0 metrin ojitussyvyyttä. Soraa laitettiin 10 senttimetriä putken päälle ja kaivantoon tiputettiin ruokamultaa kaikkiin ojiin.

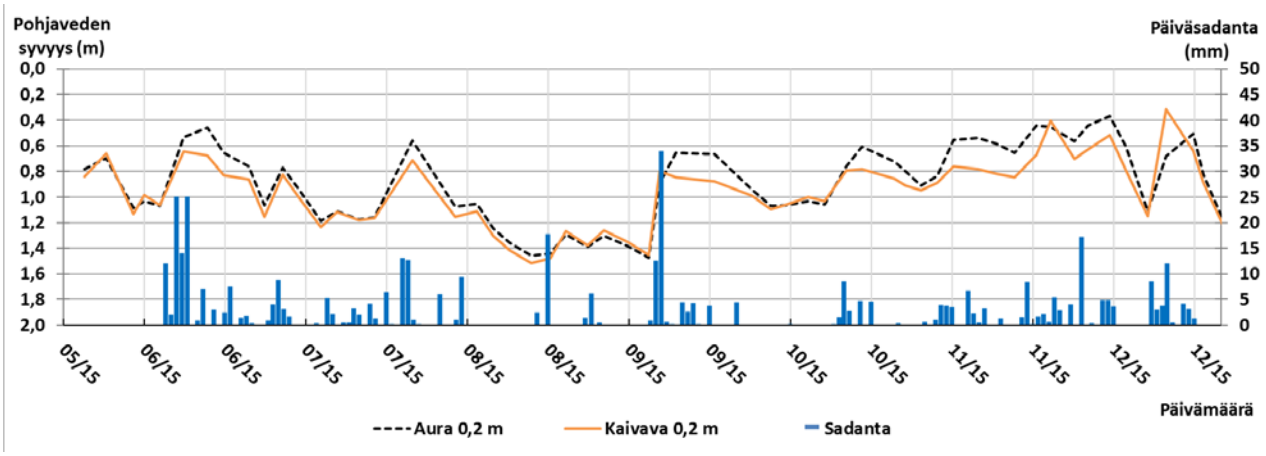
Koealueella pohjaveden pinnankorkeutta on seurattu 7,5, 2,5, 0,6 ja 0,2 metrin etäisyyksille keskimmäisestä salaojasta asennetuista pohjavesiputkista kaikilla koealueilla. Mittaukset on tehty kaksi kertaa viikossa. Kahdelta koealueelta pohjavedenpinnan korkeudet on mitattu jatkuvatoimisilla mittareilla (mittausintervalli 10 minuuttia). Eri konetyypeillä tehtyjen ojitusten salaojavedet on johdettu omiin kokoojaojaputkiin, joihin on asennettu jatkuvatoimiset virtaamamittarit. Koealueella mitataan myös sadantaa, lunta ja routaa.

## Tulokset ja niiden tarkastelu

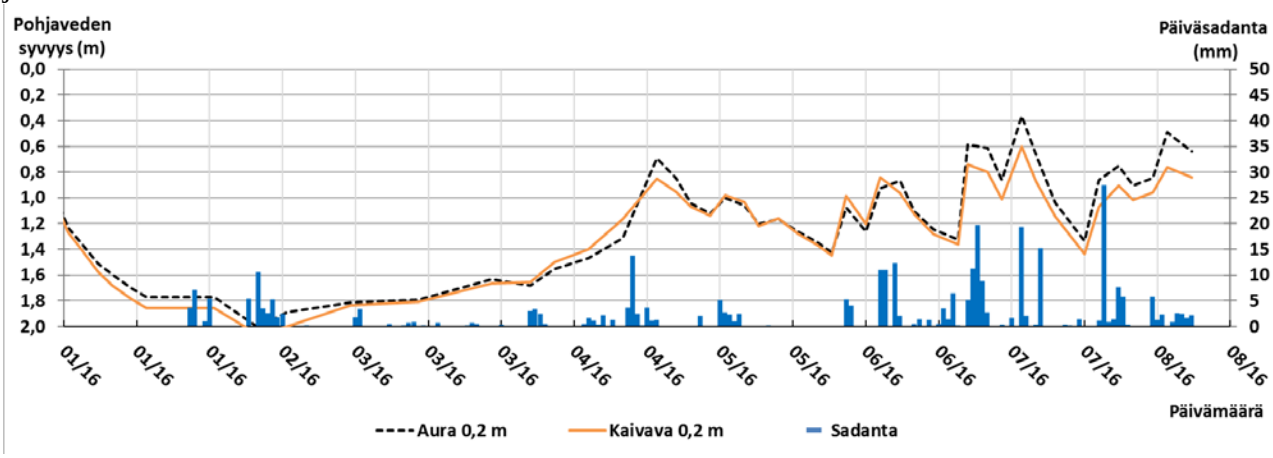
Pohjaveden pinta laski mittausjakson, toukokuu 2015- elokuu 2016 aikana 2 metrin syvyyteen maanpinnasta talvella ja sateisina aikoina pohjavesi nousi pellon pintaan asti. Pohjaveden pinta vaihteli jonkin verran kentän eri osien välillä. Vedenpinta reagoi sadetapahtumiin nopeasti. Mittausten mukaan pohjaveden pinta oli 4-6 cm (keskiarvo) lähempänä maan pintaa aurakoneella tehdyissä ojissa eron vaihdellessa hieman eri etäisyyksien välillä (kuvat 1a ja 1b).

Kaivavalla koneella ojitetuista ojista mittausjakson aikana salaojavalunta oli noin 25 % suurempi kuin aurakoneella ojitetuista ojista. Sateisina kausina salaojavaluntaa tuli enemmän

kaivavalla koneella ojitetusta kuin aurakoneella ojitetusta ojastosta. Vähäsateisina aikoina valunta oli samalla tasolla molempien menetelmien ojastoista. Valunta kesti aurakoneella ojitetuista ojista sadetapahtumien jälkeen pidempään kuin kaivavalla ojitetuista ojista.




**Kuva 1a**. Pohjaveden pinnan syvyys (m) keskimäärin maanpinnasta kaivavalla ja aurakoneella tehdyissä ojituksissa sekä sadanta (mm $d^{-1}$) mittausjaksolla toukokuu 2015-joulukuu 2015.




**Kuva 1b.** Pohjaveden pinnan syvyys (m) keskimäärin maan pinnasta kaivavallaja aurakoneella tehdyissä ojituksissa sekä sadanta (mm $d^{-1}$) mittausjaksolla tammikuu 2016-elokuu 2016.

Ojitusmenetelmien välinen ero pohjaveden pinnan korkeuksissa eikä runsaampi salaojavalunnan muodostuminen kaivavalla koneella toteutetussa ojituksessa vaikuttanut tutkimusjakson aikana pellolla tehtäviin viljelytoimiin tai satoihin.

Ojitusmenetelmien välinen ero pohjaveden pinnan korkeuksissa eikä runsaampi salaojavalunnan muodostuminen kaivavalla koneella toteutetussa ojituksessa vaikuttanut tutkimusjakson aikana pellolla tehtäviin viljelytoimiin tai satoihin. Mittaukset koekentällä jatkuvat.

# Turvekerroksen paksuuden vaikutus mustaliuskepohjaisen viljellyn suopohjan $N_2O$- ja $CO_2$-päästöihin

*Effect of peat layer depth on the $N_2O$ and $CO_2$ emissions from a cultivated former peat mining area underlain by a black schist derived subsoil*

Asko Simojoki[1], Minna Mäkelä ja Markku Yli-Halla

[1]Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, PL 27 (Latokartanonkaari 11, Maaperä- ja ympäristötiede), 00014 Helsingin yliopisto, s-posti: asko.simojoki@helsinki.fi

## Johdanto

Lähivuosina Suomessa vapautuu runsaasti vanhoja turvetuotantoalueita peltoviljelyyn. Suomen turvetuotannosta on jo poistunut 40 000 ha, ja tuotannossa olevasta noin 68 000 suohehtaarista 44 000 ha arvioidaan poistuvan vuoteen 2020 mennessä [1]. Suopohjien suuret typpivarat ja kasvintuotannolle suotuisat vedenpidätysominaisuudet mahdollistavat niiden monipuolisen viljelykäytön mutta samalla voivat lisätä niiden kasvihuonekaasupäästöjä. On todennäköistä, että turvetuotannosta viljelyyn vapautuvien suopohjien alta paljastuu enenevässä määrin ilmakehän hapen kanssa kosketuksiin myös maata, jossa on runsaasti sulfideja. Happamia sulfaattimaita (HS-maita) esiintyy yleisesti Itämeren rannikkoalueilla [2, 3], mutta myös sisämaassa ns. mustaliuskealueilla tavataan samantapaista sulfidien hapettumista. Vaikka on ilmeistä, että tällöin syntyy otolliset maaperän $CO_2$- ja $N_2O$-päästöille, HS-maiden kasvihuonekaasupäästöistä on niukasti tuloksia. Tässä tutkimuksessa seurattiin 2014-2015 $N_2O$- ja $CO_2$-emissioita mustaliuskepohjaisesta viljellystä suopohjasta, jonka pohjamaan mineraalityppivarastot tiedettiin suuriksi [4, 5].

