



# BIOHIILELLÄ PUHTAAMPI YMPÄRISTÖ JA UUTTA LIIKE- TOIMINTAA ETELÄ-SAVOON

Niina Laurila (toim.)



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

Niina Laurila (toim.)

# BIOHIILELLÄ PUHTAAMPI YMPÄRISTÖ JA UUTTA LIIKE- TOIMINTAA ETELÄ-SAVOON



ETELÄ-SAVON  
MAAKUNTALIITTO

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

XAMK KEHITTÄÄ 74

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU  
MIKKELI 2019

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Manu Eloaho

Taitto- ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-164-4 (nid.)

ISBN: 978-952-344-165-1 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN 2489-3102 (verkkójulkaisu)

[julkaisut@xamk.fi](mailto:julkaisut@xamk.fi)

# LUKIJALLE

Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savoon -hanke toteutettiin yhteistyössä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahuusalan ja Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n kesken. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan unionin aluekehitysrahastosta, Metsäsairila Oy ja Suur-Savon Energiasäätiö sr.

Hanke toteutettiin ajalla 1.1.2017–30.4.2019. Hankkeen projektipäällikköinä toimivat ins. (AMK) Niina Laurila ja TkT Jussi Heinimö. Hankkeen tutkimusinsinööri oli DI Tiina Saario, TKI-asiantuntija ins. (AMK) Tuomas Venäläinen ja hankesihteerinä Hanna-Maija Penttinen. Bioli-hankkeen vastuullisena johtajana toimi tutkimusjohtaja FT Lasse Pulkkinen ja yhteyshenkilönä tutkimuspäällikkö TkT Hanne Soininen.

Hankkeen etenemistä ohjasi ja valvoi ohjausryhmä, johon kuuluivat kehityspäällikkö Jonne Gråsten Metsäsairila Oy:stä, toimitusjohtaja Tommi Pajala Ecomation Oy:stä, toimitusjohtaja Juha Kauppinen Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:stä, toimitusjohtaja Mika Hassinen Scandinavian Biopower Oy:stä, ympäristönsuojelun asiantuntija Jyrki Hämäläinen Etelä-Savon ELY-keskukselta, Suur-Savon Energiasäätiö sr:n puheenjohtaja Ahti Myllys ja tutkimuspäällikkö Hanne Soininen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta. Lisäksi ohjausryhmään kuuluivat myös tutkimuspäälliköt Kati Kontinen ajalla 1.1.–30.6.2017 ja Jouni Tornberg ajalla 1.8.2017–31.12.2018 Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta. Hankkeen ohjausryhmässä rahoittajan edustajana toimi kehittämispäällikkö Marko Tanttu Etelä-Savon maakuntaliitosta.

Tekijät kiittävät hankkeen rahoittajia kehittämistyön mahdollistamisesta sekä muita hankkeeseen osallistuneita aktiivisesta osallistumisesta hanketyöhön.

Mikkelissä 30.4.2019

# KIRJOITTAJAT

**JONNE GRÅSTEN**, FM, kehityspäällikkö

Metsäsairila Oy

**JUSSI HEINIMÖ**, TkT, ohjelmajohtaja

Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy

**ANNE LAITINEN**, insinööri (AMK), jäteneuvoja

Metsäsairila Oy

**NIINA LAURILA**, insinööri (AMK), projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**TIINA SAARIO**, DI, tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**HANNE SOININEN**, TkT, tutkimuspäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**TUOMAS VENÄLÄINEN**, insinööri (AMK), TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

# SISÄLLYS

LUKIJALLE.....	3
KIRJOITTAJAT.....	4
Niina Laurila & Jussi Heinimö & Hanne Soininen BIOHIILELLÄ PUHTAAMPI YMPÄRISTÖ JA UUTTA LIIKETOIMINTAA ETELÄ-SAVOON .....	7
Tiina Saario MONIKÄYTTÖINEN BIOHIILI .....	9
Tiina Saario & Niina Laurila BIOHIILEN VALMISTUS JA OMINAISUUDET .....	16
Niina Laurila & Jonne Gråsten JÄTEASEMAN SUOTOVEDEN KÄSITTELY BIOHIILELLÄ.....	23
Tiina Saario & Niina Laurila BIOHIILI PROSESSIKAASUJEN PUHDISTAJANA .....	32
Niina Laurila & Tuomas Venäläinen UUTTA KASVUA BIOHIILESTÄ.....	40
Niina Laurila & Anne Laitinen BIOHIILESTÄ KASVUALUSTA.....	47
Jussi Heinimö & Hanne Soininen BIOHIILEEN LIITTYVÄN LIIKETOIMINNAN KEHITTÄMINEN JA KAUPALLISTAMISEN VALMISTELU .....	56



# BIOHIILELLÄ PUHTAAMPI YMPÄRISTÖ JA UUTTA LIIKETOIMINTAA ETELÄ-SAVOON

Niina Laurila & Jussi Heinimö & Hanne Soininen

Bioli – Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savoon -hankkeessa tavoitteena oli kehittää ja testata uusia kaupallistettavia biohiilituotteita ja -sovelluksia sekä luoda konkreettisia edellytyksiä uuden, biohiileen perustuvan liiketoiminnan syntymisille Etelä-Savoon. Hankkeen toteuttivat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala (Xamk) ja Mikkelin kaupungin kehittämisyhtiö Miksei Oy. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon Maakuntaliitto Euroopan unionin aluekehitysrahastosta, Metsäsairila Oy ja Suur-Savon Energiasäätiö sr.

## HANKKEEN TOIMENPITEET

Hanke jakautui neljään eri toimenpiteeseen, jotka on esitetty kaaviossa 1. Xamk vastasi uusien biohiilisovellusten tunnistamisesta, laboratorio- ja demonstraatiokokeista, ja Miksei Oy puolestaan toteutti kaupallistamiseen liittyvät toimenpiteet. Kaaviossa esitettyjen toimenpiteiden lisäksi molemmat osapuolet vastasivat raportoinnista ja tulosten soveltamisesta käytäntöön.



Kaavio 1. Bioli-hankkeen toimenpiteet



Hankkeessa toteutettiin potentiaalisten biohiilen käyttökohteiden tarkastelu sekä kaupallinen arviointi. Tarkastelu tehtiin yli 275 asteen lämpötilassa valmistetulle biohiilelle. Tarkastelun tuloksia on esitetty myöhemmin artikkeleissa ”Monikäyttöinen biohiili” ja ”Biohiilen valmistusmenetelmät ja ominaisuudet”.

Seitsemästä biohiili-tuoteinnovaation laboratoriomittakaavan testauksesta kuusi toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikkelin kampuksen ympäristölaboratoriossa ja seitsemäs Mikkeli puiston Xamkin mallipuistossa. Xamkin ympäristölaboratoriossa testattiin biohiilen käyttöä maanparannuksessa, katemateriaalina, suodattimena vesien ja kaasujen käsittelyssä, kompostiprosessissa kiihdyttäjänä sekä biohiilen valmistuksessa syntyvien tislaiden käyttöä biokaasulaitoksen raaka-aineena. Seitsemännessä kokeessa testattiin Mikkeli puistossa biohiilen käyttöä kuusen taimien lannoituksessa.

Hankkeessa toteutettuihin demonstraatiokokeisiin valittiin ne sovellukset, joilla katsottiin olevan kaupallistamispotentiaalia. Näitä sovelluksia olivat kaasujen käsittely biokaasulaitoksella ja jäteasemalla, maanparannusaine, metsälannoite sekä katemateriaali. Demonstraatiokokeiden toteutukseen osallistuivat Metsäsairila Oy, eteläsavolainen biokaasulaitos ja eräs yksityinen metsänomistaja.

Hankkeessa toteutettiin uusien tuotteiden ja sovellusten kaupallistamisessa tarvittavien toimijaverkostojen tunnistus ja koonti sekä valmisteltiin kaupallistamisen seuraavassa vaiheessa toteuttavia toimenpiteitä.

## HANKKEEN TULOKSET

Hankkeessa tehdyillä selvityksillä saatiin tietoa biohiilen käytöstä eri kohteissa sekä niiden kaupallistamispotentiaalista. Laboratoriomittakaavan kokeilla saatiin tietoa biohiilipohjaisten tuoteaihioiden toimivuudesta erilaisissa käyttökohteissa. Demonstraatiokokeilla luotiin konkreettisia edellytyksiä biohiilituotteille, palveluille ja liiketoiminnalle.

Kokeiden tulokset osoittavat, että biohiilellä pystytään parantamaan monien tuotteiden laatua sekä luomaan kokonaan uusia biohiilipohjaisia tuotteita. Hankkeen toimenpiteistä ja tuloksista on kirjoitettu raportteja ja artikkeleita. Tuloksia on esitelty myös seminaareissa. Tässä julkaisussa esitellään pääosa hankkeen toimenpiteistä ja tuloksista.

# MONIKÄYTTÖINEN BIOHIILI

Tiina Saario

Ihminen on käyttänyt biohiiltä jo tuhansien vuosien ajan. Yleisiä käyttökohteita biohiillelle ovat nykyään maanparannus, vedenpuhdistus ja kaasusuodatus. Nykyisin tavallinen kansalainen törmää biohiileen yhä useammin päivittäistavarakaupassa, esimerkiksi kissanhiekassa tai kasvojen puhdistusaineissa. Biohiilen käyttö ja tutkimus kasvavat koko ajan. Elektroniikkateollisuus käyttää biohiiltä kondensaattoreissa, ja useat eri alkutuotannon alat (muun muassa maa- ja metsätalous) muuntavat nykyään biomassajäämänsä biohiileksi vähentääkseen päivittäin syntyvän jätteen määrää. Tästä syntyvä biohiili voidaan käyttää maanparannukseen tai pelletteinä bioenergian tuotantoon.

Viime vuosina biohiilen käyttömahdollisuuksia on selvitetty myös muissa puhdistus-, suodatus ja parannustehtävissä. Tällaisia tehtäviä ovat esimerkiksi hiilensidonta ja tuhoutuneen alueen entisöinti. Yhtenä syynä kiinnostukseen on ollut erityisesti biohiilen käytön vaikutus ilmastonmuutoksen hillitsemiseen. Biohiilen laaja-alaiset ominaisuudet tekevät siitä erinomaisen vaihtoehdon moniin eri käyttötarkoituksiin ja -kohteisiin.

## MAANPARANNUS JA LANNOITTAMINEN

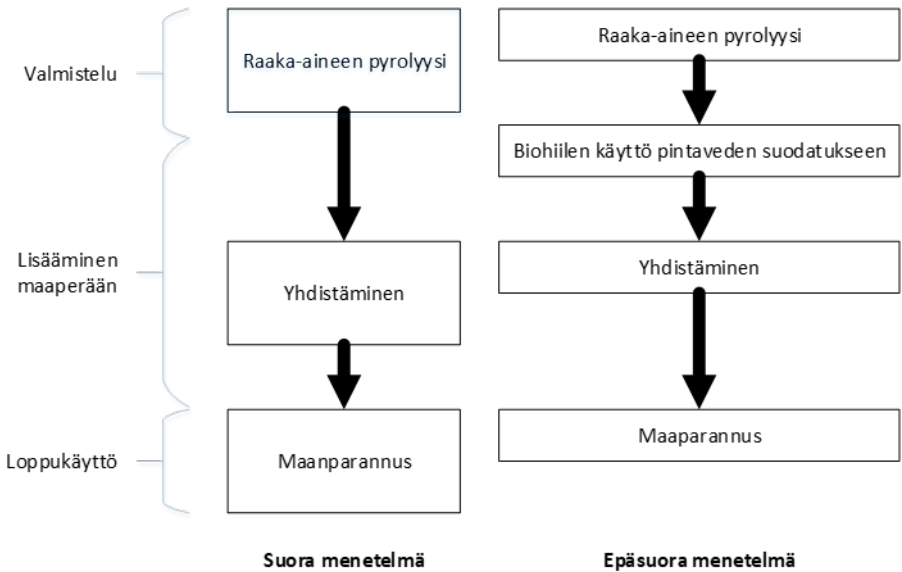
Biohiili toimii usealla hyödyllisellä tavalla maanparannuksessa. Se muun muassa parantaa maaperän vedensidontakykyä, ilmastusta, happamuutta sekä kasvattaa orgaanisten aineiden pitoisuutta. Biohiili myös ehkäisee kasvihuonekaasujen ( $N_2O$  ja  $CH_4$ ) vapautumista maasta. Lisäksi biohiilen huokoinen rakenne, varautunut pinta sekä pinnan funktionaaliset ryhmät (esim. karboksyyli, hydroksyyli, fenolihydroksyyli, karbonyyli) vaikuttavat migraatioon, muuntumiseen ja maaperän haitta-aineiden biosaatavuuteen (Nartey & Zhao 2014).

Kompostia on usein käytetty maanparannuksessa. Biohiilellä ja kompostilla on hyvin samantapaisia ominaisuuksia, molemmat mm. alentavat maaperän tiehyttä ja säilyttävät mineraalit kasveille käytettävissä olevassa muodossa. Merkittävänä erona on kuitenkin se, että komposti hajoaa maaperässä noin 10 kertaa nopeammin kuin biohiili (Gupta ym. 2016).

Viljelytaloudessa kasviraivanteet ovat välttämättömiä ja niiden vähäisyys on usein sadonkasvua rajoittava tekijä. Typpi ja fosfori voivat helposti huuhtoutua tai kulkeutua pintavaluman mukana pois pelloilta. Ravinteiden määrän lisääminen ei kuitenkaan ole hyvä ratkaisu, sillä typpi ja fosfori aiheuttavat haittaa pintavesistöille: fosfori lisää makean veden ja typpi suisto- ja valtamerisysteemien rehevöitymistä (Hyland & Sarmah 2014). Biohiilen lisäämisen maatalouden maaperiin on osoitettu parantavan maan viljavuutta sekä lieventävän ilmastonmuutosta. Biohiilen tuottaminen on myös ympäristöystävällisempää kuin synteettisten lannoitteiden.

Hammerin ym. (2014) tekemissä peltokokeissa ja kontrolloiduissa laboratorioskokeissa, saatoisuus todettiin kasvavan biohiilen lisäyksen myötä. Tämä näkyy erityisesti happamilla ja karkeapintaisilla maaperillä. Schulz & Glaser (2012) ovat tutkineet biohiilen ja kompostin vaikutusta kauran kasvuun. Vertailussa he tarkastelivat kivennäis- ja orgaanista lannoitetta. Tutkimuksessaan he huomasivat, että biohiilellä oli positiivinen vaikutus kauran kasvuun, kaliumin saatavuuteen sekä TOC-tasoon. Yhdistämällä biohiili kompostin kanssa saavutettiin paras kauran kasvu sekä hiilen pidättyminen. Tutkijat totesivatkin, että biohiilen lisääminen maaperään kasvattaa orgaanisen aineksen määrää ja maaperän hedelmällisyyttä, mikä edistää kasvien kasvu.

Jos biohiiltä käytetään maaperässä erityisesti typen ja fosforin talteen saamiseksi, tulee miettiä millä keinolla biohiili yhdistetään maaperään: suorasti vai epäsuoraasti (kuva 1). Jos biohiilen avulla pintavesistä suodatetaan typpi ja fosfori ennen maaperään yhdistämistä, voidaan saada talteen osa ravinteista, jotka muuten huuhtoutuisivat pintavesien mukana pois. Tämä olisi eduksi sekä sadolle että pintavesien laadulle (Hyland & Sarmah 2014).



Kuva 1. Biohiilen suora ja epäsuora käyttö maanparannuksessa (mukaiillen Hyland & Sarmah 2014)

Maanparannuksessa ja lannoituksessa on oltava erittäin tarkkana biohiilen valinnassa. Joissain tapauksissa voi lisäksi käydä niin, että biohiili sitoo ravinteet maasta niin, etteivät kasvit pysty hyödyntämään niitä. Tällöin biohiili voi vaikuttaa maaperässä negatiivisesti tuottavuuteen. Esimerkiksi kunnallisesta kiintojätteestä tai viemäriletteestä valmistetut biohiilet voivat sisältää raskasmetalleja. Myös tuotantoprosessissa voi syntyä biohiiltä, joka maaperässä muodostaa myrkyllisiä yhdisteitä. (Hyland & Sarmah 2014) Lisäksi tulee selvittää, miten maaperän organismit reagoivat hiilen lisäämiseen. Biohiilen tutkiminen on siten erittäin tärkeää, jotta vältetään negatiivisilta jälkivaikutuksilta.