## Aineisto ja menetelmät

Koepaikkana oli Joensuun Pärnänsuo, joka on turpeennoston loputtua viljelyyn otettu suopohja. Viljelykasvi oli timotei. Turvekerroksen paksuus vaihtelee suuresti lohkon eri osissa ja maalla on happamaan sulfaattimaan ominaisuudet (maannos Typic Sulfaquept / Typic Sulfosaprist). Mittauksiin valittiin yhdeltä peltosaralta kolme mittauspaikkaa, joissa turvekerroksen paksuus oli 15, 30 tai 60 cm. $N_2O$- ja $CO_2$-emissioita mitattiin suljetun kammion menetelmällä 2-3 viikon välein lumettomana aikana 18.5.2014 – 7.12.2014 ja 13.5.2015 – 24.8.2015. Mittauspaikoilla oli neljä rinnakkaista kammiota. Emissionäytteet otettiin 0, 20 ja 40 min kuluttua kammioiden sulkemisesta lasiampulleihin (3 ml Labco Exetainer®). Kaasukoostumus analysoitiin kaasukromatografilla (Agilent Technologies 7890B GC custom), joka kalibroitiin sertifioidulla kaasuseoksella ja korjaamalla TC, FI ja EC -detektorien ajonaikaiset liukumat tunnettujen näytteiden avulla [6]. Kumulatiiviset emissiot laskettiin kammiokohtaisesti puolisuunnikassäännöllä. Seitsemän epäonnistunutta mittausta korvattiin kyseisen mittauspaikan muiden kammioiden mediaanilla. Pohjaveden tasoa sekä maan lämpötilaa ja kosteutta mitattiin kullakin koepaikalla jatkuvatoimisilla antureilla ja dataloggereilla (Decagon Em50 + 5TE, Solinst 3001 Levelogger + Barologger).

Kumulatiiviset emissiot analysoitiin toistomittausten varianssianalyysillä, jossa koevuosi oli toistotekijä ja koepaikka (turvekerroksen paksuus) ryhmittelevä koetekijä. Emissioiden ja maaperämuuttujien suhteita tutkittiin Pearsonin korrelaatiokertoimien avulla.

## Tulokset ja tarkastelu

Dityppioksidin emissiot lumettomana jaksona olivat vuonna 2014 0,5 – 0,9 N kg/ha, ja 2015 0.3 – 4.4 N kg/ha. Päästöt olivat vähäisimmät, kun turvetta oli 60 cm, ja suurimmat, kun turvetta oli 30 cm. Sen sijaan $CO_2$-päästöihin (4400 C kg/ha 2014 ja 7500 C kg/ha 2015) turvekerroksen paksuus ei vaikuttanut merkitsevästi. Vaikka $N_2O$- ja $CO_2$-emissiot olivat 2015 merkitsevästi

suuremmat kuin 2014, $N_2O$-päästöt pysyivät turvemaan päästöiksi varsin pieninä. Myös lumettoman ajanjakson mittauksista lasketut koko vuoden $N_2O$-päästöt (365 vrk) olivat niin ikään pienet, vain 3,2 kg N $ha^{-1}$. Tämä on vain kymmenesosa Pohjanlahden rannikkoalueiden happamien sulfaattimailla mitatuista päästöistä (Uusi-Kämppä et al., 2014).

Vaikka pohjavesi oli tässä tutkimuksessa koko ajan melko korkealla kaikilla mittauspaikoilla, se ei noussut turvekerrokseen, vaan pysyi B-horisontin yläosassa. Paksuturpeisimmalla paikalla pohjaveden syvyys oli suurin, ja pintamaan kosteus vähäisin, mikä on voinut vähentää sen $N_2O$-päästöjä. $CO_2$-päästöt kasvoivat jokaisella paikalla odotetusti pintamaan lämpötilan ja pohjaveden syvyyden kasvaessa sekä maan kosteuden vähetessä. Sitä vastoin $N_2O$-päästöjen korrelaatio näiden maaperämuuttujien kanssa oli vähäistä. $N_2O$-päästöillä oli merkitsevä positiivinen korrelaatio pintamaan kosteuden kanssa vain ohutturpeisimmalla paikalla, ja $N_2O$-päästöillä oli merkitsevä positiivinen korrelaatio $CO_2$-päästöjen kanssa vain paksuturpeisimmalla paikalla. Syyt maaperän $N_2O$-emissioiden eroihin erityyppisillä happamilla sulfaattimailla ja turvemailla vaativat lisäselvityksiä.

Tutkimus vahvisti aiemmat alustavat tulokset [4] tämän mustaliuskepohjaisen viljellyn suopohjan melko vähäisistä $N_2O$-päästöistä. Happaman sulfaattimaan suuret mineraalityppivarastot eivät siis aina välttämättä aiheuta suuria $N_2O$-päästöjä. Turvekerros voi vähentää $N_2O$-päästöjä, mutta sen paksuuden vaikutus ei ole suoraviivainen. $N_2O$-päästöjen heikko korrelaatio maan lämpötilan, kosteuden, pohjaveden syvyyden ja $CO_2$-päästöjen kanssa sekä suurimpien $N_2O$- ja $CO_2$-päästöjen erilainen ajoittuminen korostavat jatkotutkimusten tarvetta koskien $N_2O$:n tuoton mekanismeja ja $N_2O$-emissiota rajoittavia tekijöitä, joita tutkitaan yksityiskohtaisemmin hankkeen toisissa osissa.

**Kirjallisuus**

[1] Bioenergia ry. 2015. Turpeen tuotanto. http://www.turveinfo.fi/turve/turvetuotanto.

[2] CATERMASS LIFE+ -hanke (Climate Change Adaptation Tools for Environmental Risk Mitigation of Acid Sulphate Soils. www.catermass.fi

[3] Virtanen S. 2015. Redox reactions and water quality in cultivated boreal acid sulphate soils in relation to water management. Diss. University of Helsinki. YEB series *Dissertationes Schola Doctoralis Scientiae Circumiectalis, Alimentariae, Biologicae* 25/2015. Unigrafia, Helsinki. 80 p. http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-51-1519-5

[4] Mäkelä, M., Mäkelä, J., Innanen, S., Simojoki, A. & Yli-Halla, M. 2015. Mustaliuskepohjaisen turvemaan mineraalityppivarat ja $N_2O$-päästöt" ("Mineral nitrogen and $N_2O$ emissions of a peatland underlain with black schist"). Teoksessa: Kujansuu ym. 2015 (toim.), VIII Maaperätieteiden päivien abstraktit. Pro Terra No. 67 / 2015. p. 73-74.

[5] Yli-Halla, M., Virtanen S., Mäkelä, M., Simojoki, A., Kauppinen, M., Innanen, S., Mäkelä, J. & Sullivan, L. 2016. Abundant stocks and mobilization of elements in boreal acid sulfate soils. Artikkelin käsikirjoitus on lähetetty julkaistavaksi lehteen *Geoderma.*

[6] Penttilä, A., Slade, E. M., Simojoki, A., Riutta, T., Minkkinen, K., & Roslin, T. 2013. Quantifying beetle-mediated effects on gas fluxes from dung pats. PLoS One, 8: [e71454]. 10.1371/journal.pone.0071454. (Appendix S1)

# Aijalan vanha kaivosalue esimerkkinä uusioraaka-aineiden tiedon keruusta

*Aijala old mining area as an example of the collection of data on secondary raw materials*

Timo Tarvainen, Tuire Valjus ja Mira Markovaara-Koivisto

Geologian tutkimuskeskus, PL 96, 02151 ESPOO

Raaka-aineet ovat tulossa yhä merkittävämmäksi EU:n taloudelle. Raaka-aineiden kierrätys ja uusioraaka-aineet tulevat yhä tärkeämmiksi kun eräiden raaka-aineiden saatavuus niukkenee ja hinnat nousevat. On arvioitu, että Euroopan Unionin alueella on 150 000 – 500 000 erilaista kaatopaikkaa ja näissä saattaa olla merkittävä määrä hyödyntämättömiä uusioraaka-aineita. Näiden kaatopaikkojen sisältämien uusioraaka-aineiden määristä ei ole kuitenkaan yhtenäistä selvitystä, ja nykyiset raportointikäytännöt eivät ole tehokkaita aineiden hyödyntämistä ajatellen. EU:n Horisontti 2020 -ohjelmasta rahoitettu SMART GROUND -hanke parantaa uusioraaka-aineita koskevan tiedon saatavuutta. Projekti hakee synergiaa uusioraaka-aineiden tuottajien ja hyödyntäjien ketjussa ja kokoaa olemassa olevaa tietoa ja projektin aikana tuotettua uutta tietoa yhtenäiseen tietokantaan.

Projektin tavoitteena on myös parantaa uusioraaka-aineiden taloudellisia ja työllistäviä mahdollisuuksia i) tarjoamalla koulutusta kaatopaikkojen materiaalien hyödyntämisen arvioinnista loppukäyttäjille ja ii) muodostamalla tutkijoille, teollisuudelle ja muille sidosryhmille sekä viranomaisille oman verkoston, joka on sitoutunut edistämään kustannustehokkaasti tutkimusta, teknologian siirtoa ja koulutusta.

SMART GROUND-hanke on valinnut Suomesta kolme koealuetta, joilta kerätään tietoa uusioraaka-aineista. Yksi kohteista on yhdyskuntajätteen kaatopaikka, yksi teollisuusjätteen kaatopaikka ja kolmas kohde on Aijalan vanha kaivosalueen rikastehiekka-allas. Suomen kohteita tutkivat Geologian tutkimuskeskus, Mikkelin ammattikorkeakoulu ja Teknologian tutkimuskeskus VTT sekä Metsäsairila Oy.

Aijalan kuparikaivos toimi Kiskon kunnassa (nykyisin osa Saloa) vuosina 1949 – 1958. Rikastamo toimi Aijalassa vuoteen 1974 asti, koska rikastamoon tuotiin malmia myös läheisestä Metsämontun Zn-Pb kaivoksesta (vuosina 1952 – 1958 ja 1964 – 1974). Myös Telkkälän kaivoksen Ni-Cu malmia rikastettiin Aijalassa vuonna 1970 [1].

Aijalan rikastehiekan alkuainekoostumusta on tutkittu jo vuonna 1982 [2]. Aijalan jätealue sisältää noin 2 miljoonaa tonnia jätettä, jonka keskimääräiset metallipitoisuudet ovat seuraavat: kupari 0,12 %, sinkki 0,50 %, lyijy 0,11 %, hopea 7,95 mg/kg, kulta 0,69 mg/kg. Rikastushiekkaa on keskimäärin 8,7 m:n vahvuudelta ja suurin paksuus on noin 12 metriä [1,2].

Geologian tutkimuskeskus (GTK) otti kesällä 2016 lisänäytteitä Aijalan rikastushiekka-alueesta. Alueelle tehtiin viisi kairauspistettä. Kairanreiät analysoitiin 1 metrin pätkinä, näytteitä saatiin yhteensä 48 kappaletta. Näytteet analysoitiin Labtium OY:n laboratoriossa Kuopiossa. Näytteet kuivattiin 40°C ja jauhettiin teräspannulla. Näytteet hajotettiin vahvojen happojen uuttosarjalla. Ag, Bi, Cd, Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Pr, Sb, Sm, Sn, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U and Yb analysoitiin ICP-MS:llä ja Al, As, B, Ba, Be, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Rb, S, Sc, Sr, Ti, V, Y, Zn and Zr ICP-OES:llä. Lisäksi näytteistä määritettiin kultapitoisuus. Hopean, arseenin, kalsiumin, kadmiumin, koboltin, raudan, magnesiumin, mangaanin, lyijyn, rikin, antimonin, tinan, titaanin, talliumin, uraanin ja sinkin pitoisuuden mediaaniarvo oli suurempi kuin Euroopan pintamaan mediaanipitoisuus [3]. Uudet näytteet otettiin lähes samoista paikoista kuin vuoden 1982 kairausnäytteet. Vuoden 1982 tutkimus sisälsi peräti 28 näytteenottopistettä mutta vuoden 2016 tutkimuksessa

määritettiin useiden sellaisten alkuaineiden pitoisuuksia, jotka olivat puuttuneet aiemmasta tutkimuksesta. Hopean, kuparin, lyijyn ja sinkin pitoisuudet korreloivat positiivisesti vuonna 1982 ja 2016 otetuissa näytteissä.

Geofysikaalisilla tutkimuksilla selvitettiin rikastehiekka-altaan dimensioita ja sisäistä rakennetta. Tulkinnassa käytettiin yhdessä eri mittausmenetelmillä saatuja tuloksia. Käytetyt mittausmenetelmät olivat gravimetrinen, magneettinen ja sähkömagneettinen GEM-2 mittaus sekä monielektrodi -vastusluotaus. Gravimetrisista tuloksista tulkittiin jätealtaan paksuus ja kalliopinnan taso. Tulkinnan apuna olivat alueella tehdyt kairaukset, jotka on kairattu jätemateriaalin läpi kovaan pohjakerrokseen saakka. Magneettisella menetelmällä saatiin yleiskuva rautapitoisuuden vaihtelusta alueen eri osioissa. GEM-2 menetelmää käytettiin sähkönjohtavuuden kartoittamiseen jätealtaan pintaosissa 1 - 10 metrin syvyyteen. Monielektrodi -vastusluotauksella kartoitettiin alueen sähkönjohtokyvyn muutoksia noin 30 metrin syvyyteen. Tulkintatuloksista määritettiin altaan sisäistä rakennetta ja saatiin lisätietoa jätealtaan alapinnan ja kalliopinnan tason vaihtelusta. Tuloksista tehtiin myös 3D-tulkinta, joka havainnollistaa jätealtaan rakennetta alueellisesti. Geofysiikan tulkintatuloksia käytettiin apuna rikastehiekka-alueen mineraaliresurssien arvioinnissa.

Aijalan jätealtaassa on kaksi kerrosta, joista ylempi sisältää Metsämontun kaivoksen lyijy-rikasta ja alempi Aijalan kaivoksen kuparirikasta rikastehiekkaa. Altaan kattava blokkimalli rajattiin eri kerroksiin kuuluviin osiin maanpinnan topografiaa, gravimetrisesti tulkittua kallioperän syvyyttä ja rikastehiekan alapintaa sekä geokemiallisten analyysien perusteella tulkittua rikastehiekkakerrokset erottavaa pintaa, Cu, Zn, Pb, Ag ja Fe pitoisuudet interpoloitiin Kriging-menetelmällä analyysipisteiden pitoisuuksista blokkimallin eri kerroksiin. Blokkimallista laskettiin eri pitoisuuksien volyymit ja massat sekä arvioitiin kerrosten sisältämät kokonaismäärät metalleille. Mineraaliresurssiarviossa käytettiin Geovian GEMS ohjelmistoa.

SMART GROUND-hanke on saanut rahoitusta Euroopan Unionin Horisontti 2020 - ohjelmasta (Grant Agreement No 641988).

**Kirjallisuus**

[1] Sipilä, P. 1994. Aijalan, Pyhäsalmen ja Makolan sulfidimalmikaivosten rikastamoiden jätealueiden ympäristövaikutukset. Osa II –Aiajala. Geologian tutkimuskeskus. Arkistoraportti KA 33/94/1.2. 26 s.

[2] Kokkola, M. 1982. Jätealueen soijatutkimus Kisko, Aijala. Outokumpu OY report 067/2014 03/MK/1982.

[3] Salminen, R. (editor) 2005. Geochemical Atlas of Europe. Part 1: Background information, Methodology and Maps. Geological Survey of Finland, Espoo.

# Nollakuitu hevosten jaloittelutarhojen N- ja P-kuormituksen vähentäjänä

*The potential of boardmill sludge in preventing P and N leaching from horse paddocks*

Anna-Maria Tuovinen[1], Sanna Kanerva[1] Laura Alakukku[2] ja Janna Pietikäinen[3]

[1] Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto,
[2] Maataloustieteiden laitos, PL 28, 00014 Helsingin yliopisto
[3] Ympäristötutkimuksen ja –opetuksen yksikkö, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, PL 65, 00014 Helsingin yliopisto

## Tausta

Hevoset ulkoilevat keskimäärin seitsemän tuntia päivässä, joten kolmannes hevosten lannassa ja virtsassa olevista ravinteista päätyy jaloittelutarhojen maaperään. Hevosen ulosteisiin erittyy noin 53,4 kg N ja 7,6 kg P vuodessa [1]. Typestä suurin osa on virtsassa ja lähes kaikki fosfori on lannassa. Alueilla, joilla on paljon hevostalleja, fosforin ja typen huuhtoutuminen vesistöihin voi olla merkittävää.

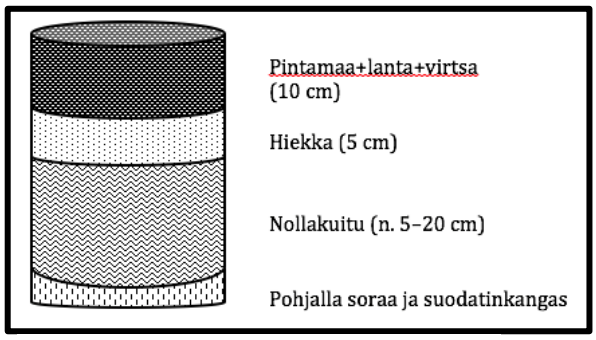
Nollakuitu on puuteollisuuden sivutuote, joka koostuu puukuiduista ja sisältää lisäksi kartongin täyteaineena käytettävää kalsiumia ja kaoliinisavea. Nollakuidussa on runsaasti hiiltä, mutta vain vähän fosforia ja typpeä. Nollakuitua käytetään maanparannusaineena, sillä se parantaa maan fysikaalisia ominaisuuksia ja lisää maan biologista aktiivisuutta [2, 3]. Näiden seurauksena myös ravinteiden huuhtoutuminen vähenee.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, voisiko hevosten jaloittelutarhoihin lisätty nollakuitu vähentää typen ja fosforin huuhtoutumista vesistöihin.