## KOMPOSTOINNIN OPTIMOINTI

Kompostointiin merkittävimmin vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa ilmastus, kosteuspitoisuus, lämpötila ja happamuus. Optimaalisten kompostin lähtöaineiden kosteuspitoisuus on 60–70 %, ravinnepitoisuus korkea ja ligniinipitoisuus on alhainen. Tällaisia ovat esimerkiksi elintarviketejäte ja lietalanta (Camps & Tomlinson 2015). Biohiilen huokoset sitovat sisäänään ilmaa ja vettä, minkä ansiosta biohiili pitää kompostin kosteana ja ilmastoituna sekä parantaa biologista aktiivisuutta. Lisäksi veden mukana biohiileen sitoutuu liuennta orgaanista hiiltä, typpä ja muita kasviravinteita. Biohiili sitoo lisäksi hajoavilta orgaanisilta yhdisteiltä elektroneja, jotka voisivat muuten heikentää kompostin mikrobitoimintaa ja aiheuttaa näin kasvihuonekaasujen syntymistä. (Gupta ym. 2016)

Kompostiin sekoitettavan biohiilen määrä ei tulisi olla yli 20–30 massaprosenttia kompostista. Suurempi määrä voi haitata kompostin biohajoamista. Soveltuvina annoksina biohiili nopeuttaa kompostoitumista parantamalla homogeenisyyttä, seoksen rakennetta sekä stimuloimalla mikrobien aktiivisuutta. Näin saavutetaan korkeampi lämpötila ja lyhyempi kompostoinnin kesto, jotka taas parantavat prosessin taloudellista kannattavuutta (Camps & Tomlinson 2015). Tätä tukee myös Kainulaisen (2018) esittelemät tulokset. Heidän kokeissaan tunnelikompostiin lisättiin biohiiltä 3 ja 5 märkäpainoprosenttia. Tulokset osoittivat, että kompostit, joihin oli lisätty biohiiltä, hajosivat nopeammin ja niiden prosessilämpötila oli korkeampi. Tämä antaa olettaa, että kompostien mikrobiin aktiivisuus oli kasvanut.

## VESIEN KÄSITTELY (RAVINTEET, KEMIKAALIT)

Biohiilellä on erinomainen kyky poistaa haitta-aineita vesipohjaisista liuoksista. Muihin edullisiin puhdistusmenetelmiin, kuten hiekkasuodatukseen, keittoon ja klooraukseen verrattuna biohiilellä on lukuisia erityisominaisuuksia:

1. Biohiili on edullinen ja uusiutuva adsorbentti, joka on valmistettu olemassa olevista biomateriaaleista.
2. Muut nykyisin käytetyt menetelmät poistavat patogeenit, mutta biohiili poistaa kemikaalit sekä biologiset että fysikaaliset epäpuhtaudet.
3. Biohiili säilyttää veden aistinvaraisesti havaittavat ominaisuudet, kun taas esimerkiksi klooraus aiheuttaa karsinogeenisia sivutuotteita, keittäminen puolestaan nostaa kemiallisten haitta-aineiden konsentraatiota (Gwenzi ym. 2017).

Biohiilen on ajateltu käytettävän myös pintavalumien rajoittamiseen ja suodatukseen. Biohiilitäytteenä – joko synteettinen uudelleenkäytettävä tai kertakäyttöinen biohajoava – verkkosäiliö pintavalumasta kärsivän rinteiden alapuolella voi suodattaa vesistä sen sisältämät ravinteet. Tämän jälkeen ravinnerikas biohiili olisi käytettävissä maanparannukseen. Suodatinjärjestelmä toimii myös tapauksissa, joissa pintavaluma ohjautuisi luonnollisiin vesistöihin. Tällöin biohiilen avulla voitaisiin ehkäistä ravinteiden joutumista pintavesiin (Hyland & Sarmah 2014).

## HIILENSIDONTA

Ilmastonmuutoksen yksi merkittävä aiheuttaja ovat ilmakehän hiilipäästöt, erityisesti hiilidioksidi. Biohiilellä voi olla suuri merkitys tämän ehkäisyssä. Biomassan muunto biohiileksi on hiilensidontakeino. Biohiilen hajoaminen on huomattavasti hitaampaa kuin alkuperäisen biomassan, ja näin ollen tämä viivästetty hapettuminen tuottaa pitkäkestoista hiilensidontaa. (Cowie ym. 2015) Lisäksi biohiili itsessään sitoo kasvien lailla hiilidioksidia ja kykenee varastoimaan kasvihuonekaasuja niin kutsuttuun nieluun. Biohiilen hiilinielu on eräänlainen keinotekoinen säiliö, jonne kasaantuu ja kerääntyy hiilidioksidia (Stoyle 2011).

Windeatt ym. (2014) ovat määrittäneet, miten eri sadonkorjuujätteistä (mm. riisin akana, puuvillan korsi, oliivien puristusjäte, kookospähkinän kuori) valmistetut biohiilet pystyvät pitkällä aikavälillä sitomaan hiiltä ja hiilidioksidia. Heidän kokeittensa mukaan 21,3–32,5 % raaka-aineen sisältämästä hiilestä voidaan sitoa biohiileen pitkäaikaisesti. Optimaalisimmassa skenaariossa he totesivat, että 150 Mt hiiltä eli 550 Mt hiilidioksidia vuodessa voitaisiin varastoida maaperään, jos tutkitut raaka-aineet muutettaisiin 373 megatonniksi biohiiltä.

Biohiilen tuotannossa syntyvät kaasut voidaan ohjata lämmön- ja energiantuotantoon. Pyrolyysin energiantuotantoa yhdistettynä biohiilen käyttöön maaperässä pidetäänkin mahdollisesti ainoana ”hiilinegatiivisena” energiantuotantomuotona. Tällä tarkoitetaan prosessia, joka sitoo enemmän ilmakehän hiiltä kuin sillä valmistettava tuote ja tuotteen käyttö vapauttavat (Hyland & Sarmah 2014).

## UUDET JA TULEVAT KÄYTTÖKOHEET

Biohiilelle kehitetään koko ajan uusia käyttökohteita. Schmidt & Wilson (2019) ovat luetelleet mahdollisesti soveltuvia uusia, tutkimuksen alla olevia sekä jo teollisessa käytössä olevia käyttökohteita, joita ovat

- rakennustekniikan eristysmateriaalit sekä ilmanpuhdistus
- maaperän puhdistuksessa lisäaine tai alusraina
- karjataloudessa mm. kuivikkeen tai rehun lisäaineet
- pakokaasusuodattimet
- funktionaalisten alusvaatteiden kankaiden lisäaine tai vaatteiden lämpöeriste
- kengänpohjien deodorantti
- patjojen ja tyyntyjen täyte.

## SIVUTUOTTEIDEN KÄYTTÖKOHEET

Pyrolyysiprosessissa syntyy biohiilen sivutuotteina pääasiassa bioöljyä, pyrolyysikaasuja sekä energiaa. Bioöljyä käytetään muun muassa liikenteessä, energiantuotannossa sekä teollisuudessa. Bioöljyllä voidaan korvata fossiilisen öljyn käyttöä ja näin ollen vähentää hiilidioksidipäästöjä. Myös syntyvä ylimääräinen energia voidaan hyödyntää esimerkiksi lämmityksessä.

Biohiilen tuotannossa syntyvien pyrolyysikaasujen varastointi ja kuljetus on kallista. Tästä syystä niille on pyritty kehittämään paikallisia käyttökohteita, kuten biohiilen aktivointi aktiivihieksi sekä pyrolysaattorin energian tuotanto. Primaariteollisuuden yhteydessä olevan laitoksen ylijäämäenergia voidaan ohjata esimerkiksi lähellä sijaitsevan maatilan käyttöön.

Biokaasun tuotannossa lähtöaineiden nesteet tiivistyvät öljyn lisäksi myös erilaisiksi tisleiksi. Tisleitä käytetään nykyään jo biohajoavien katteiden käsittelyssä, mutta niille yritetään jatkuvasti löytää uusia käyttökohteita. Erityisesti tisleiden hyödyntäminen lannoituksessa ja rikkakasvien torjunnassa on tutkimuksen alla (Vuori & Kangas 2017). Hagner (2012) on tutkinut koivupuun hidaspYROLYYSISSÄ syntyvän koivutisleen ja biohiilen vaikutusta glyfosaatin käyttäytymiseen pelloilla. Glyfosaatin tapaisten torjunta-aineiden hajoaminen maaperässä on hyvin hidasta, ja tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, voiko tätä hajoamista nopeuttaa tisleen ja biohiilen avulla. Tuloksista nähdään, että tisle nopeuttaa glyfosaatin hajoamista ja yhdessä biohiilen kanssa tisle vaikuttaa glyfosaatin kulkeutumiseen ja pysyvyyteen ympäristössä.

## LÄHTEET

Camps, M. & Tomlinson, T. 2015. The Use of Biochar in Composting, International Biochar Initiative.

Cowie, A., Woolf, D., Gaunt, J., Brandão, M., de la Rosa, R. A. & Cowie, A. 2015. Biochar, carbon accounting and climate change. Teoksessa: Lehmann, J. & Joseph, S. (toim.) Biochar for Environmental Management – Science, technology and implementation. 1. painos. New York: Routledge, 763–794.

Gupta, C., Prakash, D., Gupta, S. 2016. Chapter 7: Biochar and its role in Soil Fertility Management. Teoksessa: Prasad, R. & Kumar, N. (toim.) Microbes and Agricultural Sustainability, 1. painos. New Delhi, India: IK International Pvt. Ltd., 98–116.

Gwenzi, W., Chaukura, N., Noubacteb, C. & Mukome, F. N. D. 2017. Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost sustainable technology for clean water provision. *Journal of Environmental Management* 197, 732–749.

Hagner, M. 2017. Koivutisleen ja biohiilen vaikutus glyfosaatin ympäristökohtaloon. Lahden tiedepäivä. Seminaari Lahdessa 27.11.2017.

Hammer, E. C., Balogh-Brunstad, Z., Jakobsen, I., Olsson, P. A., Stipp, S. L. S. & Rillig, M. C. 2014. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces. *Soil Biology & Biochemistry* 77, 252–260.

Hyland, C. & Sarmah, A. K. 2014. Advances and Innovations in Biochar Production and Utilization for Improving Environmental Quality. Teoksessa: Gupta, V. K., Tuohy, M. G., Kubicek, C. P., Saddler, J. & Xu F. (toim.) Bioenergy Research: Advances and Applications, Waltham, MA, USA: Elsevier, 435–446.

Kainulainen, A. 2016. Biochar in Biological Waste Management. 3rd Finnish Biochar Seminar. Seminaari Helsingissä 25.11.2016.

Nartey, O. D. & Zhao, B. 2014. Biochar Preparation, Characterization, and Adsorptive Capacity and Its Effect on Bioavailability of Contaminants: An Overview. Hindawi Publishing Corporation – *Advances in Materials Science and Engineering* 2014, 1–12.

Schulz, H. & Glaser, B. 2012. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175, 410–422.

Schmidt, H-P & Wilson, K. 2014. The 55 uses of biochar. The Biochar Journal, Arbaz, Switzerland. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.biochar-journal.org/en/ct/2>. [viitattu 3.4.2019]

Stoyle, A. 2011. Biochar Production for Carbon Sequestration. Worcester Polytechnic Institute. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Kandidaatin tutkinnon opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavilla: [https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-031111-153641/unrestricted/BIOCHAR\\_CO2SEQ.pdf](https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-031111-153641/unrestricted/BIOCHAR_CO2SEQ.pdf) [viitattu 3.4.2019]

Vuori, E. & Kangas, N. 2017. Ihmeaine biohiili. Puutarha & Kauppa. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.puutarhakauppa.fi/index.php/uusin-juttu/79-ihmeaine-biohiili>. [viitattu 3.4.2019]

Windeatt, J. H., Ross, A. B., Williams, P. T., Forster, P. M., Nahil, M. A. & Singh, S. 2014. Characteristics of biochars from crop residues: Potential for carbon sequestration and soil amendment. *Journal of Environmental Management* 146, 189–197.



# BIOHIILEN VALMISTUS JA OMINAISUUDET

Tiina Saario & Niina Laurila

Biohiili on kansainvälisen biohiilijärjestön IBI:n (International Biochar Initiative, 2018) määritelmän mukaan kiinteä materiaali, jota syntyy biomassassa termokemiallisessa konversiossa vähähappisessa ympäristössä. Biohiiltä voidaan valmistaa lähes mistä tahansa hiilipitoisesta materiaalista, ja sitä on vuosien saatossa käytetty mm. maanparannuksessa, vedensitomiskyvyn parantamisessa sekä veden, ilman ja maan epäpuhtauksia keräävänä adsorbenttina. Tällä hetkellä biohiilelle yritetään löytää vielä lisää erilaisia käyttökohteita.

## MITÄ ON BIOHIILI JA MISTÄ SITÄ VALMISTETAAN?

Biohiili on hiilirikas, erittäin huokoinen materiaali, ja sitä on käytännössä valmistettu biomassasta pyrolyysillä jo tuhansia vuosia. Biohiilen raaka-aineeksi käyvät lähes kaikki hiiltä sisältävät materiaalit. Raaka-aineen valinnassa on kuitenkin oltava tarkkana, sillä käytetyn materiaalin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat syntyvän biohiilen ominaisuuksiin. Biohiilen tuotannossa käytettyjä raaka-aineita ovat mm.

- puu
- lanta
- olki
- maissikuivarehu
- maapähkinän kuoret
- oliivin kivi
- durra
- viherpihajäte (lehdet, ruoho)
- maatalousjäte
- kotitalousjäte
- eläinrasvat
- jätevesiliete
- bioenergiakasvit (paju, norsunheinä, lännenhirssi)
- metsäjäte (sahanpuru, kuitujäte, kaarna).

Biohiili on ympäristöystävällinen tuote. Kun biomassaa muunnetaan biohiileksi, saadaan viivästettyä materiaalin hapettumista ja tapahtuu hiilensidontaa. Jos tarkastellaan biohiilen raaka-aineita ympäristöystävällisyyden näkökulmasta, esimerkiksi maatalousjätebiomassasta tuotettu biohiili ei tuota merkittäviä elinkaaripohjaisia kasvihuonepäästöjä (Nartey & Zhao 2014).

## BIOHIILEN VALMISTUS

Biohiilen valmistus on karbonointiprosessi, jossa lämpötilan avulla hiilipitoisuus kasvaa sitä mukaa, kun happi- ja vetypitoisuus prosessissa laskevat. Biohiili ei kuitenkaan ole täysin

karbonoitu tuote, sillä yleensä sen valmistus tapahtuu alle 500 °C lämpötilassa. Pyrolyysissä syntyy biohiilen lisäksi bioöljyä ja kaasua. Pyrolyysin olosuhteet vaikuttavat siihen, missä suhteessa kutakin tuotetta syntyy, ja prosessia pystytään säätämään siten, että saadaan maksimoitua tietyn tuotteen saanto. Taulukossa 1 on esitetty eri valmistusmenetelmien tuotesaannot, kun biomassana käytetään puuraaka-ainetta.

TAULUKKO 1. Eri pyrolyysimenetelmien käsittelylämpötilat ja -ajat sekä saadut tuotesaannot kuivalla puuraaka-aineella (Winsley 2007, Bamdad ym. 2018)

Menetelmä	Reaktio-olosuhteet		Tuotanto		
	Lämpötila	Käsittelyaika	Biohiili	Bioöljy	Kaasu
Nopea	575–975 °C	0,5–10 s	12 %	75 %	13 %
Keskinopea	500 °C	10–20 s	20 %	50 %	30 %
Hidas (karbonointi)	275–645 °C	45–550 s	35 %	30 %	35 %
Flash	775–1 025 °C	< 0,5 s	20 %	50 %	30 %
Kaasutus	~625–1 225 °C	10–20 s	10 %	5 %	85 %

Raaka-aineen ligniini- ja selluloosapitoisuudella on selvä merkitys muodostuvan biohiilen saantoon ja ominaisuuksiin. Biomassa, jossa on enemmän ligniiniä ja vähemmän selluloosaa, tuottaa suuren saannon biohiiltä. Toisaalta korkeampi ligniinipitoisuus kasvattaa biohiilen huokoisuutta (Nartey & Zhao 2014). Taulukossa 2 on esitetty eri raaka-aineiden selluloosa-, hemiselluloosa- ja ligniinipitoisuuksia.