## Materiaalit ja menetelmät

Nollakuidun potentiaalia vähentää hevosten jaloittelutarhoista tulevaa ravinnekuormitusta tutkittiin laboratoriossa maapylväiden avulla (kuva 1). Koejäsenet olivat: 1) 20 cm nollakuitua, 2) 10 cm nollakuitua, 3) 5 cm nollakuitua, 4) 10 cm nollakuitua sekoitettuna maa-ainekseen, 5) Ei nollakuitua (kontrolli). Koejäsenet 1-3 koottiin kuten kuvassa 2 on esitetty. Koejäsenellä 4 nollakuitu sekoitettiin hiekkaan ja pintamaahan ennen pylvään kokoamista. Pylväisiin, joissa nollakuitua oli vähemmän kuin 20 cm tai ei ollenkaan, lisättiin pohjalle vastaava määrä soraa. Jokaisesta koejäsenestä tehtiin kolme rinnakkaista pylvästä.

**Kuva 1.** Koejärjestely



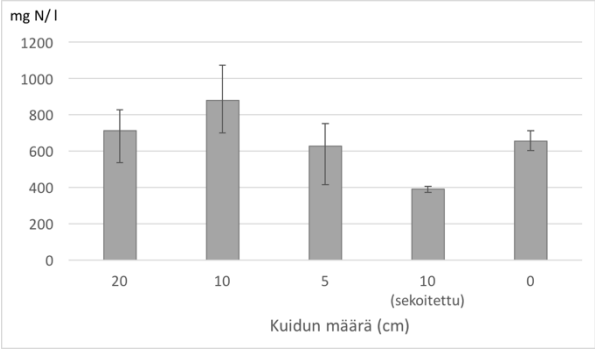

**Kuva 2.** Koejäsenten 1-3 kokoamiskaavio

Pintamaana pylväissä käytettiin hevosten jaloittelutarhasta kerättyä maata, johon sekoitettiin hevosen lantaa ja virtsaa. Seoksessa oli totaalifosforia 440 mg /kg k.a. ja totaalityppeä 4000 mg /kg k.a. Nollakuidussa oli totaalifosforia 74 mg /kg k.a., totaalityppeä 450 mg /kg k.a. ja totaalihiiltä 30 % kuivapainosta. Nollakuidun vedenpidätyskyky oli 5 ml /g k.a. Koe kesti 27 vuorokautta ja se tehtiin +22° C:ssa tasalämpöhuoneessa. Kokeen aikana jokaiseen pylvääseen lisättiin yhteensä 3,15 litraa vettä. Pylväiden läpi suotautunutta vettä kerättiin kymmenenä päivänä ja vedestä analysoitiin totaali-P, -N ja -C, $NO_3^-$-N, $NH_4^+$-N ja $PO_4^{3-}$-P. Lisäksi mitattiin sameus, sähkönjohtavuus ja pH.

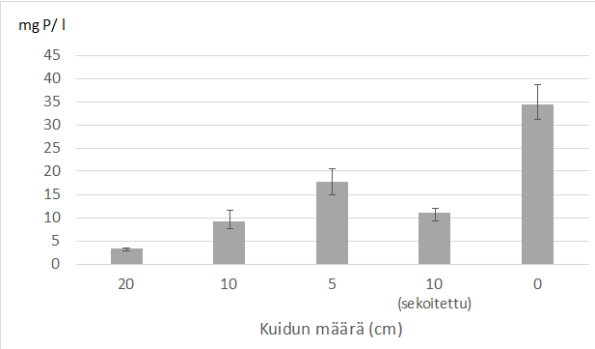
## Tulokset

Nollakuitu vaikutti sekä typen että fosforin määrään suotovedessä. Pylväissä, joissa 10 cm nollakuitua oli sekoitettu muiden kerrosten kanssa, suotoveden totaalityppipitoisuus oli kolmasosan pienempi kuin kontrollissa (Kuva 3). Fosforia puolestaan pidättyi sitä enemmän mitä paksumpi nollakuitukerros oli (Kuva 4); 20 cm nollakuitua pidätti kymmenkertaisen määrän fosforia kontrolliin verrattuna. Nollakuidun sekoittaminen maa-ainekseen ei vaikuttanut sen kykyyn pidättää fosforia.

Korkein pH oli kontrollinäytteillä (ka 7,9) ja pienin 20 cm:n nollakuitukerroksen läpi suotautuneessa vedessä (ka 7,5). Sekoittamaton nollakuitu vähensi suotautuneen veden sameutta sitä tehokkaammin, mitä paksumpi nollakuitukerros oli.




**Kuva 3.** Suotoveden totaalityppipitoisuuden keskiarvo. N=3, jana kuvaa keskihajontaa




**Kuva 4.** Suotoveden totaalifosforipitoisuuden keskiarvo. N=3, jana kuvaa keskihajontaa.

## Johtopäätökset

Hevosten jaloittelutarhaan lisättynä nollakuidulla on potentiaalia pidättää sekä fosforia että typpeä. Tiivistynyt kerros nollakuitua voi kuitenkin hidastaan veden suotautumista maan läpi ja lisätä pintavaluntaa ja siten ravinteiden huuhtoutumista. Nollakuidun sekoittuminen muiden maakerrosten kanssa ylläpitää maan vedenläpäisykykyä samalla kun ravinteiden huuhtoutuminen vähenee.

## Kirjallisuus

[1] Elstob, T., Keskinen, R., Nikama, J., Myllymäki, M., Palva, R., Saastamoinen, M., Särkijärvi, S., Uusi-Kämppä, J. and Virkkunen, E. 2014. Horse Manure – hevosenlannan käsittely ja hyödyntäminen ravinteiden kierrätyksen tehostamiseksi. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus & Työtehoseura. 15 s.

[2] Muukkonen, P., Hartikainen, H. and Alakukku, L. 2009. Boardmill sludge reduces phosphorus losses from conservation-tilled clay soil. Soil & Tillage Research 104: 285-291.

[3] Chatigny, M.H., Angers, D.A. and Beauchamp, C.J. 2000. Active carbon pools and enzyme activities in soils amended with de-inking paper sludge. Canadian Journal of Soil Science 80(1): 99-105.

# Happaman sulfaattimaapellon vesitalouden hallinta ja hapan kuormitus

*Water management of actual acid sulfate soil field in order to ameliorate acid discharge*

Seija Virtanen[1], Jaana Uusi-Kämppä[2], Anna Bonde[3], Rainer Rosendahl[4], Peter Österholm[5] ja Markku Yli-Halla[6]

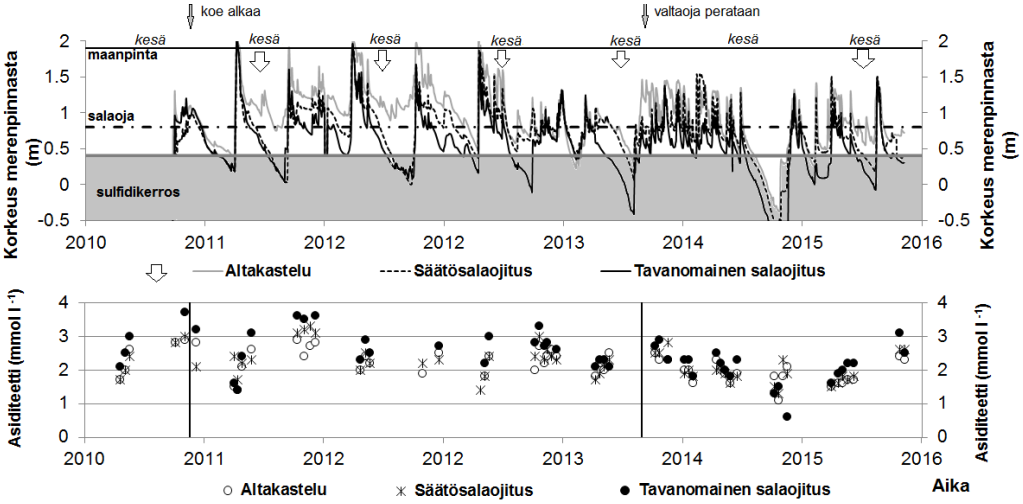
[1]Salaojituksen Tukisäätiö sr, Simonkatu 12 B 25, 00100 Helsinki,[2] Luonnonvarakeskus (Luke), Luonnonvarat ja biotuotanto, Jokioinen, [3]ELY, Etelä-Pohjanmaa,Vaasa,[4]Pro-Agria, Österbotten, Kokkola, [5]Åbo Akademi, Turku, [6]Helsingin yliopisto, Helsinki.

Happamat sulfaattimaat (HaSu) ovat erinomaisia viljelysmaita, jos niiden kuivatus on riittävä ja muokkauskerroksen happamuutta on neutraloitu kalkituksen avulla. Vesistöjen kannalta HaSu-pellot ovat kuitenkin ongelmallisia, sillä niiden valumavesi on hyvin hapanta ja sisältää vesien ekosysteemeille haitallisia metalleja [1]. Syynä happamaan ja metallipitoiseen valumaveteen ovat HaSu-maiden sisältämät sulfidikerrokset. Kauan viljelyksessä olleilla pelloilla sulfideja eniten sisältävät maakerrokset sijaitsevat yleensä ojitussyvyyden alapuolella [2]. Pohjavesi saattaa kuitenkin laskea sulfideja sisältäviin maakerroksiin asti. Joutuessaan hapen kanssa tekemisiin sulfidit hapettuvat rikkihapoksi, joka aiheuttaa maan happamoitumista ja metallien mobilisoitumista maasta.

Happamuus ja haitallisen korkeat metallipitoisuudet ovatkin syynä siihen, että HaSu-alueiden vesistöjen ekologinen tila on korkeintaan tyydyttävä ja kemiallinen tila hyvää huonompi. Haitallisen kuormituksen vähentämiseksi sulfidien hapettumista pyritään estämään pohjaveden korkeutta säätämällä säätösalaojituksen ja altakastelun avulla. Altakastelussa pellon ojastoon pumpataan säätökaivon kautta vettä, kun pohjavesi laskee syvälle. Säätösalaojituksen ja altakastelun vaikutusta happaman kuormituksen vähentämiseen on seurattu käytännön viljelyksillä Vaasan seudulla Söderfjärdenissä vuodesta 2010 asti. Hanke alkoi EU Life+ CATERMASS -hankkeena (2010–2012) ja jatkui kotimaisen rahoituksen turvin BEFCASS-hankkeena vuosina 2014–2016. Tällä hetkellä koekenttää seurataan osana Interreg-rahoitteista VIMLA hanketta vuoteen 2018 asti.

Saatujen tulosten perusteella pellon pohjaveden korkeutta kyetään hallitsemaa säätösalaojituksen ja altakastelun avulla, kun oikovirtaus pelloilta valtaojaan on estetty vettäläpäisemättömään sulfidisavikerrokseen asti ulotetulla muovikalvolla [3]. Altakastelulla sulfidikerros on pysynyt pohjaveden alla ja säätöojituksella on pystytty lyhentämään olennaisesti aikaa, jolloin pohjavesi laskee sulfidikerrokseen [4]. Onnistuneesta pohjaveden hallinnasta huolimatta valumaveden happamuus ei ole vähentynyt merkittävästi. Suurin syy tähän lienee muokkauskerroksen alla olevat hapettuneet hyvin happamat maakerrokset, joihin varastoitunut happamuus huuhtoutuu ylläpitäen valumaveden happamuutta [5]. Seurantajakson aikana ei kuitenkaan ole sattunut yhtään äärimmäisen kuivaa kesää, eikä näin ollen menetelmien tehoa ole voitu testata kaikista kriittisimpänä ajankohtana. Vuoden 2014 syksyllä peltoja sivuava valtaoja perattiin, eikä altakastelua kyetty järjestämään veden puutteen vuoksi kesällä 2015. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, aiheuttiko kastelun puuttuminen happamuuden lisääntymistä verrattuna aiempiin vuosiin ja/tai muihin menetelmiin. Hypoteesina oli, että pohjavesi laskisi altakastelulohkolla aiempaa syvemmälle ja valumaveden happamuus lisääntyisi.

Kaikki koekentän lohkot on salaojitettu noin 20–40 m ojavälein 1,1 metrin syvyyteen. Vanhin salaojitus on tavanomaisesti salaojitetulla lohkolla (1949), joka on uusintaojitettu 2003 ja 2010. Säätösalaojitettu lohko on salaojitettu 2003 ja altakasteltu lohko 1998, ja kummallakin lohkolla on säätösalaojitus ollut käytössä salaojituksesta lähtien. Koelohkot on viljelty samalla tavoin. Viljelykasvi on vuosittain vaihdellut kevätvehnästä kevätohraan. Koelohkoilla on mitattu jatkuvatoimisesti salaojavirtaamaa ja pohjavedenpinnan korkeutta. Valumaveden happamuus, asiditeetti (SFS 3005), on määritetty kunkin lohkon säätökaivosta otetuista vesinäytteistä.




**Kuva** 1. a) Pohjaveden korkeus Söderfjärdenin koekentällä eri tavoin salaojitetuilla lohkoilla vuosina 2010–2016. Altakastellulla lohkolla pohjavesi laski sulfidikerrokseen kesällä 2015 (valkoinen alue). b) Valumaveden asiditeetti koelohkoilla vuosina 2010–2016.

Valtaojan perkauksella ei näyttänyt olevan vaikutusta pohjaveden korkeuteen valtaojan perkausta seuraavana talvena. Päinvastoin leudon ja sateisen talven vuoksi pohjavesi nousi kevättalvella 2015 toistuvasti lähelle maanpintaa (Kuva 1a). Kesällä 2015 valtaojasta kuitenkin loppui vesi, eikä altakastelua kyetty järjestämään ja pohjavesi laski syvälle sulfidikerrokseen. Syksyllä altakastelulohkon veden asiditeetti oli suurempi kuin tavanomaisesti salaojitetun lohkon, jossa se oli poikkeuksellisen matala (Kuva 1b). Kuitenkin jo syksyllä 2016 pienimmät asiditeetit olivat taas altakastelulohkolla. Vuosittainen huuhtoutunut kumulatiivinen happamuus oli altakastelulohkolta pienempi kuin tavanomaisesti salaojitetulta lohkolta, ero oli keskimäärin 22% [6].

Saatujen tulosten perusteella näyttää siltä, että valtaojan perkaus vaikutti altakastelulohkon valumaveden happamuuteen heti seuraavana syksynä 2015. Kuitenkin, kun kastelu jatkui kesällä 2016 entiseen tapaansa, happamuus oli jälleen syksyllä 2016 pienempi kuin tavanomaisessa salaojituksessa. Tulosten perusteella näyttää siltä, että pohjaveden pitäminen sulfidikerroksen yläpuolella jatkuvasti on tärkeää. Valtaojien perkauksen yhteydessä tulisikin huolehtia, että vettä riittää mm. altakasteluun HaSu-alueilla. Kuiviin kesiin varautuminen varastoimalla vettä valtaojiin pohjapatojen avulla toisi lisää varmuutta altakastelun toteuttamiseen äärisääoloissa. Kokonaisvaltainen valuma-alueen vesitalouden tarkastelu ja toimenpiteiden suunnittelu ääriolosuhteita varten olisi tarpeen.

## Kirjallisuus

[1] Åström, M. and Björklund, A. 1997. Geochemistry and acidity of sulphide-bearing postglacial sediments of western Finland. *Environmental Geochemistry and Health* 19: 155–164.

[2] Yli-Halla, M., Räty, M. and Puustinen, M. 2012. Varying depth of sulfidic materials: challence to sustainable management Geological Survey of Finland, Guide 56.

[3] Österholm, P., Virtanen, S., Rosendahl, R., Uusi-Kämppä, J., Ylivainio, K., Yli-Halla, M., Mäensivu, M. and Turtola, E. 2015. Groundwater management of sulfide bearing farmlands using controlled drainage, by-pass flow prevention and subsurface irrigation on a Boreal farmland. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Section B - Plant Soil Science. No. Supplement 1, 110–120.

[4] Virtanen, S., Uusi-Kämppä, J., Österholm, P. ja Yli-Halla, M. 2015. Pohjaveden säädön vaikutus pellon valumaveden happamuuteen happamilla sulfaattimailla. Maaperätieteen Päivät 2015. Pro Terra 67: p. 17–18.

[5] Virtanen, S., Simojoki, A., Uusi-Kämppä, J., Österhom, P. ja Yli-Halla, M. 2013. Happaman sulfaattimaan valumaveden asiditeetti ja alumiinipitoisuudet lysimetrikokeessa ja Söderfjärdenin koekentällä. Pro Terra 61: p. 112–113.

[6]Virtanen, S. Uusi-Kämppä, J., Österholm, P., Bonde, A., Yli-Halla, M. 2016. Potential of controlled drainage and sub-irrigation to manipulate groundwater table for mitigating acid loadings in Finnish acid sulfate soils. In ASABE: 10th Int. Drainage Symp. 6-9 September 2016, Minneapolis, Minnesota.