TAULUKKO 2. Raaka-aineiden ligniini-, selluloosa ja hemiselluloosapitoisuudet (Windeatt ym. 2014)

	Selluloosa (%)	Hemiselluloosa (%)	Ligniini (%)
Palmun kuori	30	18	53
Sokeriruokojäte	24	26	39
Riisin akana	38	18	22
Kookospähkinän kuori	20	49	30
Vehnän olki	35	25	19
Puuvillan korsi	35	39	21
Oliivin puristusjäte	34	15	20
Kookospähkinäkuitu	46	15	33

## BIOHIILEN OMINAISUUDET

Raaka-aineena käytetyn biomassan ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus syntyvän biohiilen fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Erityisesti biomassan peruskoostumus (tuhka, kosteus jne.), lämpöarvo, haihtuvat yhdisteet, epäorgaanisten aineiden osuus ja rakenne, tiheys sekä partikkelikoko ovat tärkeitä ominaisuuksia biohiilen polttoprosessia. Taulukossa 3 on esitetty eräiden raaka-aineiden vaikutuksia biohiilen perusominaisuuksiin.

TAULUKKO 3. Raaka-aineen vaikutus biohiilen kemiallisiin ominaisuuksiin (CEC = kationinvaihtokapasiteetti) (Ippolito ym. 2015)

	pH	Pinta-ala, m <sup>2</sup> /g	CEC, mmolc/kg
Maissi	9,27	107,2	607
Vehnä / ohra	8,80	26,7	103
Riisin olki / akana	9,17	42,2	212
Soijapapurehu	9,30	4,4	
Maapähkinän kuori	8,52	115,1	
Pekaanipähkinän kuori	6,97	111,5	
Hasselpähkinän kuori	7,86	467,5	84
Lännenhirssi	9,28	53,0	
Sokeriruokojäte	7,59	113,6	115
Kookospähkinäkuitu		114,8	
Elintarvikejäte	9,09	0,8	81
Viherjäte	8,72	119,8	290
Lehtipuuaines	7,94	171,3	138
Havupuuaines	7,48	194,2	145
Paperitehdasjäte	9,13	10,1	52
Siipikarjanlanta / kuivike	9,80	50,4	538
Kalkkunanlanta / kuivike	8,95	24,7	
Sianlanta	9,37	26,9	
Maitotilalanta	9,45	33,4	342
Karjanlanta	8,99	73,3	
Viemärijäte/liete	6,90	102,1	24

Biohiilen kemialliseen rakenteeseen vaikuttaa raaka-aineen lisäksi merkittävästi myös prosessointilämpötila. Sahota ym. (2018) ovat valmistaneet lehtijätteestä biohiiltä kolmessa eri lämpötilassa, ja näiden biohiilten eri ominaisuudet on kerrottu taulukossa 4. Tuloksista näkyy biohiilten väliset erot kemiallisessa koostumuksessa sekä kemiallisissa ja fysikaalisissa ominaisuuksissa.

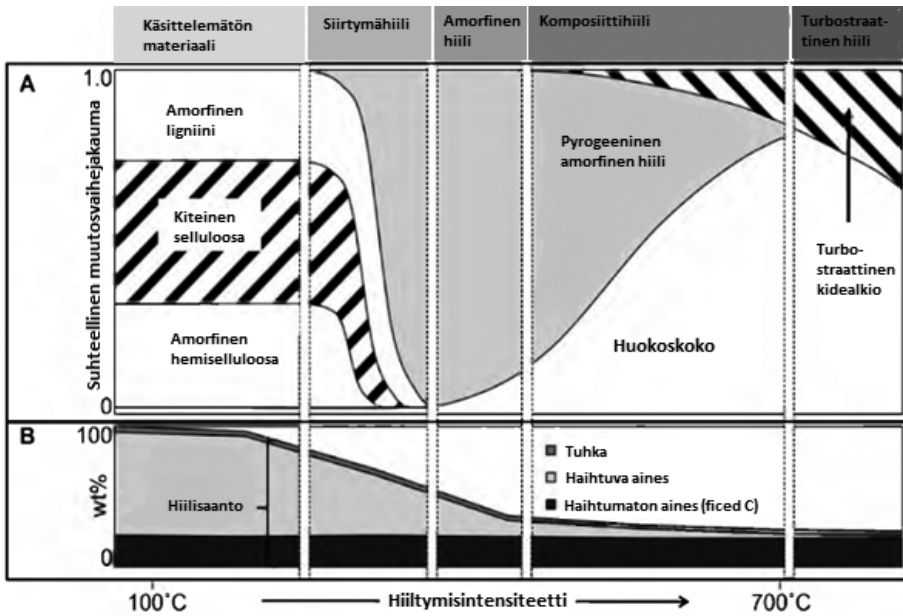
TAULUKKO 4. Lehtijätteestä valmistetun biohiilen ominaisuuksia riippuen pyrolyysilämpötilasta (Sahota ym. 2018)

Valmistus- lämpötila, (°C)	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	Kosteus (%)	VS (%)	pH
400	79,38	2,33	0,24	0,18	0,11	1,2	64,85
300	71,32	3,13	0,87	0,47	0,18	1,6	67,54
200	68,31	4,80	1,09	0,54	0,21	2,2	70,98

Biohiilen rakenne on erittäin riippuvainen prosessointilämpötilasta. Matalassa lämpötilassa biomassan rakenne ei juurikaan muutu, ainoastaan kosteus häviää. Lämpötilan noustessa biohiilen kiderakenteen voi valmistuslämpötilan mukaan jakaa periaatteessa neljään eri kategoriaan:

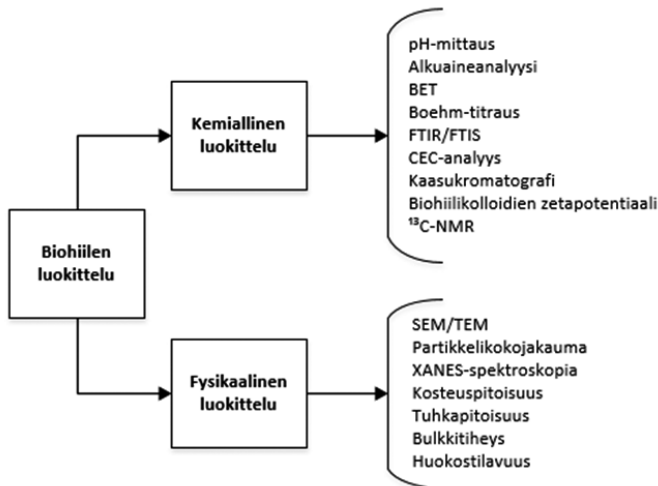
1. Siirtymähiili (*transition biochar*) – orgaaniset makromolekyylit (esimerkiksi ligniini, hemiselluloosa ja selluloosa) ovat hävinneet ja yhden renkaan aromaattisia yhdisteitä muodostunut.
2. Amorfinen biohiili – tunnistettavat biopolymeerit ovat hävinneet ja kahden ja kolmen renkaan aromaattisia yhdisteitä muodostunut.
3. Komposiittibiohiili – yhdistelmä amorfista biohiiltä sekä 3–5 hiilikerroksesta muodostuneita aromaattisia rengaspinoja (turbostraattinen kristallaatti).
4. Turbostraattinen (hiiltynyt) biohiili – kaikki amorfinen biohiili on joko haihtunut tai muuttunut aromaattisiksi renkaiksi (Kleber ym. 2015).

Biohiili saavuttaa harvoin turbostraattisen tilan, koska se vaatisi pitkittettyä käsittelyaika pyrolyysissä tai yli 700 °C lämpötilaa (Kleber ym. 2015). Lämpötilan vaikutus biohiilen rakenteeseen sekä tuhkapitoisuuteen on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Lämpötilan vaikutus biohiilen kiderakenteeseen ja tuhkapitoisuuteen (mukaiillen Kleber ym. 2015)

Koska käytetty biomassa sekä valmistusmenetelmä ja prosessiolosuhteet vaikuttavat merkittävästi syntyvän biohiilen ominaisuuksiin, eivät kaikki biohiilet ole samanlaisia. Tästä syystä myöskään biohiilten luokittelu ei ole yksinkertaista. Kemiallisessa luokittelussa on otettava huomioon muun muassa biohiilen happamuus ja sen sisältämät alkuaineet. Fysikaalisessa luokittelussa merkittäviä ovat kosteuspitoisuus, hiilen huokosrakenne ja partikkelikoko. Kuvassa 2 on esitetty biohiilen luokitteluun vaikuttavia tekijöitä ja käytettäviä menetelmiä.



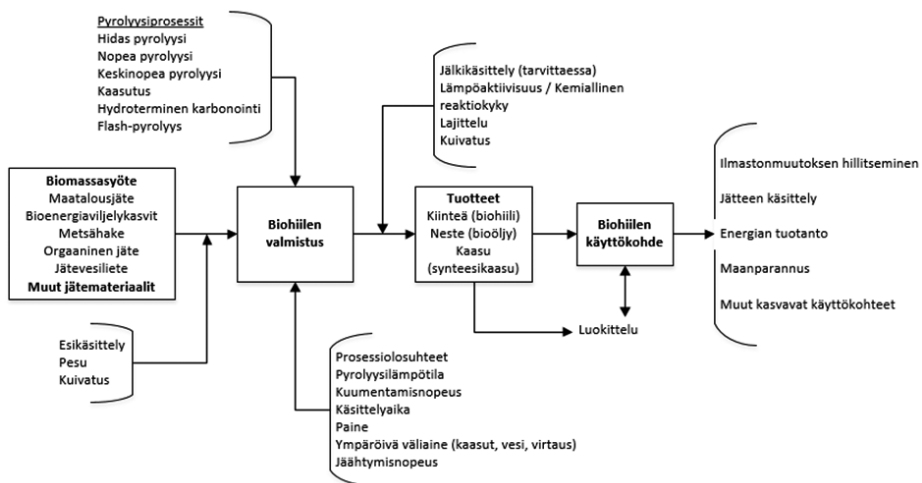
KUVA 2. Biohiilen luokittelu (mukaiillen Nartey & Zhao 2014)

## BIOHIILEN KÄYTÖN HAASTEET

Huokoisen rakenteensa ja elektronisen varauksensa ansiosta biohiili kykenee sekä absorptioon että adsorptioon. Suuret huokokset absorboivat pesusienen tavoin vettä, ilmaa ja liukoisia ravinnaineita. Biohiilen pinta adsorboi aineita elektrokemiallisin sidoksien (Gupta ym. 2016). Tästä syystä se soveltuu erinomaisesti esimerkiksi kaasujen puhdistukseen, maanparannukseen, hiilensidontaan ja kissanhiekkaan.

Väärin valittu biohiili voi kuitenkin pahimmillaan vahingoittaa prosessia tai aiheuttaa ympäristövahingon. Tästä syystä biohiilen ominaisuuksien tunteminen ja määrittäminen on erittäin tärkeää. Biohiilen fysikaalis-kemialliset ominaisuudet voivat aiheuttaa muutoksia maaperän ravinnon ja hiilen käytettävyyteen sekä suojata mikro-organismeja kuivumiselta ja saalistajilta. Tämä voi olla joko hyvä asia – tai jos kyseessä onkin esimerkiksi kasvustolle haitallinen mikro-organismi – vääränlainen biohiili voi häiritä mikrobialista monimuotoisuutta sekä maaperän taksonomiaa (Lehmann ym. 2011).

On tärkeää tietää mistä ja miten biohiili on valmistettu, jotta voidaan määrittää sen soveltuvuus tiettyyn käyttökohteeseen. Kuvassa 3 on vielä tiivistetty biohiilen valmistusprosessin eri tekijät, jotka tulee ottaa huomioon sopivaa biohiiltä valittaessa.



KUVA 3. Biohiilen valmistukseen ja käyttökohteisiin vaikuttavat tekijät (mukailien Nartey & Zhao 2014)

## LÄHTEET

Bamdad, H., Hawbolt, K. & MacQuarrie, S. 2018. A review on common adsorbents for acid gases removal: Focus on biochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81, 1705–1720.

Gupta, C., Prakash, D. & Gupta, S. 2016. Chapter 7: Biochar and its role in Soil Fertility Management. Teoksessa: Prasad, R. & Kumar, N. (toim.) *Microbes and Agricultural Sustainability*, 1. painos. New Delhi, India: IK International Pvt. Ltd., 98–116.

International Biochar Initiative. 2018. FAQs. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://biochar-international.org/faqs/> [viitattu 3.4.2019]

Ippolito, J. A., Spokas, K. A., Novak, J. M., Lentz, R. D. & Cantrell, K. B. 2015. Biochar Elemental composition and factors influencing nutrient retention. Teoksessa: Lehmann, J. & Joseph, S. (toim.) *Biochar for Environmental Management – Science, technology and implementation*. 1. painos. New York: Routledge, 139–163.

Kleber, M., Hockaday, W., Nico, P. S. 2015. Characteristics of biochar: macro-molecular properties. Teoksessa: Lehmann, J. & Joseph, S. (toim.) *Biochar for Environmental Management – Science, technology and implementation*. 1. painos. New York: Routledge, 111–137.

Lehmann, J., Rillig M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C. & Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota – A Review. *Soil Biology & Biochemistry* 43, 1812–1836.

Nartey, O. D. & Zhao, B. 2014. Biochar Preparation, Characterization, and Adsorptive Capacity and its Effect on Bioavailability of Contaminants: An Overview. *Hindawi Publishing Corporation – Advances in Materials Science and Engineering* 2014, 1–12.

Sahota, S., Vijay, V. K., Subbarao, P. M. V., Chandra, R., Ghosh, P., Shah, G., Kapoor, R., Vijay, V., Koutu, V. & Thakur, I. S. 2018. Characterization of leaf waste based biochar for cost effective hydrogen sulphide removal from biogas. *Bioresource Technology* 250, 635–641.

Windeatt, J. H., Ross, A. B., Williams, P. T., Forster, P. M., Nahil, M. A. & Singh, S. 2014. Characteristics of biochars from crop residues: Potential for carbon sequestration and soil amendment. *Journal of Environmental Management* 146, 189–197.

Winsley, P. 2007. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. *New Zealand Science Review* 64, 5–10.

# JÄTEASEMAN SUOTOVEDEN KÄSITTELY BIOHIILELLÄ

Niina Laurila & Jonne Gråsten

Bioli-hankkeessa tutkittiin biohiilen tehokkuutta jäteaseman suotoveden epäpuhtauksien poistossa. Laboratoriomittakaavan suodatuskokeet toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa alkuvuodesta 2018. Tutkimuksessa käytettiin 400 celsiusasteessa valmistettua kuusihiiltä sekä 500 celsiusasteessa valmistettua kotimaista koivuhiiltä.

## KOEJÄRJESTELYT

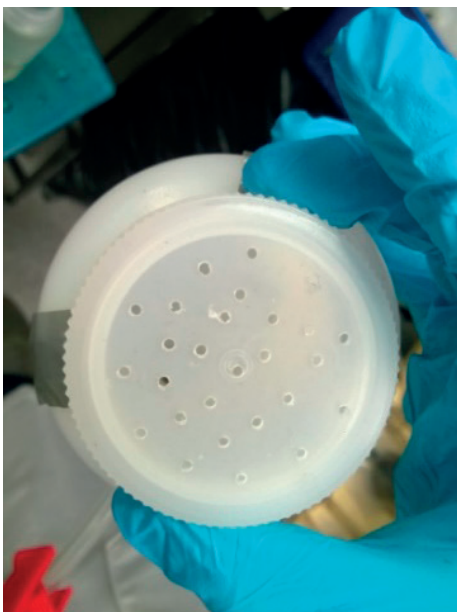
Suodatuskokeissa käytettiin 2 litran muovisia mittalaseja (kuva 1), joiden alaosaan tehtiin läpivienti letkukaraa varten. Suodatinpatja koostui kahdesta aineesta, biohiilestä ja 3–6 mm sepelistä. Patjan alimpänä ja ylimpänä kerroksena oli 200 ml sepeliä. Biohiiltä oli kennossa 1 600 millilitraa. Kerrokset erotettiin toisistaan suodatinkankaan avulla. Suodatuskokeet tehtiin kahdella rinnakkaisella kolonnilla. Tutkimuksessa käytettiin 500 °C:ssa (30 min) valmistettua koivuhiiltä ja 400 °C:ssa (30 min) valmistettua kuusihiiltä.



KUVA 1. Sepeli-biohiili-sepeli suodatinkolonnit (Kuva: Niina Laurila)



Suodatuksessa käytettiin näytteen syöttämiseen 1 litran muovipulloja, joilla näyte pyrittiin jakamaan tasaisesti patjaan, jotta suodatusta tapahtuisi suuremmalla biohiilipinta-alalla. Tätä varten pullon korkkiin porattiin reiät ja pullon alaosaan kiinnitettiin letkukara. Pullo asetettiin mittalasin suuaukolle, ja näytteen syöttönopeutta säädettiin letkuun asetetulla kuristimella. Aivan tasaista näytteen jakaantumista ei tällä koejärjestelyllä saatu aikaan, sillä pullon korkki oli hieman kovera. Hitaalla virtausnopeudella näytettä saatiin eniten korkin keskiosasta.