# Metallien liukoisuus happamassa sulfaattimaassa

*Solubility of metals in an acid sulfate soil*

Markku Yli-Halla[1] ja Mirva Kauppinen[1, 2]

[1] Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
[2] Novalab Oy, Lepolantie 9, 03600 Karkkila

## Johdanto

Maan happamuus lisää metallien liukoisuutta [1]. Tämän ilmiön voi olettaa tulevan korostuneesti esiin happamilla sulfaattimailla, joissa sulfidin hapettuminen voi johtaa äärimmäiseen happamuuteen, jopa tasolle pH 2,8 – 3,0. Sulfaattimaiden halki virtaavien jokien metallipitoisuudet ovatkin poikkeuksellisen korkeat [2], mitä on selitetty metallien huuhtoutumisella alueen happamasta maaperästä. On arveltu, että sulfaattimailla kasvavat kasvitkin olisivat samasta syystä tavanomaista metallipitoisempia, mutta tämä olettamus ei näytä pitävän paikkaansa [3]. Joensuun Pärnänsuolla, jossa maaperä on happamoitunut mustaliuskeen hapettumisen takia, havaittiin, että timotein sinkkipitoisuudet olivat suorastaan puutosrajalla, noin 12 mg/kg [4]. Timotein nikkelipitoisuudet olivat kuitenkin hieman tavanomaista korkeampia mutta eivät mitenkään huolestuttavia. Enimmäkseen oletusten vastaiset kasvien matalat metallipitoisuudet antoivat aiheen tutkia metallien määrää ja esiintymismuotoja maassa.

## Aineisto ja menetelmät

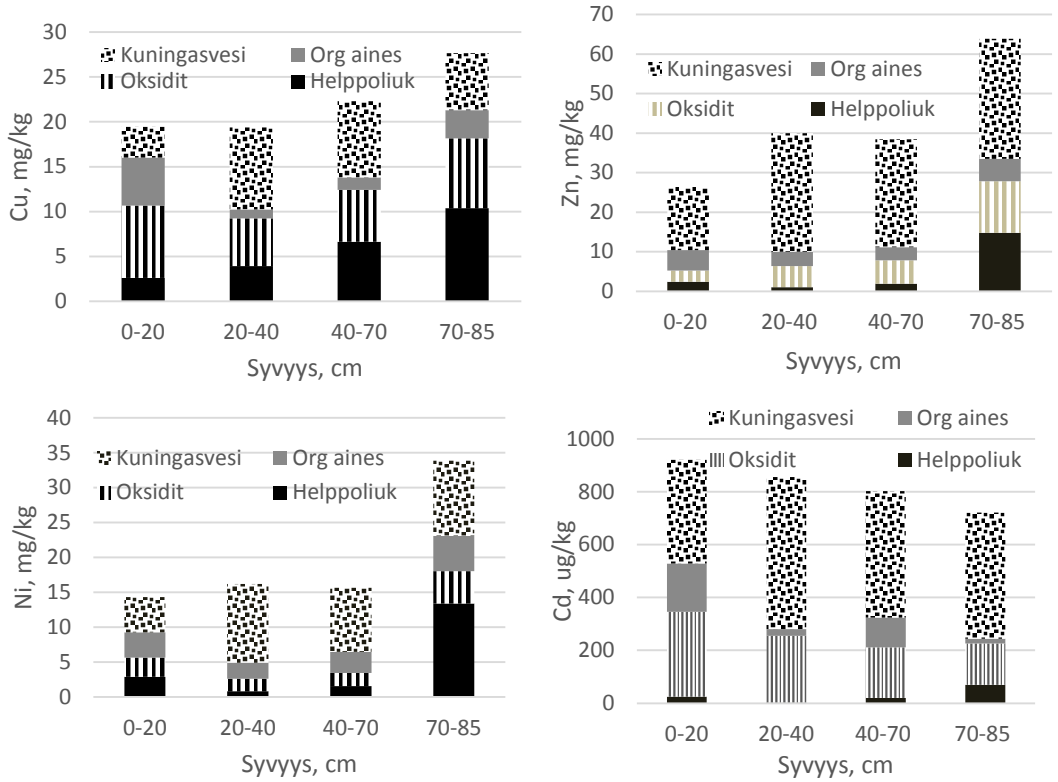
Pärnänsuo sijaitsee Joensuun Hammaslahdessa. Se on entinen turpeenottoalue, joka on otettu maatalouskäyttöön. Maanäytteet kerättiin kolmena osanäytteenä neljästä syvyydestä: 0-20 cm, 20-40 cm, 40-70 cm ja 70-85 cm. Maalajiltaan näytteet edustivat karkeaa hietaa. Näytteet otettiin alueelta, jolta turve oli kokonaan poistettu. Timoteinäytteet oli otettu samoista kohdista. Maanäytteiden metallien esiintymismuotoja tutkittiin perättäisten uuttojen menetelmällä [5, 6], jossa helppoliukoisin fraktio uutettiin 0,11 M etikkahapolla, rauta- ja alumiinihydroksidien sitoma fraktio 0,5 M hydroksyyliammoniumkloridilla (pH 1,5), orgaaninen aines hajotettiin vetyperoksidilla ja vapautuneet metallit uutettiin 1 M ammoniumasetaatilla. Lopuksi tehtiin uutto kuningasvedellä, joka liuottaa mineraalien rakenteissa olevia niukkaliukoisia metalleja. Uutteiden kadmum-, kupari-, nikkeli- ja sinkkipitoisuudet mitattiin ICP:llä. Maanäytteiden pH mitattiin vesisuspensiossa.

## Tulokset

Metallifraktioiden summan perusteella maanäytteissä oli eniten sinkkiä ja selvästi vähiten kadmiumia (Kuva 1). Kuparia ja nikkeliä oli noin puolet ja kadmiumia murto-osa sinkin pitoisuudesta. Pintamaan kupari- ja nikkelipitoisuudet olivat jonkin verran korkeammat kuin moreenimailla keskimäärin on mitattu [7] ja vastasivat paremminkin savimailla esiintyvää tasoa mutta eivät olleet mitenkään poikkeuksellisen korkeita. Sinkkipitoisuudet puolestaan olivat pienemmät kuin moreeneilla ja karkeilla hiedoilla keskimäärin. Sen sijaan kadmiumia oli maassa viidestä kymmeneen kertaa runsaammin kuin suomalaisissa maissa keskimäärin mutta silti paljon alle haitallisen korkeaksi katsotun pitoisuuden. Havaitut karkealle maalle korkeahkot pitoisuudet voivat selittyä sillä, että maa on muodostunut aineksesta, jossa on ollut usein runsaasti metalleja sisältävää mustaliusketta.

Silmiinpistävää on, että helppoliukoisimman kuparin, nikkelin ja sinkin pitoisuudet olivat suurimmat ja peräti 23-40 % fraktioiden summasta syvimmältä otetussa maanäytteissä, jotka edustivat lähes muuttumatonta pohjamaata. Kadmiumilla sama ilmiö näkyy heikommin. Pintamaassa (nykyinen pH 4,6), jonka pH ennen viime vuosina annettua runsasta kalkitusta on ollut 3,0 – 3,5, oli helppoliukoisimpia metalleja paljon niukemmin. Tulosten perusteella näyttää

siltä, että pintamaassa aiemmin vallinnut suuri happamuus on johtanut metallien liukenemiseen ja kulkeutumiseen maaprofiilissa alaspäin. Myös hapettuneen pohjamaan (20-70 cm; pH 3,8 – 3,9) happamuus edistää metallien liikkumista. On epätodennäköistä, että syvimmästä tutkitusta kerroksesta löytyneet helppoliukoiset metallit olisivat peräisin kyseisestä kerroksesta, jonka pH (4,8) ei ollut niin matala, että se aiheuttaisi metallien runsasta liukenemista. Samaan viittaa kuparin, nikkelin ja sinkin kokonaispitoisuuden kasvu syvemmälle mentäessä huolimatta siitä, että maan lajitekoostumus oli kaikissa kerroksissa sama. Happamoituneessa mustaliuskepitoisessa maassa tapahtuu siis huomattavaa metallien mobilisoitumista.




**Kuva 1.** Maan kuparin, sinkin, nikkelin ja kadmiumin esiintymismuodot eri syvyyksillä. Helppoliukoiset metallit uutettiin laimealla etikkahapolla, oksidien sitomat metallit hydroksyyliammoniumkloridilla, orgaanisen aineksen sitomat vetyperoksidi-ammoniumasetaattiuutolla ja rapautumattomiin mineraaleihin sitoutuneet metallit kuningasvedellä.


## Kiitokset

Tekijät kiittävät Suoviljelysyhdistys ry:tä saamastaan taloudellisesta tuesta ja agronomi Pekka Tahvanaista luvasta saada ottaa näytteitä hänen pelloltaan.