KUVA 2. Näytteen syöttöpullon rei'itetty korkki (Kuva: Niina Laurila)

## LABORATORIOANALYYSIT JA KÄYTETYT STANDARDIT

Näytteet analysoitiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa. Suodoksista ja suotovedestä analysoitiin aina happamuus, sähkönjohtavuus ja lämpötila. Osasta näytteistä analysoitiin myös kemiallinen hapen kulutus, liukoinen fosforipitoisuus sekä kokonais-typpipitoisuus. Taulukkoon 1 on koottu tiedot ympäristölaboratoriossa tehdyistä analyyseistä.

TAULUKKO 1. Analyysit ja standardit

Analyysi	Standardi	Huomio
pH	SFS 3021	
Sähkönjohtavuus	SFS-EN 27888	
COD <sub>Cr</sub>	SFS 5504	
Liuk. Fosfori	SFS 3026	Näytteiden suodatus 0,45 µm, ei hajotusta peroksidisulfaatilla autoklaavissa
Kok. typpi	SFS 5505	

Koe aloitettiin suodattamalla suodatuskolonnien läpi ultrapuhdasta vettä, jonka suodoksesta analysoitiin edellä mainittujen analyysien lisäksi myös liukoiset metallipitoisuudet (analysoija ALS Czech Republic). Toisen kerran metallipitoisuuksia (kokonaismetallipitoisuus) analysoitiin, kun kumulatiivinen suodosmäärä oli 11 litraa.

## SUODATUS

Koesarjan aluksi suodattimen läpi ajettiin 3 litraa ultrapuhdasta vettä. Tämän jälkeen suodatusta jatkettiin päivittäin suodattamalla litra jäteaseman suotovettä (kuva 3).



KUVA 3. Kuvassa vasemmalla koivuhiilisuodokset ja oikealla kuusihiilisuodokset. Keskellä on jäteaseman suotovettä (Kuva: Niina Laurila)

Kokeissa käytettyä suotovettä haettiin jäteasemalta kahdesti, tammi ja helmikuussa 2018. Koe aloitettiin tammikuussa ja siinä pidettiin taukoa helmikuun aikana (12 vuorokautta). Viimeisin suodatus tehtiin maaliskuussa (5,5 viikkoa kokeen aloittamisesta). Tuolloin biohiilisuodattimen läpi oli suodatettu 29 litraa näytettä.

## TULOKSET

Biohiilisuodattimien nollanäytteiden liukoiset metallipitoisuudet on koottu taulukkoon 2. Sekä kuusi- ja koivupohjaisesta biohiilestä 3 litran vesisuodatuksessa liukeni kalsiumia, magnesiumia, natriumia, kaliumia, booria, bariumia, kuparia, litiumia, mangaania, fosforia ja sinkkiä. Lisäksi koivupohjaisesta biohiilestä liukeni alumiinia, kadmiumia, lyijyä ja antimonia.

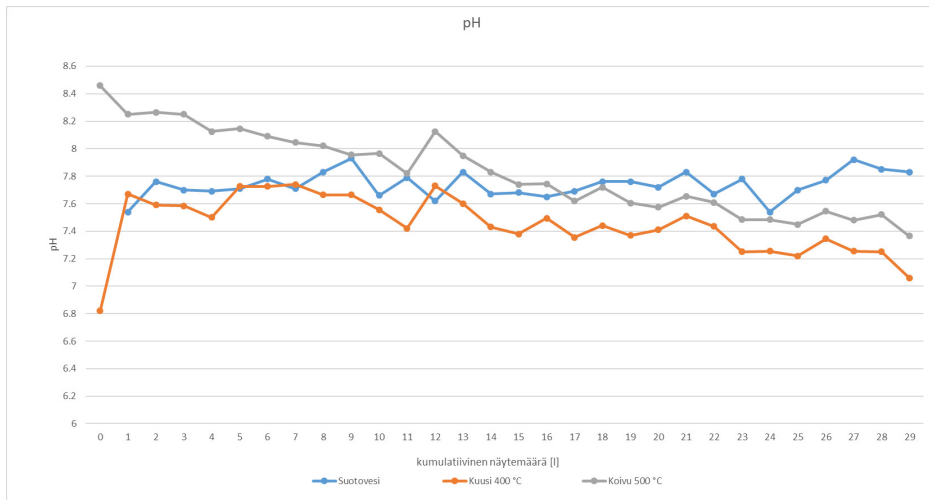
Taulukko 2. Tislattuvesisuodoksen liukoiset metallipitoisuudet (lähde ALS Finland)

Alkuaine	Yksikkö	Koivu	Kuusi	Alkuaine	Yksikkö	Koivu	Kuusi
Ca	mg/l	3,01	8,725	Fe	mg/l	<0,0020	<0,0020
Mg	mg/l	0,6805	1,12	Li	mg/l	0,0021	0,00255
Na	mg/l	0,7285	0,9615	Mn	mg/l	0,02095	0,128
K	mg/l	87	13,35	Mo	mg/l	<0,0020	<0,0020
Ag	mg/l	<0,0010	<0,0010	Ni	mg/l	<0,0020	<0,0020
Al	mg/l	0,062	<0,010	P	mg/l	0,3355	0,358
As	mg/l	<0,0050	<0,0050	Pb	mg/l	0,0148	<0,0050
B	mg/l	0,019	0,058	Sb	mg/l	0,0455	<0,010
Ba	mg/l	0,0286	0,01715	Se	mg/l	<0,010	<0,010
Be	mg/l	<0,00020	<0,00020	Tl	mg/l	<0,010	<0,010
Cd	mg/l	0,00099	<0,00040	V	mg/l	<0,0010	<0,0010
Co	mg/l	<0,00020	<0,00020	Zn	mg/l	0,035	0,1108
Cr	mg/l	<0,0010	<0,0010	Hg	µg/l	<0,010	<0,010
Cu	mg/l	0,0187	0,00215				

ALS Czech Republic.

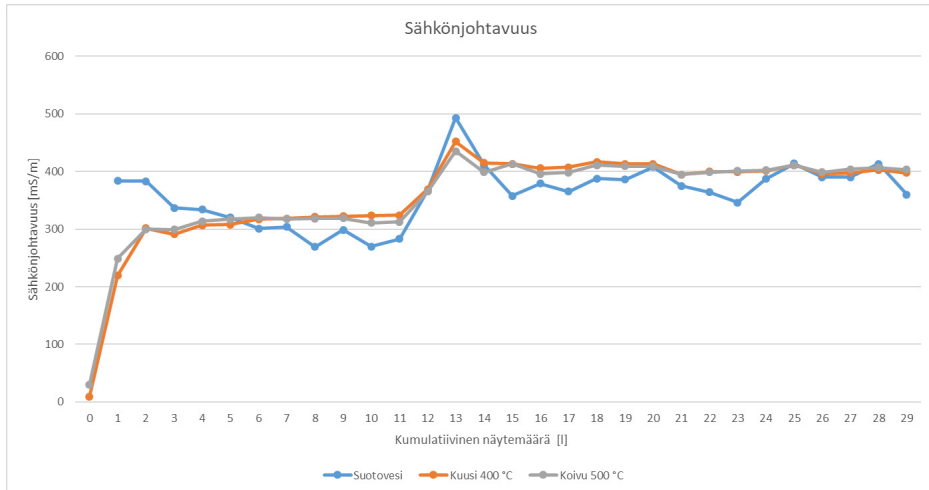
Liukoisten metallien määrittäminen ICP-OES -tekniikalla menetelmien US EPA 200.7, ISO 11885, CSN EN 16192, US EPA 6010, SM 3120 mukaan. Näyte homogenisoidaan, suodatetaan 0,45 µm suodattimen läpi ja kestäväidään hapolla (HNO<sub>3</sub>) ennen analyysia. Liukoisen elohopean (Hg) määrittäminen fluoresenssispektrometrisesti menetelmien EPA 245.7, US EPA 1631, CSN EN ISO 178 52, CSN EN 16192 mukaan. Näyte homogenisoidaan, suodatetaan 0,45 µm suodattimen läpi ja kestäväidään hapolla (HNO<sub>3</sub>) ennen analyysia.

Kuvaajassa 1 on esitetty suodosten pH yhdessä alkuperäisen näytteen pH:n kanssa. Ultra-puhtaan veden suodoksilla koivu- ja kuusikolonneilla saatiin toisistaan poikkeavat tulokset. Koivuhiili nosti ultra-puhtaan veden suodoksen pH:n 8,5 alkuperäisestä 6,5 pH:sta. Kuusihiilellä pH nousu oli maltillisempaa (pH 6,8). Sama nousu on nähtävissä myös suotoveden suodoksen pH:ssa. Suodosmäärän kasvaessa pH alenee koivukolonnilakin. Kuusikolonnila taas suodoksen pH aleni vain vähän verrattuna lähtöaineen happamuuteen. Suodatuskokeessa pidettiin taukoa helmikuussa (12 vuorokautta). Kokeen jatkaminen näkyy pH-arvon mittaustuloksissa hetkellisenä nousuna (kumulatiivinen suodosmäärä oli tuolloin 12 litraa).



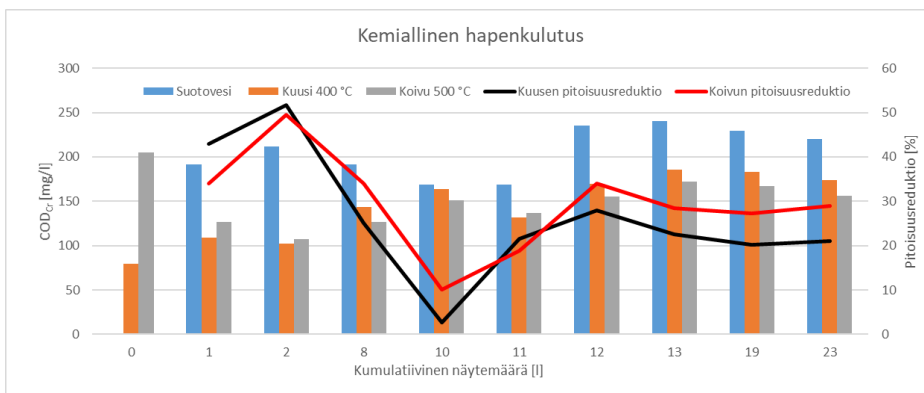
Kuvaaja 1. Biohiilen vaikutus suotoveden happamuuteen

Suodossnäytteiden sähkönjohtavuus tasaantui nopeasti kuten kuvaajasta 2 nähdään. Suodatetuissa näytteissä ei ole havaittavissa eroja sen suhteen, käytettiinkö kuusi- vai koivuhiiltä. Mittaustulokset ovat pitkälti identtiset. Piikki mittaustuloksissa liittyy toisen mittaustuloksen alkamiseen.



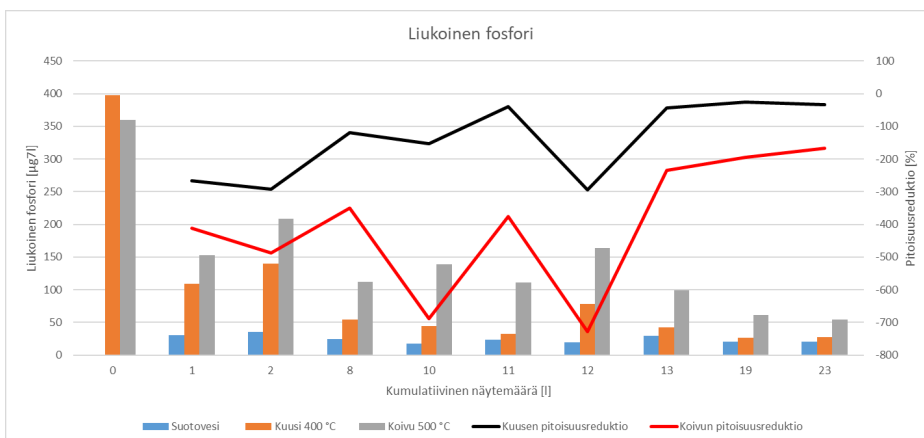
Kuvaaja 2. Biohiilisuodatuksen vaikutus johtavuuteen oli vähäistä

Biohiilikolonneista liukeni ultrapuhtaan veden suodatuksessa orgaanista aineita, ks. kuvaaja 3. Koivuhiilestä irtosi noin kaksi kertaa enemmän orgaanista ainesta kuin kuusihiiilestä. Varsinaisessa suotoveden suodatuskokeilla saatiin molemmilla biohiilisuodattimilla vähennettyä orgaanisen aineen määrää suotovedessä. Keskimääräinen puhdistustehokkuus (pitoisuusreduktio) kuusihiiilellä oli 26 % ja koivuhiilellä 29 %.



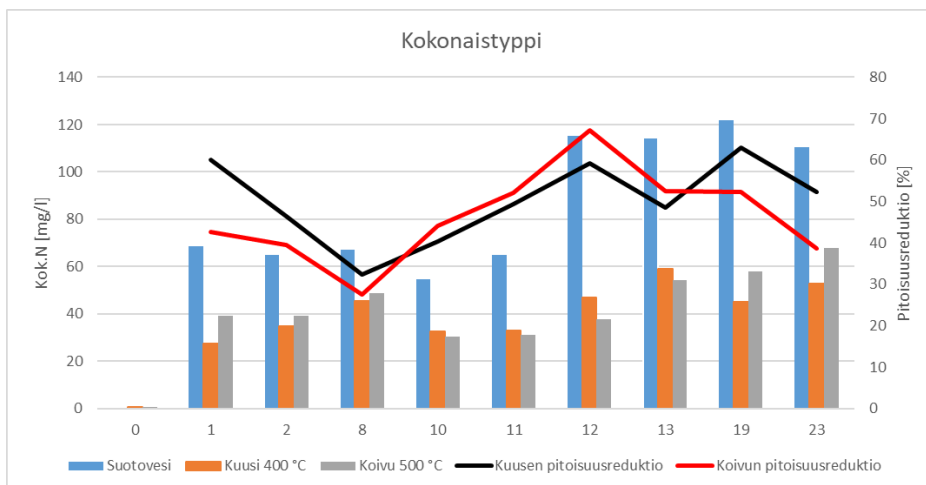
Kuvaaja 3. Biohiilisuodattimet vähensivät suotoveden happea kuluttavien aineiden määrää suodoksessa

Kuusi- ja koivukolonneista liukeni suodokseen fosforia (kuvaaja 4). Erityisesti fosforia lähti liikkeelle kolonneista ultrapuhdasta vettä suodatettaessa. Fosforipitoisuudet suodoksissa pienenivät suodosmäärien kasvaessa. Kuusi lisäsi fosforia suodokseen vähemmän kuin koivu.



Kuvaaja 4. Hiilisuodattimet lisäsivät fosforipitoisuutta suodoksissa

Biohiili on vähätyppistä, joten ultrapuhdasta veden suodoksen typpipitoisuus on pieni (0,63 mg/l), ks. kuvaajaa 5. Jäteaseman suotovedestä saatiin biohiilikolonneilla vähennettyä kokonaistyyppimäärää näytteessä. Eri hiilien välinen tyypin poistotehokkuus vaihteli. Tämä ero saattaa liittyä tyypin titrauksen epätarkkuuteen ja suodatusnopeuden haastavaan säätelyyn. Keskimäärin kuusella saatiin poistettua typpeä 50 % ja koivulla 46 %.



Kuvaaja 5. Näytteiden ja suodosten kokonaistyyppipitoisuudet

Suodoksista määritettiin kokonaismetallipitoisuudet kumulatiivisen näytemäärän ollessa 11 litraa. Näytteiden analysointi ostettiin ALS Finland / ALS Czech Republicalta. Taulukkoon 3 on koottu analyysitulokset sekä pitoisuuksissa tapahtunut muutosprosentti. Taulukossa vihreä väri merkitsee pitoisuuden laskua ja vastaavasti punainen väri nousua. Tummanharmaa väri kertoo analyysituloksen olleen ristiriitainen, eli rinnakkaisilla näytteillä tulokset poikkeavat toistaan. Kun muutosta alkuperäiseen pitoisuuteen ei ole tapahtunut, solun väri on valkoinen. Molemmat biohiilet poistivat tutkittavasta näytteestä hyvin alumiinia, rautaa ja fosforia. Biohiilisuodatus lisäsi kupari-, litium-, nikkeli- ja sinkkipitoisuutta näytteen suodoksessa.

Taulukko 3. Kokonaismetallitulokset (ALS Finland) ja pitoisuusreduktio

ELEMENT		Suoto- vesi	Koivu 500 °C ka	Kuusi 400 °C ka	Koivu Pitoisuus- reduktio (%)	Kuusi Pitoisuus- reduktio (%)
Ag	mg/l	<0,0050	<0,0050	<0,0050		
Al	mg/l	0,337	0,061	0,0685	82	80
As	mg/l	0,015	0,01	0,01	33	33
B	mg/l	0,93	0,92	0,9335	1,1	-0,4
Ba	mg/l	0,147	0,1135	0,13	23	12
Be	mg/l	0,0002		<0,00020		
Ca	mg/l	154	135	160,5	12	-4,2
Cd	mg/l	<0,0020		<0,0020		
Co	mg/l	0,0035	0,00425	0,00235	-21	33
Cr	mg/l	0,0071	0,0028	0,0033	61	53
Cu	mg/l	0,0095	0,2185	0,02785	-2200	-193
Fe	mg/l	16,7	0,2015	0,3495	99	97
Hg	mg/l	<0,010	<0,010	<0,010		
K	mg/l	398	419	409	-5,3	-2,8
Li	mg/l	<0,0020	0,0076	0,01075		
Mg	mg/l	40,8	41,1	41,55	-0,7	-1,8
Mn	mg/l	0,845	0,429	0,7905	49	6,4
Mo	mg/l	0,0708	0,07385	0,0717	-4,3	-1,3
Na	mg/l	401	408	417,5	-1,7	-4,1
Ni	mg/l	0,0133	0,02215	0,0163	-67	-22
P	mg/l	1,00	0,113	0,05	89	95
Pb	mg/l	<0,010		<0,010		
Sb	mg/l	<0,020	<0,020	<0,020		
Se	mg/l	<0,030	<0,030	<0,030		
Tl	mg/l	<0,010	<0,010	<0,010		
V	mg/l	0,0977	0,01495	0,01155	-85	88
Zn	mg/l	0,0278	0,0843	0,1865	-203	-571

## TULOSTEN POHDINTAA

Suodatuskokeet osoittavat, että biohiilestä liukenee tutkittavaan näytteeseen fosforia. Mukherjee ja Zimmerman havaitsivat saman ilmiön tutkimuksessaan, jossa selvitettiin, miten eri lämpötiloissa valmistetuista ja eri ikäisistä biohiilistä liukenee orgaanista hiiltä (TOC) ja ravinteita (N, P) vesiliuoksessa. Tutkimuksessa käytetyt hiilet oli valmistettu tammesta, männystä ja nurmesta. Eniten ravinteita liukeni nurmesta. Tämä viittaa siihen, että lähtöaineen ravinnepitoisuus vaikuttaa voimakkaasti liuenneiden ravinteiden määrään. Koe osoitti, että valmistuslämpötila on myös vaikuttava tekijä ravinteiden liukenemisessä, sillä alhaisella lämpötilassa ravinteita liukeni eniten nurmesta valmistetusta biohiilestä. (Mukherjee & Zimmerman 2013, 122–130). Biohiilen hyödyntäminen fosforin poistoon vaatisi mahdollisesti biohiilen aktivointia raudalla (Rissanen 2017).

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savoon -hankkeessa toteutuissa biohiilen käyttöä suodatusmateriaalina tarkastelevissa kokeissa testattiin biohiilen soveltuvuutta jäteaseman suotoveden käsittelymateriaaliksi. Testeissä käytettiin 500°C:ssa valmistettua koivupohjaista biohiiltä sekä 400 °C:ssa valmistettua kuusipohjaista biohiiltä. Suodatustehokkuutta seurattiin analysoimalla tutkittavasta näytteestä sekä suodoksesta happamuus, sähkönjohtavuus, COD<sub>Cr</sub>, liukoinen fosfori (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) ja kokonaistyyppi sekä metallipitoisuudet. Kokeissa suodatettiin päivittäin 1 litra näytettä 29 päivän ajan (yhteensä 29 litraa suotovettä). Molemmilla biohiilillä saatiin alennettua orgaanisen aineen määrää sekä kokonaistypen määrää suodoksessa. Fosforitulokset osoittavat, että kokonaisfosfori alenee voimakkaasti fosforia sisältävän sakan jäädessä biohiilikoloniin. Liukoinen fosfori sen sijaan hieman lisääntyy suotoveden liuottaessa fosforia hiilestä. Erityisen hyvin biohiilet pystyivät vähentämään alumiinin ja raudan määrää. Artikkelissa esitetyt tulokset ja johtopäätökset koskevat vain tehtyä koetta sekä koejärjestelyä.

## LÄHTEET

Mukherjee, A. & Zimmerman, A. R. 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. *Geoderma* 193: 122–130.

Rissanen J. 2017. Toimitusjohtaja. Haastattelu kesäkuu 2017. RPK Hiili Oy.



# BIOHIILI PROSESSIKAASUJEN PUHDISTAJANA

Tiina Saario & Niina Laurila

Biokaasu on yksi tulevaisuuden merkittävimmistä energialähteistä. Sen käyttöä kuitenkin rajoittavat kaasun sisältämät haitta-aineet, mm. rikkivety. Tällä hetkellä rikkivety poistetaan biokaasusta monin paikoin suodattamalla se aktiivihieillä. Koska biohiili on sekä edullisempi että ympäristöystävällisempi materiaali kuin aktiivihieili, sen käyttöä kaasusuodatuksessa on tutkittu paljon. Bioli-hankkeessa biohiilen käyttöä tutkittiin rikkivedyn poistossa sekä laboratorio-olosuhteissa sekä kenttäkokeissa.

## MIKSI BIOKAASU EI KELPAA SELLAISENAAN?

Biokaasun korkea metaanipitoisuus tekee siitä erinomaisen polttoaineen. Biokaasu kuitenkin sisältää 0,1–2 % rikkivetyä, mikä rajoittaa sen käyttöä. Jotta biokaasun laatua saadaan nostettua ja käyttömahdollisuuksia kasvatettua, tulee rikkivety poistaa. Rikkivety on erittäin myrkyllinen ja voimakkaan tuoksuinen kaasu, jolla on merkittäviä ympäristövaikutuksia. Raa'an biokaasun korkea rikkivetypitoisuus (1 000–2 000 ppm) muodostaa voimakkaasti syövyttäviä happoja, jotka vaikuttavat biokaasua käyttäviin laitteisiin sekä biokaasuprosessilaitteiston metallisiin osiin. Lisäksi rikkivety voi vähentää merkittävästi biokaasun tuotantoa (Das 2019).

Biokaasun suodatus parantaa samalla myös kaasun terveellisyys- ja turvallisuusominaisuuksia. Fysikaalinen adsorptio on toimiva menetelmä poistaa rikkivety biokaasusta. Tällä hetkellä käytössä ovat hiileen, silikaan ja metalliorganiseen materiaaliin pohjautuvat adsorbentit, joista yleisin käytössä oleva adsorbentti on aktiivihieili (Sahota ym. 2018).

## BIOHIILI SUODATUSMATERIAALINA

Biohiili on hyvä adsorbenttimateriaali, ja se on noin 10 kertaa edullisempaa kuin kaupallisesti tarjolla oleva, kaasusuodatuksessa laajalti käytetty aktiivihieili (Sahota ym. 2018). Biohiili on myös materiaalina ympäristöystävällisempää kuin aktiivihieili (Bamdad ym. 2018, Sahota ym. 2018). Tästä syystä biohiilen käyttöä kaasusuodatuksessa, erityisesti rikkivedyn suodatuksessa, on tutkittu paljon (esim. Bamdad ym. 2018, Sahota ym. 2018, Das ym. 2019).

Das ym. (2019) ovat kokeilleet kompostilla ja biohiilellä täytetyn biosuodattimen käyttöä rikkivedyn poistossa. Tuloksistaan he totesivat, että biohiilen lisääminen suodattimeen paransi biosuodattimen toimintaa. Sahota ym. (2018) ovat tutkineet lehtijätteestä valmistetun

biohiilen käyttöä mädätyslaitoksessa tuotetun biokaasun sisältämän rikkivedyn poistoon. He totesivat, että 400 °C lämpötilassa karbonoitu lehtijäte poistaa ra'an biokaasun rikkivedystä 84,2 % (1254 ppm:stä 201 ppm:ään) jatkuvatoimisessa adsorptiotornissa.

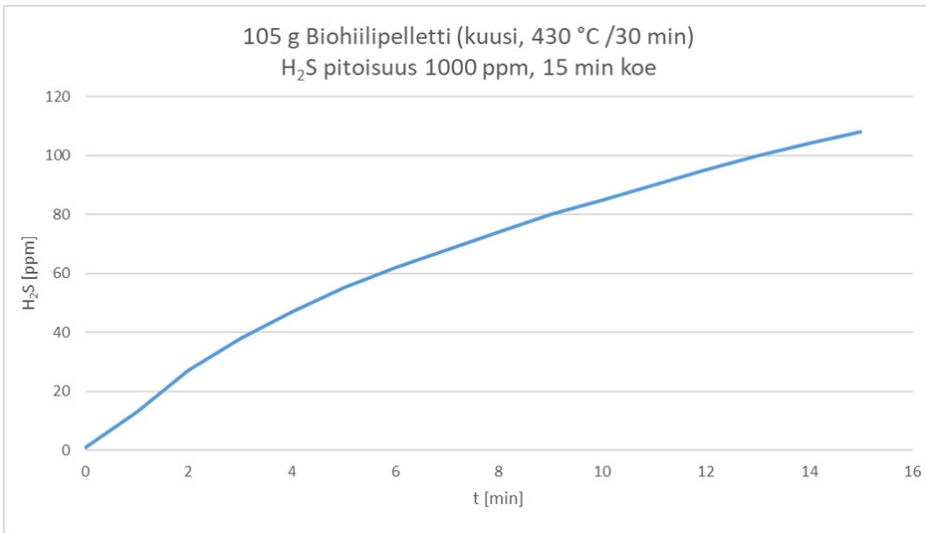
## BIOHIILI LABORATORIOKOEISSA

Biohiilen toimivuutta rikkivedyn suodatuksessa on kokeiltu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristöturvallisuuslaboratoriossa useilla eri rikkivetytyyppöisyyksillä. Kokeissa käytettiin puhdasta, teollista rikkivetyä, joka johdettiin biohiilellä täytetyn suodatinkappaleen lävitse (kuva 1). Kokeissa kaasupullo yhdistettiin lasiseen suodatinkappaleeseen, joka oli täytetty noin 100 grammalla biohiilipellettiä. Biohiilipelletti oli valmistettu kuudesta kuumentamalla sitä 30 minuutin ajan 430 °C lämpötilassa. Suodatinkappaleesta puhdistettu kaasu kulkeutui hiukkas- ja kosteussuodattimen läpi kaasumittarille, joka mittasi kaasun sisältämän rikkivetytyyppöisyyden.



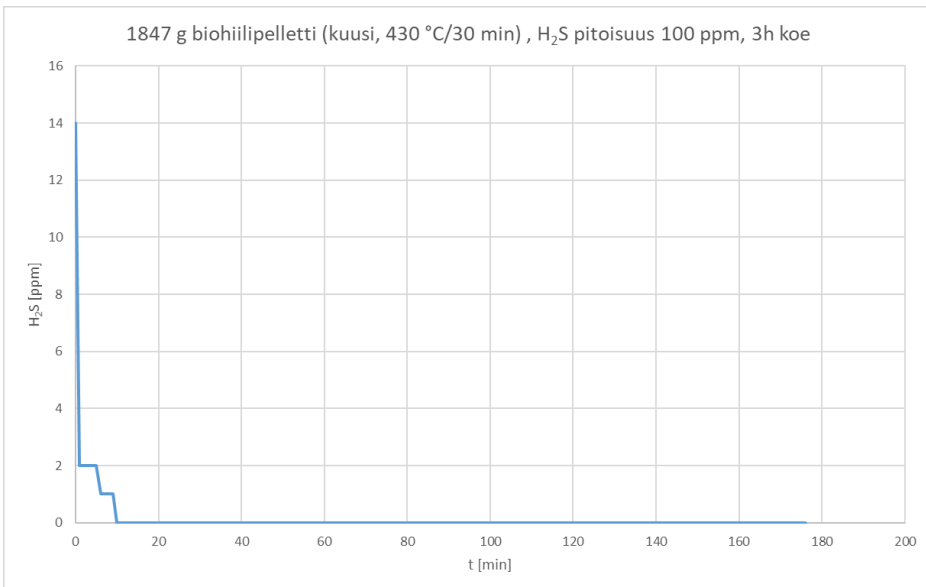
KUVA 1. Laboratoriokokeissa suodatusyksikkö koottiin kaasujenpesupulloon (Kuva: Niina Laurila)

Kokeita tehtiin kolmella eri kaasupitoisuudella: 100, 500 ja 1 000 ppm. Kaasukokeen kesto riippui käytetyn kaasupullon tilavuudesta. Ensimmäinen koe tehtiin 1 000 ppm rikkivetytyyppöisyydellä (kuvaaja 1). Kokeissa suodatetun kaasun tilavuus oli noin 25–30 litraa. Käytetty hiilipellettimäärä vaikutti puhdistavan kaasusta rikkivetyä. Rikkivetykonsentraatio nousi kuitenkin 15 min kokeen aikana. Tämä oli varmaankin seurausta kokeissa käytetyn hiilen massan aliarvioinnista. Kokeissa olisi pitänyt käyttää suurempaa hiilimassaa.



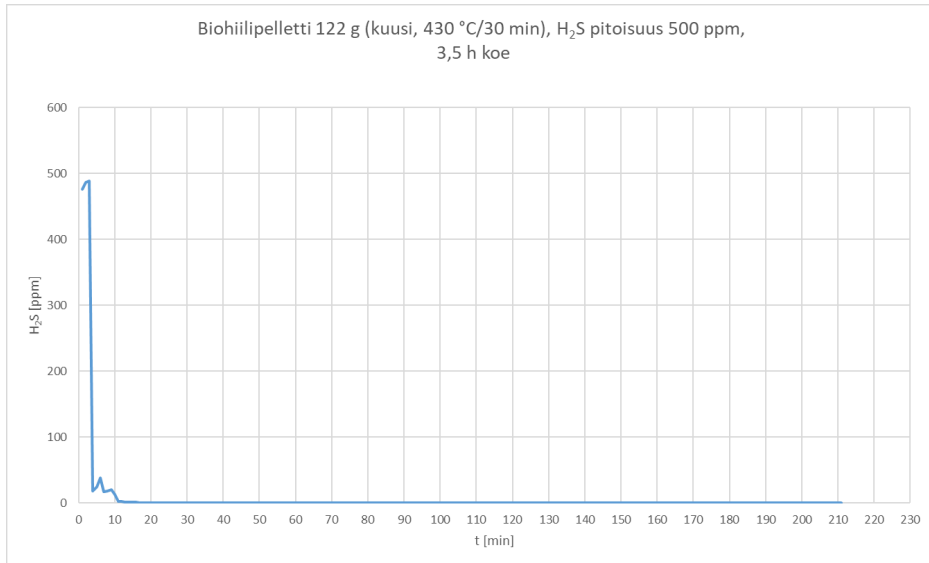
Kuvaaja 1. Kaasun laboratoriosuodatuskokeen tulokset 1 000 ppm rikkivetypitoisuudella

Toisessa kokeessa yritettiin selvittää tarkemmin biohiilen kyllästymistä sekä kaasukestävyyttä. Kokeessa käytettiin 100 ppm rikkivetypitoisuutta, ja suodatetun kaasun tilavuus oli 110 litraa (kuvaaja 2). Biohiilipelletti suodatti kaasun sisältämän rikkivedyn täydellisesti, eikä biohiili ehtinyt kyllästyä ennen kaasun loppumista.