## Kirjallisuus


[1] Sohlenius, G. & Öborn, I. 2004. Geoderma 122: 167-175.
[2] Åström, M. & Björklund, A. 1995. Journal of Geochemical Exploration 55: 163-170.
[3] Fältmarsch, R., Österholm, P. & Jacks, G. 2010. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 173: 423-433.
[4] Yli-Halla, M., Mäkelä, J. & Kauppinen, M. 2014.Suo – Mires and Peat 65: 27-32.
[5] Rauret, G., López-Sánchez, J.F., Sahuquillo, A., Rubio, R., Davidson, C., Ure, A. & Quevauviller, Ph. 1999. Journal of Environmntal Monitoring 1:57–61.
[6] Kaasalainen, M. & Yli-Halla, M. 2003. Environmental Pollution 126: 225-233.
[7] Mäntylahti, V. & Laakso, P. 2002. Agricultural and Food Science in Finland 11: 285-300.

# Effects of biochar on earthworms in two long-term field experiments in Finland

Jure Zrim[1], Visa Nuutinen[2], Asko Simojoki[3], Priit Tammeorg[1]

[1]Dept. of Agricultural Sciences, P.O. Box 27 FIN-00014 Univ. of Helsinki
[2]Natural Resources Institute Finland (Luke), FIN-31600 Jokioinen
[3]Dept. of Food and Environmental Sciences, P.O. Box 27 FIN-00014 Univ. of Helsinki

## Introduction

Biochar, a carbon rich solid obtained via pyrolysis and intended to be used as a soil amendment material, is currently the most efficient tool available for carbon sequestration and mitigation of climate change. Further, some biochars can also improve soil properties and increase crop yield. Before the concept of using biochar as soil amendment can be implemented in a bigger scale, it is useful to know how biochar affects in the long-term key components of soil decomposer web, earthworms being one important indicator of effects on soil animals.

Majority of previous studies on biochar effect on earthworms have been short-term laboratory or greenhouse experiments and long-term effects of biochar on earthworm have not yet been elucidated in field conditions. Lack of studies is noticeable also for boreal zone, where the conditions differ strongly (e.g. high soil organic matter (SOM), high humidity, short growing seasons) from tropical zones, where the most biochar studies have been conducted so far. Four short-term field experiments investigating effects of biochar on earthworms have been conducted to our knowledge, but only two of those contained replicated treatments [1, 2, 3]. For these reasons, the aim of this study was to elucidate in boreal conditions the effects of different levels of biochar application and nitrogen fertilization on earthworm abundance, biomass and community composition in two separate field experiments, four and five years after the first application of biochar. To our knowledge this is the first study, set out to find the long–term biochar effects on an earthworms in a replicated field experiment.

## Materials and methods

**Biochar:** Biochars for this study were produced from spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst. in Umbrisol field) and a mixture of spruce and pine (*Pinus sylvestris* L. in Stagnosol field). Both patches of biochars were made of wooden chips in a continuous process for 10–15 min at 550 $^{o}$C [4].

**Umbrisol field:** The effect of biochar was investigated in a nutrient deficient soil, classified as Endogleyic Umbrisol where earthworms were sampled twice since the beginning of experiment, 4 months and 4 years after the application of spruce biochar chips [4]. The field was cropped with timothy and red clover during 2014-2015 undersown to barley (*Hordeum vulgare* L.) in May 2013 and application rate of biochar was 0 and 30 t ha$^{-1}$, with or without inorganic fertilizer. The fertilizer was a mixture of Agro 28-3-5 and $K_2SO_4$ providing 100 kg ha$^{-1}$ of N, 10.8 kg ha$^{-1}$ of P, and 19.5 kg ha$^{-1}$ of K in easily soluble form. Earthworm sampling was conducted in September 2011 and 2015. Three samples were taken from each 10 m x 2.2 m plot, one from each end and one in the middle. The sampling area was 25 cm x 25 cm and the sampling depth 28 cm. Earthworms were hand-sorted, weighted and identified.

**Stagnosol field:** Second field experiment was conducted in a fertile soil, classified as Luvic Stagnosol. This experiment started in 2010 and earthworm were sampled only once, 5 years after the application of spruce and pine biochar chips. Biochar was applied at rate of 0 and 10 t

ha$^{-1}$ with 100% or 30% of recommended N fertilizer (NPK). History of crops and earthworm sampling methods were the same as in Umbrisol study site.

**Results and discussion**

The species composition of earthworm community was on both soils typical for Finnish arable soils with the dominance of endogeic species, *Aporrectodea caliginosa* Sav., followed by epigeic *Lumbricus rubellus* Hoff. The total earthworm density and biomass was higher in Stagnosol field compared to Umbrisol field (Fig. 1) but the proportion of earthworm species was similar in both study sites. Biochar and fertilizer treatments or their interaction had no statistically significant effects on the species composition in either field. Significantly higher earthworm densities were measured in 2015 compared to 2011 in Umbrisol field. This change may be attributed to no tillage management practice, change of cropping from barley to timothy and red clover and optimal climate condition, where the average monthly precipitation over the last two years was higher than the long-term average. No detected effects of biochar on earthworm suggesting biochar to be a safe method for carbon sequestration in Southern Finland conditions.

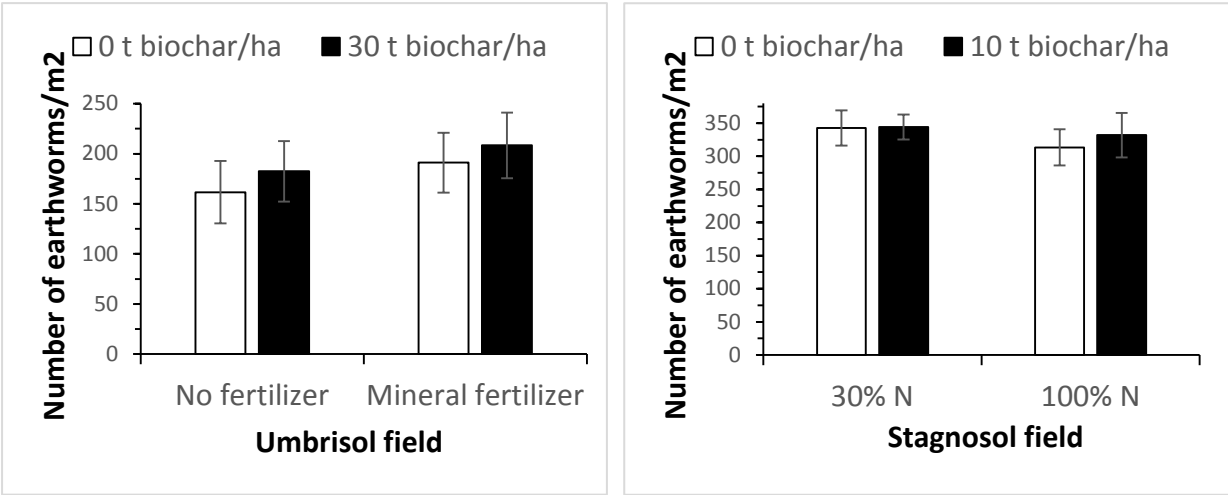



**Fig. 1.** Earthworm density in Umbrisol and Stagnosol fields at depth of 0–28 cm. Values of Umbrisol field are shown in Bonferroni-adjusted means of 4 replicates after corrected for initial soil C content by mixed model. Means and standard errors are model based estimates. Values of Stagnosol field are shown in means of 4 replicates, analyzed by 2-way ANOVA.

**References**

[1] Husk, B., Major, J., 2010. Commercial scale agricultural biochar field trial in Quebec, Canada over two years: effects of biochar on soil fertility, biology and crop productivity and quality. Biology and Crop Productivity and Quality. BlueLeaf.

[2] Weyers, S.L., Spokas, K.A., 2011. Impact of Biochar on Earthworm Populations: A Review. Applied and Environmental Soil Science Article ID 541592.

[3] Ruysschaert, G., Nelissen, V., Postma, R., et al. 2016. Chapter 5: Field applications of pure biochar in the North Sea region and across Europe. In: Biochar in European Soils and Agriculture (Shackley S., Ruysschaert G., Zwart K., Glaser B., eds), Routlege: p 99-135.

[4] Tammeorg, P., Parviainen, T., Nuutinen, V., Simojoki, A., Vaara, E., Helenius, J. 2014. Effects of biochar on earthworms in arable soil: avoidance test and field trial in boreal loamy sand. Agriculture, Ecosystems & Environment 191, 150–157.