Kuvaaja 2. Kaasun laboratoriosuodatuskokeen tulokset 100 ppm rikkivetypitoisuudella

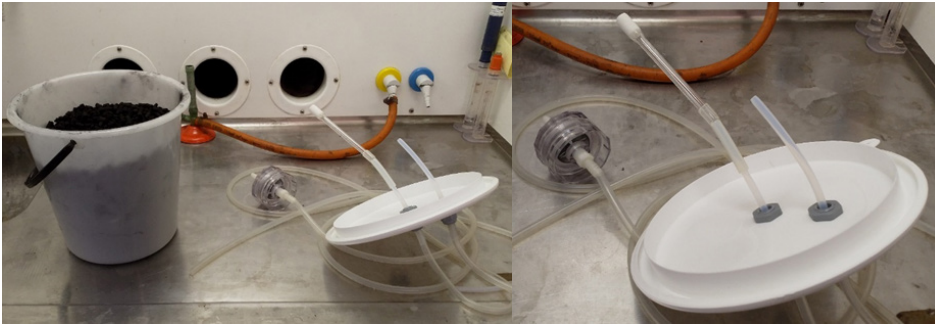
Koska toisessa kokeessa käytetty 100 ppm rikkivetypitoisuus ei riittänyt kyllästämään biohiiltä, kolmannessa kokeessa käytettiin 500 ppm rikkivetypitoisuutta. Käytetyn kaasupullon tilavuus oli 112 litraa. Myös tässä kokeessa biohiili suodatti kaasun sisältämän rikkivedyn, eikä biohiili ehtinyt kyllästyään (kuvaaja 3). Näiden tulosten perusteella voidaan todeta, että kokeessa käytetty biohiilimäärä suodatti hyvin 500 ppm rikkivetypitoisuuden kyllästyttä.



Kuvaaja 3. Laboratoriosuodatuskokeen tulokset 500 ppm rikkivetypitoisuudella

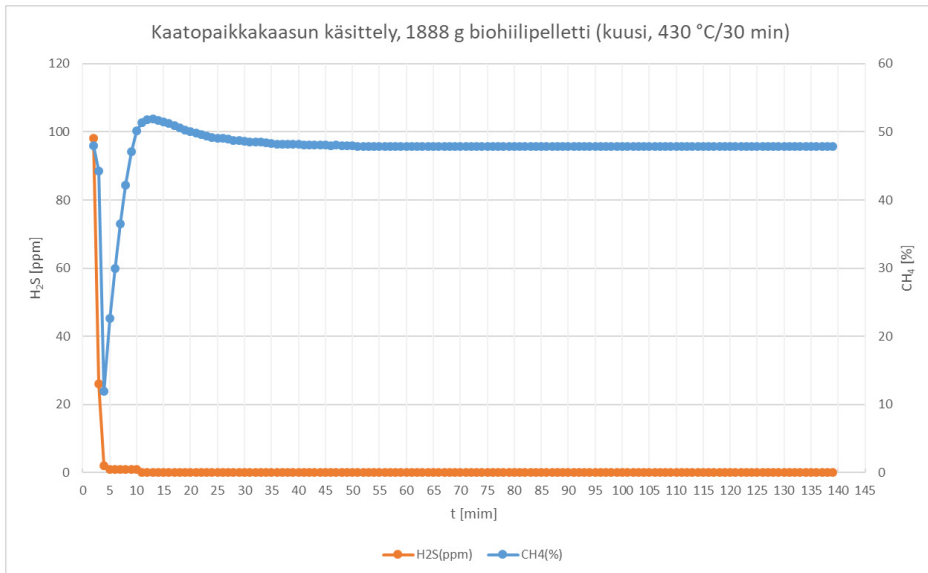
## DEMONSTRAATIOKOKKEET

Vaikka biohiili laboratorioskokeissa suodatti rikkivedyn kaasusta, sen toimivuudesta aidon, raajan biokaasun kanssa ei voitu vielä tämän perusteella tehdä johtopäätöksiä. Tästä syystä biohiiltä testattiin Metsäsairila Oy:n jäteaseman kaatopaikkakaasulla sekä märkämene- telmään pohjautuvalla biokaasulaitoksella. Näin pystyttiin seuraamaan, miten biohiili käyttäytyy kaatopaikka- ja biokaasun sisältämien muiden ainesosien kanssa ja päästääkö se metaanin läpi vai suodattaako se sen yhdessä rikkivedyn kanssa. Kuvassa 2 on esitetty demonstraatiokokeessa käytetty suodatusyksikkö.



Kuva 2. Demonstraatiovaiheen kaasujen suodatusyksikkö (Kuvat: Niina Laurila)

Kuten laboratoriotesteissä, demonstraatiotestissä raakakaasu ohjattiin suodatusyksikköön, mistä suodatettu kaasu kulkeutui hiukkas- ja kosteus-suodattimen läpi kaasuanalysaattorille. Kuvaajassa 4 on esitetty ensimmäisen demonstraatiotestien tulokset. Kuvaajasta näkee, että rikkivety suodatui täydellisesti samaan aikaan, kun metaanipitoisuus pysyi normaalilla tasolla.



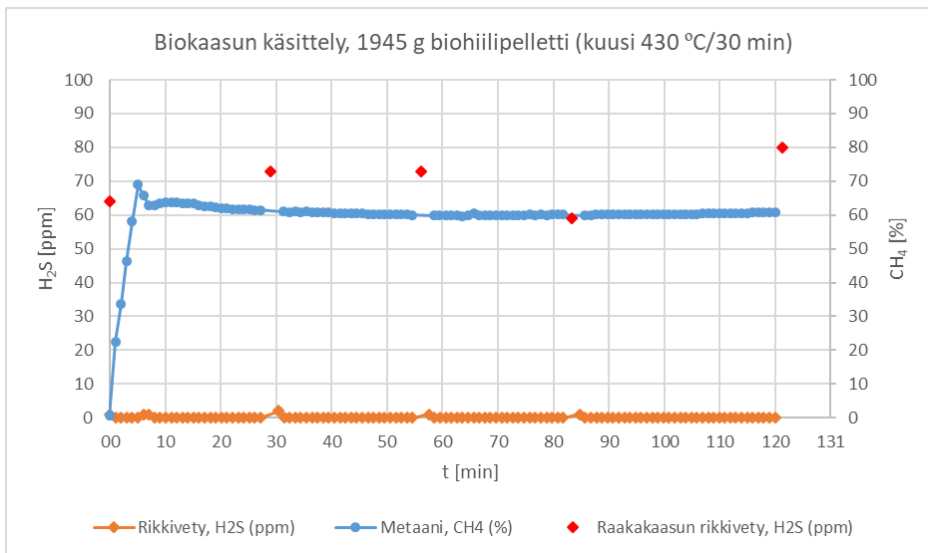
Kuvaaja 4. Ensimmäisen demonstraatiotestien tulokset Metsäsairilan jäteasemalta

Märkämädätyslaitoksella suodatettava kaasu tuli suoraan biokaasureaktorista (kuva 3). Näytteenottolinjan letkuun kerääntyi kosteutta, jota seurattiin suodatuksen aikana, sillä kosteutta ei ole hyvä päästää suodattimeen. Näytteenottoyhde sijaitsi ennen kosteudenpoistoa.



Kuva 3. Demonstraatiovaiheen kaasujen suodatusyksikkö toiminnassa märkämenetelmään perustuvalla biokaasulaitoksella (Kuvat: Tiina Saario)

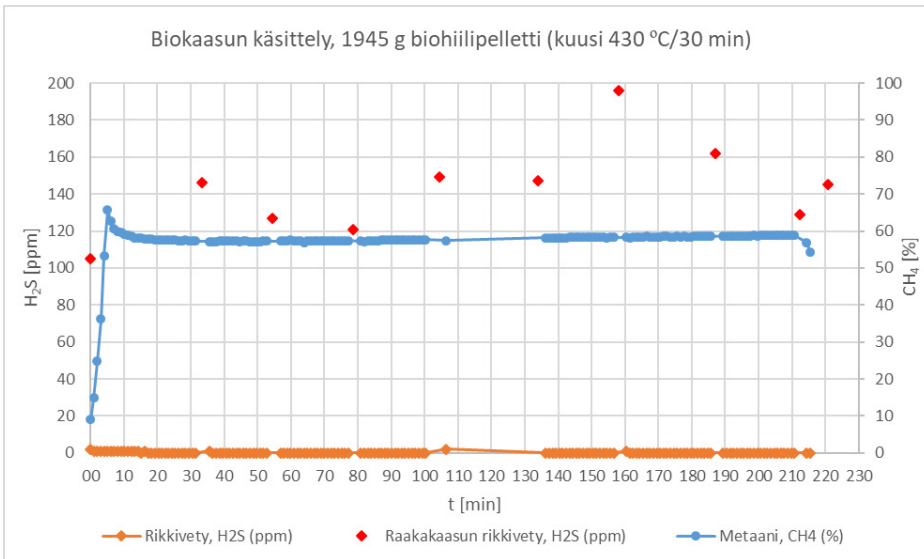
Kuvaajassa 5 on esitetty mädättämöllä tehdyn kaasusuodatuskokeen tulokset. Biohiili suodatti rikkivedyn täydellisesti kokeen aikana ja metaanipitoisuus pysyi noin 60 prosentissa. Suodattamattoman kaasun rikkivetytitoisuus oli kokeen aikana noin 60–80 ppm. Rikkivedyn ja metaanin pitoisuutta raakakaasussa seurattiin tekemällä ajoittain välimittauksia suodattamattomasta kaasusta. Näin nähtiin, millä tasolla rikkivetytitoisuus kulloinkin oli.



Kuvaaja 5. Biokaasulaitoksen 120 min suodatuskokeen tulos

Kuvaaja 6 on esitetty mädättämöllä tehdyn pitkän kaasusuodatuskokeen tulokset. Tällä kertaa biokaasulaitoksen raakakaasun rikkivetytitoisuus oli korkeampi kuin aiemmissa

kokeissa, noin 110–200 ppm. Metaanipitoisuus vaihteli välillä 56–59 %. Biohiili suodatti rikkivedyn kokeen aikana ja metaanipitoisuus pysyi samoissa arvoissa raakakaasun pitoisuuden kanssa.



Kuvaaja 6. Biokaasulaitoksen 110–200 ppm raakakaasun puhdistuskoe

## BIOHIILI SUODATUSAINEENA

Aikaisempien tutkimusten sekä Bioli-hankkeessa tehtyjen kokeiden perusteella voidaan todeta, että biohiili toimii rikkivedyn suodatuksessa. Tarvitaan kuitenkin vielä lisätutkimuksia, jotta saadaan tietoa siitä, kuinka pitkään biohiili kestää suodatuskäytössä kyllästymättä tai muuten kuormittumatta aktiivihiileen verrattuna.

## LÄHTEET

Bamdad, H., Hawbolt, K., MacQuarrie, S. 2018. A review on common adsorbents for acid gases removal: Focus on biochar, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81, 1705–1720.

Das, J., Rene, E. R., Dupont, C., Dufourney, A., Blin, J. & von Hullebusch, E. D. 2018. Performance of a compost and biochar packed biofilter for gas-phase hydrogen sulfide removal, *Bioresource Technology* 273, 581–591.

Sahota, S., Vijay, V. K., Subbarao, P. M. V., Chandra, R., Ghosh, P., Shah, G., Kapoor, R., Vijay, V., Koutu, V., Thakur, I. S. 2018. Characterization of leaf waste based biochar for cost effective hydrogen sulphide removal from biogas. *Bioresource Technology* 250, 635–641.



# UUTTA KASVUA BIOHIILESTÄ

Niina Laurila & Tuomas Venäläinen

Hankkeessa testattiin biohiilen käyttöä puuntaimien lannoitteena. Laboratoriomittakaavan lannoitekokeet toteutettiin Mikkeli puiston Kaski-mallipuutarhassa, jota hallinnoi Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Biohiilen lannoittavaa vaikutusta kokeiltiin metsäkuusen (*Picea abies*) taimille.

## KOHTEENA KUUSENTAIMET

Kaski-mallipuutarhassa esitellään puun käyttöideoita piha- ja puutarharakentamisessa (kuva 1). Lannoitekoe suoritettiin kahdessa puukehyslaatikossa, joihin oli istutettu kuusen taimia heinäkuussa 2017. Kokeessa käytetyt metsäpuun taimet olivat UPM:n taimitarhan 1,5 vuoden ikäisiä keskikokoisia paakkutaimia. Laatikoissa käytettiin kasvualustana Mikkeli puiston tarjoamaa multaa. Istutusmulta ei ole ihanteellinen kasvualusta havukasveille, sillä havut pitävät happamasta kasvualustasta, kuten turpeesta. Biohiililannoitekoetta varten ei kasvualustaa kuitenkaan vaihdettu.



Kuva 1. Koelaatikot Kaski-mallipuutarhassa (Kuva: Niina Laurila)

## TESTEISSÄ KÄYTETTY BIOHIILI

Lannoitekokeessa käytettiin kuusesta 430 °C (30 min) valmistettua pelletöityä biohiiltä. Taulukkoon 1 on koottu kuusipellettibiohiilen ravinnemetallipitoisuudet.

Taulukko 1. Kuusipohjaisen biohiilen ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet (Eurofins Viljavuuspalvelu Oy ja valmistajan analyysiraportti)

	Pitoisuus
Kok. typpi	2,0 (±0,4) g/kg ka
Liuk. typpi	<0,01 g/kg ka
Kok. fosfori	0,19 g/kg ka
Liuk. fosfori	9,3 mg/kg ka
Kok. kalium	1,6 g/kg ka
Liuk. kalium	510 mg/kg ka
Kuiva-aine	92,5 %
H/N-suhde	0,053
C/N-suhde	405
pH	5,07

Mikäli biohiiltä halutaan käyttää lannoitteena, tulee sen haitta-aineiden määrän alittaa Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista (MMM asetus nro 24/11). Lannoitevalmisteasetus määrittelee kaikille lannoitevalmisteille haitallisten aineiden enimmäismäärät (taulukko 2). Kokeen biohiilen haitallisten aineiden määrä ei ylittänyt MMM asetuksessa nro 24/11 määritettyjä enimmäispitoisuuksia (taulukko 2).

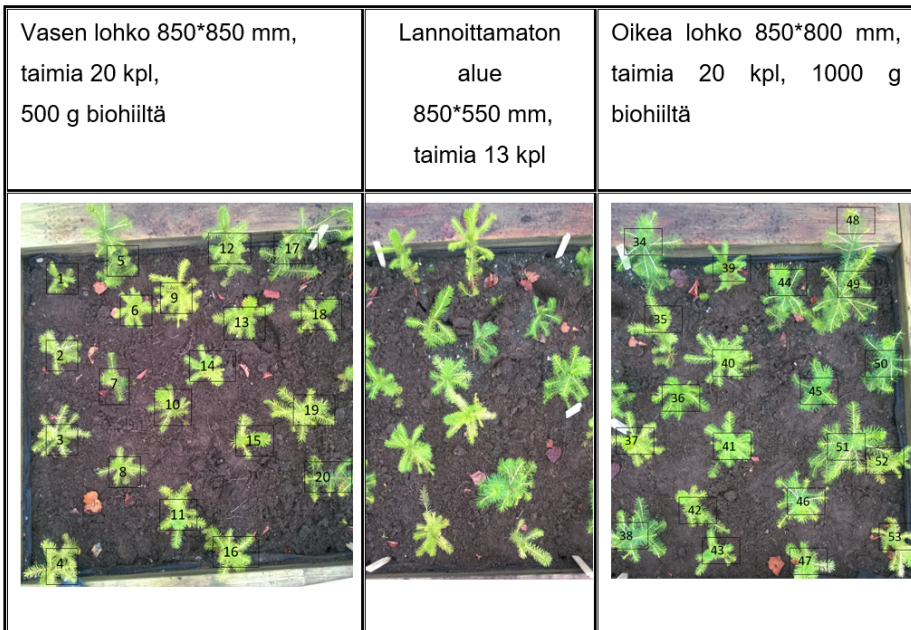
Taulukko 2. Raskasmetallianalyysitulokset ja haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet (valmistajan analyysiraportti ja MMM asetus nro 24/11)

Biohiilen raskasmetallit	Pitoisuus (mg/kg)	Haitalliset aineet lannoitteissa (MMM asetus nro 24/11) Enimmäispitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)
Arseeni (As)	-	25
Kadmium (Cd)	0,3	1,5
Kromi (Cr)	1,4	300
Kupari (Cu)	4,9	600
Lyijy (Pb)	2,5	100
Elohopea (Hg)	<0,1	1
Nikkeli (Ni)	1,6	100
Sinkki (Zn)	16,8	1500

## LANNOITEKOE

Lannoitekoe käynnistettiin lokakuussa 2017 harventamalla toisesta laatikosta kuusen taimia. Toimenpiteellä pyrittiin tasaamaan laatikossa olevien taimien määrä vastaamaan verrokkilaatikon taimien määrää sekä luomaan molempiin laatikoihin samankaltaiset kasvuolosuhteet. Biohiililannoitekoe toteutettiin harvennetussa taimilaatikossa (lähin havullinen laatikko kuvassa 1). Harventamattoman laatikon taimet toimivat vertailutaimina.

Biohiililannoitelatikko jaettiin kolmeen osaan, koska biohiilen lannoitevaikutusta haluttiin testata kahdella eri biohiilimäärällä. Koealueiden väliin jätettiin lannoittamaton 13 kuusentaimen suoja-alue. Pelletöityä kuusipohjaista biohiiltä annosteltiin 20 taimelle 500 g ja toiselle 20 taimelle 1 000 g. Laatikon koelohkot taimineen näkyvät kuvassa 2.



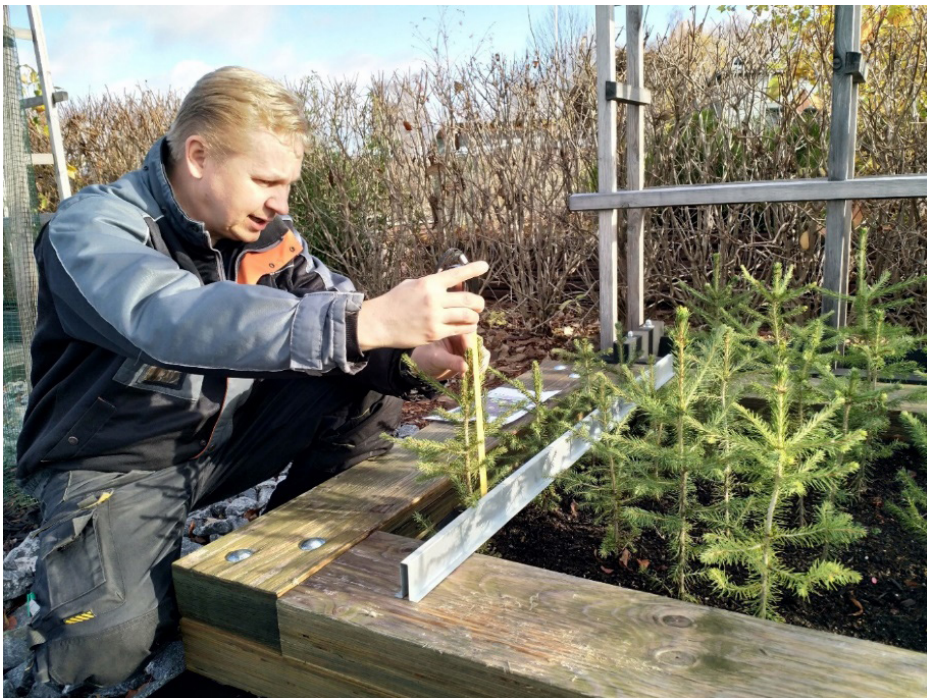
Kuva 2. Biohiililannoitekokeen koelohkot (Kuvat: Niina Laurila)

Vertailualue perustettiin viereiseen puulaatikkoon, jossa kuusentaimia oli 49. Kuvassa 3 on esitetty vertailulukuus numeroituna (kuuset 48 ja 49 jäivät kuvan ulkopuolelle).



Kuva 3. Vertailutaimet lokakuussa 2017 (Kuva: Niina Laurila)

Biohiilen lannoittavaa vaikutusta selvitetiin seuraamalla taimien kasvun muutosta vuoden aikana. Mittauksissa käytettiin hyväksi l-palkkia, jolla mittaustaso saatiin pidettyä vakiona (kuva 4.) Mittaus suoritettiin mittatason yläpuolisesta pituudesta.



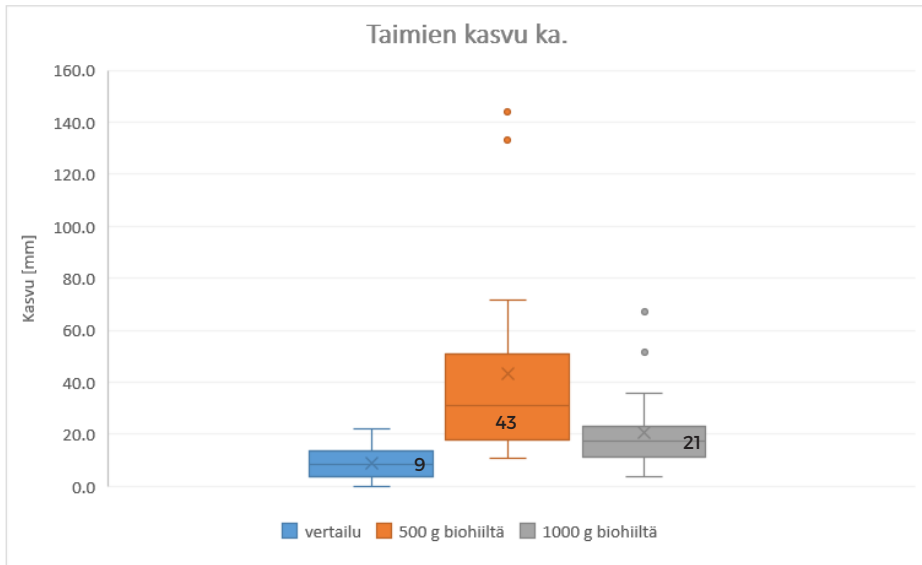
Kuva 4. Biohiililannoitettujen kuusentaimien kasvua mitattiin lokakuussa 2018 (Kuva: Niina Laurila)

Kuvassa 5 nähdään biohiililannoitetut taimet kuvattuna juuri lannoituskokeen alussa vuonna 2017 sekä syksyllä 2018. Koelaatikon taimet ovat vuoden aikana tuhistineet ja saaneet lisää pituutta.



Kuva 5. Biohiilikokeen kuusentaimet (Kuvat: Niina Laurila)

Tulokset yhden kesän kasvukokeesta on esitetty kuvaajassa 1. Biohiililannoituksella säästettiin 500 g annostuksella 0,72 m<sup>2</sup> alalle kasvua 20 taimelle keskimäärin 43 mm ja 1 000 g annostuksella 21 mm (pinta-ala 0,68 m<sup>2</sup>). Vertailulaatikossa taimien kasvu oli maltillisempaa keskimääräisen kasvun ollessa 9 mm.



Kuvaaja 1. Kuusentaimien keskimääräinen kasvu ja kasvun hajonta

Kuvassa 6 on esitetty vertailulaatikon kuusen taimia. Kuvasta nähdään, että taimien latvat eivät ole kehittyneet samalla tavalla kuin lannoitelaatikon taimet (kuva 5). Hidastunut kasvu viittaa ravinnepuutokseen.



Kuva 5. Vertailutaimet lokakuussa 2018 (Kuva: Niina Laurila)

## LISÄÄ KASVUA BIOHIILESTÄ

Tehdyllä kokeella pystyttiin osoittamaan, että biohiilellä voidaan lisätä kuusen taimen kasvua. Parhaimmat tulokset saatiin annostelun ollessa 0,69 kg/m<sup>2</sup>. Tällä annostelumäärällä kuusentaimet kasvoivat 300–380 % enemmän kuin ilman biohiiltä. Suuremmalla biohiilen annostelumäärällä (1,47 kg/m<sup>2</sup>) kasvua saatiin yli 100 % lannoittamattomaan ruutuun verrattuna. Raskasmetallipitoisuudet kokeessa käytellä biohiilellä olivat alhaiset, joten kokeessa käytetty biohiili kävisi laadullisesti lannoitteeksi. Bioli-hankkeen kokeessa käytetyllä biohiilellä saavutettiin positiivinen vaikutus kuusen taimien kasvatuksessa. Edelleen täytyy tehdä lisätutkimuksia, jotta saadaan varmistettua soveltuvat biohiililaadut ja niiden käyttömäärät sekä pitkän aikavälin vaikutukset kasvuun.

## LÄHTEET

Ravinneanalyysitulokset, tutkintotodistus AR-18-FV-001806-01.2018. Eurofins Viljavuuspalvelu Oy.

Raskasmetallianalyysitulokset, Analysis Report. 2017.

# BIOHIILESTÄ KASVUALUSTA

Niina Laurila & Anne Laitinen

Biohiilen vaikutusta maanparannusaineena tutkittiin Bioli-hankkeessa kasvatuskokeilla Xamkin Mikkelin kampuksen ympäristölaboratoriossa. Biohiilen kyky toimia maata parantavana aineena perustuu sen kykyyn sitoa vettä sekä luovuttaa ja vastaanottaa ravinteita. Näin ollen biohiili voi toimia vesi- ja ravinnevarastona kasveille. Biohiili toimii myös hiili-dioksidia sitovana materiaalina.

## KOEJÄRJESTELYT

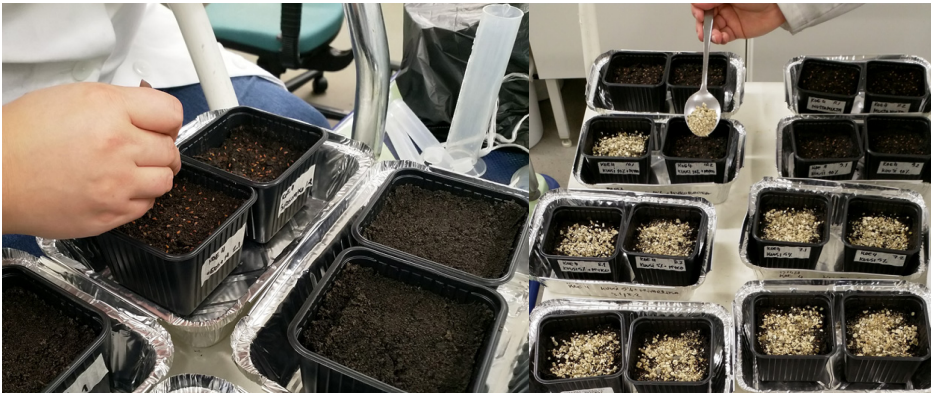
Seoksella tarkoitetaan Xamkin ympäristölaboratoriossa valmistettua perusseosta, jossa on käytetty reilun vuoden ikäistä kompostia, silttihiekkaa, kuiviketurvetta ja peltokalkkia. Koivulla ja kuusella tarkoitetaan perusseosta, johon on lisätty koivu- tai kuusibiohiiltä 5 tai 10 %. Edellä mainittujen lisäksi valmistettiin seokset, joihin lisättiin myös mykorritsa-sientä (Symbio-tuote, Schetelig Oy). Kokeissa käytetty hiili oli valmistettu koivusta (500 °C/30 min) ja kuusesta (400 °C/30 min). Taustamateriaaleina kokeissa käytettiin kahta kaupallista multatuotetta, joista toisessa oli mukana myös biohiiltä.

Ennen kokeita kompostimateriaali seulottiin 12 mm seulalla. Koe aloitettiin valmistamalla perusseos eli komposti-turve-hiekka-(mykorritsa)-seos, josta sitten valmistettiin pienemmät biohiiliseokset. Tämän jälkeen seosten happamuus tarkistettiin ja tarpeen mukaan säädettiin kalkilla kasvulle sopivalle tasolle (pH yli 6.5).

Ensimmäinen koejärjestely toteutettiin kasvatuskaapissa, jossa oli käytössä loisteputkivalot (kasvivalot). Jälkimmäisessä koejärjestelyssä käytettiin kasvatuskaappia, jossa led-valot (sininen valo).

Kasvatuskokeet tehtiin VTT:n kompostin kypsyystestin ohjeita mukaillen. Koekasvina käytettiin vihanneskrassia, jonka itävyys oli yli 90 %. Kasvatuskoe toteutettiin 9 cm reiällisillä taimiruukuilla, joihin kylvettiin 80 vihanneskrassin siementä (kuva 1). Kokeissa käytettiin rinnakkaisia ruukkuja. Ennen kylvöä ruukkujen seokset kasteltiin vesijohtovedellä, siten että vettä tuli multapedin läpi. Kylvön jälkeen ruukkuihin lisättiin vermikuliittia (kuva 1). Tämän jälkeen ruukut peitettiin kelmulla. Vermikuliitin ja kelmun käytöllä pyrittiin edistämään itämistä sekä kosteustasapainon säilymistä. Keltu poistettiin, kun siemenet olivat itäneet.





KUVA 1. Kasvatuskokeissa käytettiin 9 cm taimiruukkuja (Kuvat: Niina Laurila)

Ensimmäinen kasvatuskoe toteutettiin vakioituissa olosuhteissa kasvatuskaapissa, jossa valoja pidettiin 16 tuntia päällä lämpötilan ollessa tuolloin +20 °C. Yöaikana lämpötila pidettiin +15 asteessa 8 tunnin ajan. Kokeen aikana seoksia kasteltiin tarpeen mukaan vesijohtovedellä. Toinen koe toteutettiin kasvatuskaapissa, jossa käytettiin led-kasvivaloja, jotka antoivat sinistä valoa.

Seitsemän vuorokautta kokeen aloittamisesta itäneet taimet laskettiin ja suoritettiin visuaalinen tarkastelu. Koe päätettiin, kun kokeen aloittamisesta oli kulunut 14 vuorokautta. Kokeen lopussa taimet leikattiin tarkasti multapinnasta. Samalla niiden lukumäärä laskettiin. Leikatuista taimista määritettiin tuore- ja kuivapainot. Kuivaus suoritettiin 70 °C:ssa vuorokauden ajan. Kuvassa 2 nähdään 14 vuorokauden ikäiset krassintaimet.



KUVA 2. Jälkimmäisen kokeen 14 vrk ikäisiä vesikrassin taimia (Kuva: Niina Laurila)

Siemenille määritettiin itävyysprosentti, joka lasketaan kaavalla 1. Taustakontrollin itävyyden tulee olla vähintään 90 %, jotta tuloksia voidaan pitää luotettavina.

$$\text{Itävyysprosentti} = \frac{\text{itäneet siemenet (kpl)}}{\text{kylvetyt siemenet (kpl)}} * 100 \quad (1)$$

Kuivapainosta määritettiin kasvuindeksi (kaava 2). Kasvua pidetään normaalina, jos kasvuindeksi on yli 80 %.

$$\text{Kasvuindeksi} = \frac{\text{kasvu näytesyksessä (g)}}{\text{kasvu taustakontrollissa (g)}} * 100 \quad (2)$$

## ANALYYSIT

Kompostista, hiilestä ja seoksista analysoitiin happamuus, sähkönjohtavuus, orgaanisen aineen määrä sekä tuhka- ja kuiva-ainepitoisuudet. Analyysit tehtiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa. Biohiilistä analysoitiin myös ravinnepitoisuus (typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuus) sekä kuiva-aine ja kosteus (analysoija Eurofins Viljavuuspalvelu Oy). Toisen kokeen kompostista, perusseoksesta ja 5 % hiili-komposti-turve-hiekka-seoksista analysoitiin kuiva-aine, tuhka kuiva-aineessa, kosteus, happamuus, ravinteet, hivenaineet (Cu, Fe, Mn, Na, S, Zn, Mg, B) ja raskasmetallit (Cd, Cr, Cu, As, Ni, Pb, Hg, Zn) (analysoija Synlab Analytics and Services).

## ANALYYSITULOKSET

Kokeissa käytettyjen biohiilien ravinnepitoisuuksissa ei ollut suuria eroa vesiliukoista kaliumia lukuun ottamatta (taulukko 1). Liukoinen typpipitoisuus hiilissä vaihteli 20–30 mg/kg kuiva-ainetta.

Taulukko 1. Kokeissa käytettyjen biohiilten ravinteet (kuiva-aineessa) ja kuiva-aine (Eurofins Viljavuuspalvelu Oy)

Biohiili	Kuiva-aine (%)	Vesiliuk. typpi (mg/kg)	Vesiliuk. fosfori (mg/kg)	Vesiliuk. kalium (mg/kg)
Koivu	99,4	20	4,4	390
Kuusi	95	30	3,3	220

Taulukkoon 2 on koottu kokeessa testattujen seosten sekä vertailutuotteiden (kaupallinen tuote 1 ja 2) tiedot happamuudesta ja sähkönjohtavuudesta. Koesarjassa 2 ei sähkönjohtavuutta mitattu lähtöaineista.