# Täydennysojituksen vaikutus valuntaan ja ravinnehuuhtoumiin savimaassa

*The effect of additional subsurface drainage on discharge and nutrient load on clay soil*

Helena Äijö[1],Maija Paasonen-Kivekäs[2], Merja Myllys[3], Jyrki Nurminen[1], Mika Turunen[4], Heidi Salo[4], Olle Häggblom[4], Harri Koivusalo[4], Markus Sikkilä[1], Laura Alakukku[5] ja Markku Puustinen[6]

[1] Salaojayhdistys ry, Simonkatu 12 A 11, 00100 Helsinki, etu.suku@salaojayhdistys.fi
[2] Sven Hallinin tutkimussäätiö, Simonkatu 12 A 11, 00100 Helsinki
[3] Luonnonvarakeskus, Humppilantie 14, 31600 Jokioinen
[4] Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, PL 14100, 00076 AALTO
[5] Helsingin yliopiston maataloustieteiden laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
[6] Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki

Jokioisilla sijaitseva Nummelan koekenttä otettiin salaojatutkimuskäyttöön 1950-luvulla. Vuonna 2007 alkaneessa tutkimuksessa koealue jaettiin neljään eri peltolohkoon, joiden kokonaisala on noin 9 hehtaaria. Peltoalueen keskikaltevuus on noin 1% ja maaperä on pääosin aitosavea. Koekentän ominaisuudet on esitetty yksityiskohtaisesti tutkimusraporteissa [1-3]. Viljelykasvit ja -menetelmät ovat vaihdelleet kasvukausittain, mutta eivät samana kautena neljän peltolohkon välillä. Tutkimusvuosien (2007–2016) aikana peltoalueella on viljelty rehuohraa tai -kauraa.

Kaikilta peltolohkoilta (lohkot A–D) on mitattu salaoja- ja pintakerrosvaluntaa huhtikuusta 2007 lähtien. Valumavesistä on otettu kokoomanäytteitä, joista on määritetty kokonaisfosforin, liukoisen epäorgaanisen fosforin, kokonaistypen ja nitraatti- ja nitriittitypen pitoisuudet sekä haihdutusjäännös (kiintoainepitoisuus). Koekentällä on mitattu sadantaa, lumen ja roudan syvyyttä sekä lumen vesiarvoa. Peltolohkoilla on seurattu pohjavedenpinnan korkeutta sekä maan kosteutta pintamaakerroksesta (0-30 cm kerros). Vuodesta 2008 lähtien kasvukauden sadon määrä ja laatu on analysoitu viidestä rinnakkaisesta satonäytteestä peltolohkoittain.

Vuonna 1954 salaojat asennettiin 1 m syvyyteen 16 m (lohkot A–C) ja 32 m (lohko D) ojavälein. Maan kuivatusta tehostettiin täydennysojittamalla 16 metrin ojavälin alue C kesäkuussa 2008. Uudeksi ojaväliksi tuli 8 m, kun vanhojen imuojien väliin asennettiin uusi imuoja. Täydennysojitus tehtiin kaivavalla salaojakoneella ja ojat asennettiin 1 m syvyyteen. Ympärysaineena käytettiin soraa noin 30 cm salaojaputken päällä, minkä lisäksi tehtiin sorasilmäkkeitä 7-8 metrin välein. Märkyydestä kärsivän harvimman ojavälin alue D myöhästytti koko koekentällä samaan aikaan tehtäviä kylvötöitä. Alue täydennysojitettiin kesäkuussa 2014, jolloin vanhojen ojien väliin asennettiin kaksi uutta salaojaa. Uudeksi ojaväliksi tuli 10,7 m. Täydennysojituksessa ympärysaineena käytettiin soraa ja lisäksi sorasilmäkkeitä. Ojitus tehtiin kaivavalla salaojakoneella.

Täydennysojituksen vaikutuksia on arvioitu ns. vertailualuemenetelmällä ja matemaattisia malleja käyttäen. Nummelan koealueiden ja koko koekentän vesitasetta, eri koealueiden välisiä hydrologisia riippuvuuksia ja salaojitusten toimintaa tutkittiin FLUSH-mallilla [4, 5]. FLUSH-mallilla on selvitetty myös salaojakaivannon merkitystä salaojavalunnan muodostumisessa [6] ja typen huuhtoumista syksyisin sadonkorjuun jälkeen [7].

Nummelan peltoalueen koekentän mittaustulokset osoittavat, että salaojituksen kuivatustehokkuuden lisäys ojaväliä pienentämällä edisti selvästi märkyydestä kärsineen pellon kuivumista ja siten maan kantavuutta keväällä. Tehokas kuivatus lisäsi salaojavaluntaa, minkä myötä kuormitus salaojista valtaojaan kasvoi. Pintakerrosvalunta ja sen mukana tullut kuormitus vähenivät parantuneen kuivatuksen myötä. Salaojavesistä analysoidut pitoisuudet

eivät selvästi eronneet ennen ja jälkeen täydennysojitusten, typpipitoisuuksia lukuun ottamatta. Typpipitoisuudet nousivat selvästi ensimmäisenä vuonna täydennysojituksen jälkeen, jonka jälkeen ne laskivat.

Tutkimuksen mukaan suhteellisen tasaiseltakin savipellolta voi kulkeutua paljon sekä kiintoainetta että partikkelimaista fosforia vesistöihin pääasiassa salaojien kautta runsaasta salaojavalunnasta johtuen. Kuormitushuiput savimaissa ovat yhteydessä syysmuokkauksen jälkeisiin rankkasateisiin tai pitkiin sadekausiin ja leutoihin talviin. Yksittäisiä tutkimusalueita koskevien kuormitustulosten yleistäminen on hankalaa, sillä peltoalueet eroavat paljon kuormittavuuden suhteen maaperän ominaisuuksista ja viljelytoimenpiteistä johtuen samanlaisissakin sääolosuhteissa.

Ojitusmenetelmien vaikutusten osoittaminen edellyttää pitkäaikaista kokeellista tutkimusta peltoalueen mittakaavassa. Myös ojituksen toiminta muuttuu ajan myötä. Jatkossa tarvitaan panostusta mm. pinta(kerros)valunnan mittaamiseen ja pohjavesivalunnan arvioimiseen, jotta vesitaseesta saataisiin mahdollisimman tarkka käsitys. Kokeellisen tutkimuksen rinnalla laskennallinen tutkimus matemaattisia malleja käyttäen on oleellinen osa tämäntyyppisissä tutkimuksissa. Vesiensuojelun kannalta peltoviljelyssä tärkeitä on käyttää ja kehittää viljelymenetelmiä, joilla valumavesien ainespitoisuudet olisivat mahdollisimman pienet. Lisäksi salaojtustekniikkaa tulee kehittää vesistökuormituksen vähentämiseksi.

Tutkimus on osa TOSKA (”Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa”) -hanketta. Hanke jatkuu vuoden 2016 loppuun. Salaojituksen tutkimusyhdistys hallinnoi hanketta ja käytännön toimijat ovat Salaojayhdistys, Luke, Aalto-yliopisto, Sven Hallinin Tutkimussäätiö, Syke ja Helsingin yliopisto. Hankeen rahoittavat Salaojituksen Tukisäätiö, maa- ja metsätalousministeriö, Maa- ja vesitekniikan tuki ry ja hankkeeseen osallistuvat laitokset.

**Kirjallisuus**

[1] Vakkilainen P, Alakukku L, Myllys M, Nurminen J, Paasonen-Kivekäs M, Peltomaa R, Puustinen M, Äijö H. 2008. *Pellon vesitalouden optimointi. Väliraportti 2008*. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 29. 100 s.

[2] Vakkilainen, P, Alakukku L, Koskiaho J, Myllys M, Nurminen J, Paasonen-Kivekäs M, Peltomaa R, Puustinen M, Äijö H. 2010. Pellon vesitalouden optimointi. Loppuraportti 2010. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry.n tiedote 30. 112 s. + liitteet 46 s.

[3] Äijö H, Myllys M, Nurminen J, Turunen M, Warsta L, Paasonen-Kivekäs M, Korpelainen E, Salo H, Sikkilä M, Alakukku L, Koivusalo H, Puustinen M. 2014. PVO2-hanke. Salaojitustekniikat ja pellon vesitalouden optimointi. Loppuraportti 2014. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 31. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry. Helsinki. 105 s.

[4] Turunen M, Warsta L, Paasonen-Kivekäs M, Nurminen J, Myllys M, Alakukku L, Äijö H, Puustinen M, Koivusalo H. 2013. Modeling water balance and effects of different subsurface drainage methods on water outflow components in a clayey agricultural field in boreal conditions. Agric. Water Manage. 121: 135-148.

[5] Turunen M, Warsta L, Paasonen-Kivekäs M, Nurminen J, Koivusalo H. 2015b. Simulating water balance and evapotranspiration in a subsurface drained clayey agricultural field in high latitude conditions. Acta Agric Scand. B. 65: 44-57.

[6] Salo H, Warsta L, Turunen M, Paasonen-Kivekäs M, Nurminen J, Myllys M, Alakukku L, Koivusalo H. 2016. Simulating 3-D water flow in subsurface drain trenches and surrounding soils in a clayey field. Soil and Tillage Research. Hyväksytty julkaistavaksi pienin muutoksin.

[7] Salo H., Warsta L., Turunen M., Paasonen-Kivekäs M., Nurminen J., Koivusalo H. 2015. Development and application of a solute transport model to describe field-scale nitrogen processes during autumn rains. Acta Agiculturae Scandinavica Section B Soil & Plant Science, Vol 65, No. Supplement 1: 30-43.

ISBN 978-951-51-2877-5 (nid.)
ISBN 978-951-51-2878-2 (PDF)
ISSN 1457-263X

Helsinki 2017