Taulukko 2. Koesarjojen 1 ja 2 seosten happamuus ja sähkönjohtavuus ennen koetta ja kokeen jälkeen

Testattavan tuotteen koostumus	Koe 1				Koe 2			
	Ennen koetta		Kokeen jälkeen		Ennen koetta		Kokeen jälkeen	
	pH	Sähkönjohtavuus (mS/m)	pH	Sähkönjohtavuus (mS/m)	pH	Sähkönjohtavuus (mS/m)	pH	Sähkönjohtavuus (mS/m)
Kaupallinen tuote 1	7,41	55,8	7,88	37,2	7,54	-	7,81	39,2
Kaupallinen tuote 2	6,31	77,2	6,61	48,4	6,66	-	6,61	74,4
Seos	7,6	105,8	7,69	66,5	7,02	-	7,67	62,7
Seos + mykorrhitsa	7,54	114,8	7,72	64,4	6,97	-	7,61	66,3
Koivu 5 %	7,61	104,7	7,86	57,5	7,07	-	7,74	58,2
Koivu 5 % + mykorrhitsa	7,54	112,3	7,76	53,7	7,14	-	7,78	56
Koivu 10 %	7,51	101,1	7,84	55,5	7,23	-	7,75	55,5
Koivu 10 % + mykorrhitsa	7,58	109,2	7,9	57,9	7,18	-	7,64	59,6
Kuusi 5 %	7,69	101,1	7,86	61,5	7,09	-	7,58	65,6
Kuusi 5 % + mykorrhitsa	7,53	116,3	7,78	60,5	7,13	-	7,55	66,4
Kuusi 10 %	7,58	106,2	7,69	62,3	7,16	-	7,70	62,7
Kuusi 10 % + mykorrhitsa	7,53	113,4	7,73	68,7	7,19	-	7,69	59,7

Orgaanisen aineen (Wom) määrä kokeissa kasvoi perusseokseen tehtyjen muutosten myötä (taulukko 3). Toisessa kokeessa orgaanisen aineen määrä on suurempi kuin ensimmäisessä. Muutos näkyy myös kuiva-aineen (Wm), kosteuden (DM) ja tuhkan (Wash) määrissä.

Taulukko 3. Ensimmäisen ja toisen koejärjestelyn kasvualustan analyysitulokset

Tuote	Koejärjestely 1				Koejärjestely 2			
	Wm	DM	Wom	Wash	Wm	DM	Wom	Wash
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Kaupallinen tuote 1	60,1	39,9	65,2	34,8	62,0	38,0	63,7	36,3
Kaupallinen tuote 2	58,4	41,6	45,5	54,5	61,7	38,3	41,8	58,2
Seos	27,7	72,3	14,7	85,3	37,3	62,7	21,2	78,8
Seos + mykorritsa	29,2	70,8	15,6	84,4	37,0	63,0	20,9	79,1
Seos + koivu 5 %	27,5	72,5	17,6	82,4	35,6	64,4	24,7	75,3
Seos + koivu 5 % + mykorritsa	25,7	74,3	17,4	82,6	35,4	64,6	24,4	75,6
Seos + koivu 10 %	26,2	73,8	19,4	80,6	35,0	65,0	25,2	74,8
Seos + koivu 10 % + mykorritsa	26,4	73,6	18,6	81,4	35,5	64,5	22,2	77,8
Seos + kuusi 5 %	27,5	72,5	16,7	83,3	37,0	63,0	21,4	78,6
Seos + kuusi 5 % + mykorritsa	25,3	74,7	16,8	83,2	37,4	62,6	24,6	75,4
Seos + kuusi 10 %	27,0	73,0	17,2	82,8	37,7	62,3	26,5	73,5
Seos + kuusi 10 % + mykorritsa	26,9	73,1	19,5	80,5	37,9	62,1	26,2	73,8

Taulukkoon 4 on kerätty toisen koesarjan tulokset ravinne-, hivenaine- ja raskasmetallianalyyseistä (analysoija Synlab Analytics & Services). Orgaanista ainetta on koeseoksissa vähemmän kuin vertailutuotteissa. Typpipitoisuudessa ei ole eroa tuotteiden välillä. Kaupallisissa tuotteissa on kuitenkin enemmän kaliumia ja fosforia verrattuna koeseoksiin.

Taulukko 4. Toisen koesarjan kasvualusta-, hivenaine- ja raskasmetallianalyysi-tulokset (Synlab Analytics & Services)

	Määrittys	yksikkö	Koe 2 Koivu 5 %	Koe 2 Kuusi 5 %	Koe 2 Seos	Vertailu 1	Vertailu 2
<b>Ravinteet</b>	pH		7,4	7,4	7,4	7,7	6,5
	Sähkönjohtavuus	(mS/cm)	0,72	0,76	0,78	0,46	0,64
	Kuiva-aine	(%)	64,8	64,4	64,4	38,7	40
	Tuhka kuiva-aineessa	(%)	76,8	79,7	76,8	36,7	58,4
	Kosteus	(%)	35,2	35,6	35,6	61,3	60
	Orgaaninen aines kuiva-aineessa	(%)	23	20	23	63	42
	Tilavuuspaino, tulokosteassa	(kg/m <sup>3</sup> )	622	638	358	543	683
	Vesiliukoinen tyyppi kuiva-aineessa (Nliuk.vl)	(kg/tn)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,26	< 0,1
	Liukoinen fosfori (Pliuk.) kuiva-aineessa	(kg/tn)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,17
Liukoinen kalium (Kliuk.) kuiva-aineessa	(kg/tn)	1,1	1,2	1,1	3,1	2,3	
<b>Hivenaineet</b>	Kokonaisboori (B) kuiva-aineessa	(g/tn)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Kokonaisrauta (Fe) kuiva-aineessa	(kg/tn)	15	16	15	6,5	5,4
	Kokonaismagnesium (Mg) kuiva-aineessa	(kg/tn)	5,3	5,5	6,3	3,6	2,7
	Kokonaismangaani (Mn) kuiva-aineessa	(g/tn)	120	130	120	230	140
	Kokonaisnatrium (Na) kuiva-aineessa	(kg/tn)	0,35	0,77	0,76	1	0,59
	Kokonaisrikki (S)kuiva-aineessa	(kg/tn)	1,1	1,1	1	1,7	0,91
<b>Raskasmetallit</b>	Kokonaisarseeni (As) kuiva-aineessa	(mg/kg)	3,1	2,6	2,4	4	2
	Kokonaiskadmium (Cd) kuiva-aineessa	(mg/kg)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
	Kokonaiskromi (Cr) kuiva-aineessa	(mg/kg)	12	15	12	8,6	6
	Kokonaiskupari (Cu) kuiva-aineessa	(mg/kg)	39	25	25	22	12
	Kokonaiselohopea (Hg) kuiva-aineessa	(mg/kg)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
	Kokonaisnikkeli (Ni) kuiva-aineessa	(mg/kg)	8,1	8,5	7,5	5,3	4,2
	Kokonaislyijy (Pb) kuiva-aineessa	(mg/kg)	8	5	4,8	3	3,5
	Kokonaissinkki (Zn) kuiva-aineessa	(mg/kg)	83	85	81	86	50

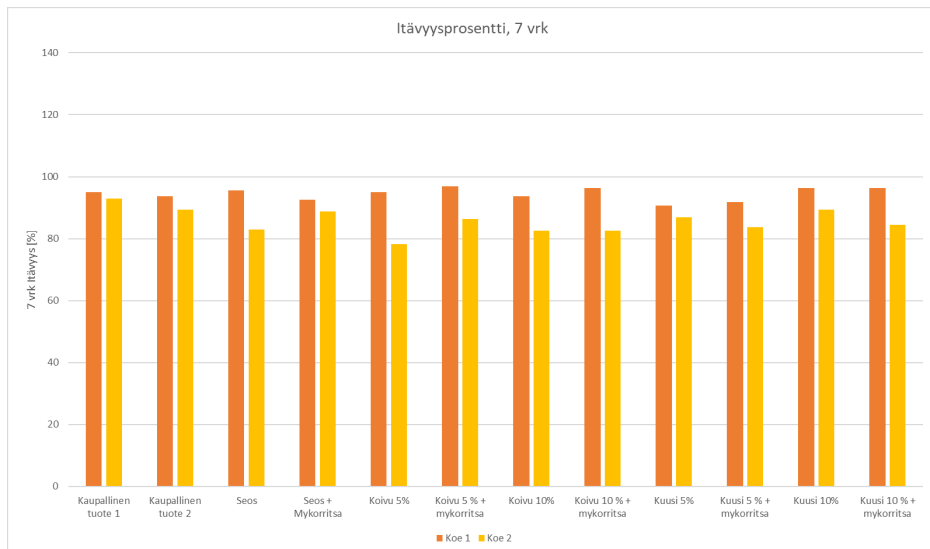
Raskasmetallipitoisuudet olivat näytteissä alhaiset. Analysoidut pitoisuudet eivät ylitä MMM asetuksen nro 24/11 (asetus lannoitevalmisteista) enimmäispainoisuuksia (taulukko 5).

Taulukko 5. Haitallisten metallien enimmäispitoisuus (MMM asetus nro 24/11)

	Enimmäispitoisuus kuiva-aineessa (mg/kg)
Arseeni (As)	25
Kadmium (Cd)	1,5
Kromi (Cr)	300
Kupari (Cu)	600
Elohopea (Hg)	1
Nikkeli (Ni)	100
Lyijy (Pb)	100
Sinkki (Zn)	1 500

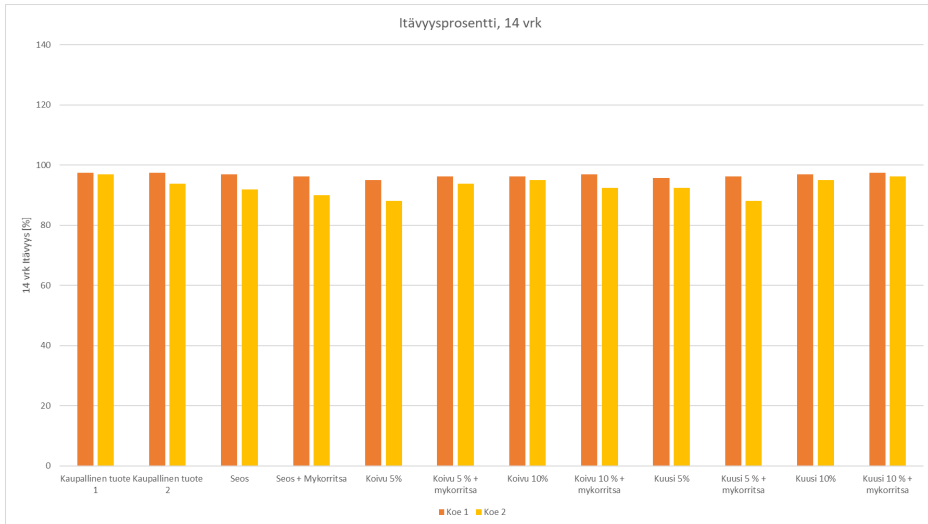
## KASVATUSKOEIDEN TULOKSET

Parhaiten seitsemän vuorokauden itävyys toteutui ensimmäisessä kokeessa (kuva 3) niin vertailutuotteilla kuin koeseoksillakin. Mykorritsa-sienen vaikutus näkyy myös parempana itävyytenä samalla kokeella. Toisen koesarjan erot mykorritsaa sisältävien ja sisältämättömien seosten välillä ovat vähemmän selviä.



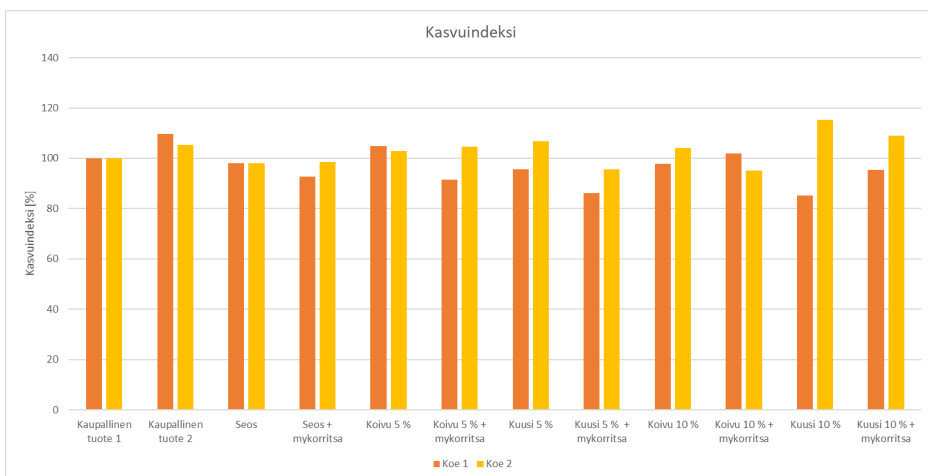
Kuva 3. Seitsemän vuorokauden itävyys koesarjoissa 1 ja 2

Erot itävyydessä tasaantuivat 14 vuokauden kuluessa kokeen aloittamisesta (kuva 4). Itävyydelukemat nousivat jälkimmäisessä koesarjassa. Koesarjan 2 itävyys lähenteli jo ensimmäisen koesarjan lukemia. Kokeissa 1 ja 2 kaikkien koeosien itävyydet olivat samalla tasolla kuin vertailutuotteilla.



Kuva 4. 14 vuorokauden itävyys koesarjoissa 1 ja 2

Kasvuindeksilaskennassa on käytetty kuivattua painoa. Mikäli kasvuindeksi jää alle 80 %, kasvu alentunut. Kummassakaan kokeessa kasvu ei ollut alentunut (kuva 5). Biohiilen käytöllä saatiin edistettyä kasvua.



Kuva 5. Kokeiden 1 ja 2 kasvuindeksin vertailu

## YHTEENVETO JA POHDINTAA

Biohiilen käyttö multatuotteessa näyttää toimivan kasvun lisääjänä Bioli-hankkeessa toteutetuissa kokeissa. Biohiilen vaikutus näkyi kaikkein parhaiten kasvuindeksituloksissa. Siinä biohiiliseoksilla saatiin suuremmat kasvuluvut, mikä havaitaan erityisesti jälkimmäisessä koesarjassa 2. Eniten kasvua saatiin 10 % biohiilikuusiseoksella. Kokeessa 2 käytettiin led-kasvivaloilla varustettua kasvatuskaappia. Led-kasvivalot antoivat sinistä valoa, jonka vaikutus näkynee parempana kasvuna. Tämän kokeen taimia jouduttiin myös kastelemaan enemmän. Lisäksi jälkimmäisen kokeen multaseosten orgaanisen aineen määrää lisättiin, mikä on voinut vaikuttaa osaltaan parempaan kasvuun.

## LÄHTEET

Itävaara, M., Vikman, M., Kapanen, A., Venelampi, O. & Vuorinen, A. 2006. Kompostin kypsyystestit. Menetelmäohjeet. VTT tiedotteita 2351. Saatavilla: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2351.pdf> [viitattu 9.4.2019]

Hiilinäytteiden analysointi, tutkintotodistus. 2018. Eurofins Viljavuuspalvelu Oy.

SFS-EN 13040. Maanparannusaineet ja kasvualustat. Näytteen esikäsittely kemiallisia ja fysikaalisia kokeita varten. Kuiva-ainepitoisuuden, kosteuspitoisuuden ja tiivistetyn laboratoriotilavuuspainon määrittäminen.

SFS-EN 13039. Maanparannusaineet ja kasvualustat. Orgaanisen aineksen pitoisuuden ja tuhkapitoisuuden määrittäminen.

Kasvualusta-, hivenaine- ja raskasmetallianalyysit, tutkintotodistus. 2019. Synlab Analytics & Services.

Asetus lannoitevalmisteista, MMM asetus 24/11, 2011. Maa- ja metsätalousministeriö.



# BIOHIILEEN LIITTYVÄN LIIKE-TOIMINNAN KEHITTÄMINEN JA KAUPALLISTAMISEN VALMISTELU

Jussi Heinimö & Hanne Soininen

Mikkelissä on tehty jo usean vuoden ajan aktiivisesti biohiililiiketoimintaan liittyvää tutkimus-, kehittämis- ja edistämistyötä. Sen lisäksi, että biohiili soveltuu energiantuotantoon, prosessoinniltaan räätälöidylle korkeamman jalostusasteen biohiilelle on tunnistettu markkinamahdollisuuksia myös raaka-aineena. Mahdollisuuksia nähdään myös laajemmalle palveluliiketoiminnalle. Tällaisia uusia käyttökohteita, joita voisivat olla muun muassa maanparannus ja vesienkäsittely ja näihin liittyvä palveluinnovaatiot.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy:n (Xamk) ja Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy:n (Miksei) toteuttaman Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savoon – Bioli -hankkeen tavoitteena on ollut edistää uusien kaupallistettavien biohiilituotteiden kehittämistä ja testausta, kehittää uusia sovelluksia ympäristöturvallisuuden alalla sekä luoda konkreettisia edellytyksiä biohiileen perustuvan liiketoiminnan syntymiselle Etelä-Savoon. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, Metsäsairila Oy ja Suur-Savon Energiasäätiö sr.

## YHTEISTYÖLLÄ UUSIA AVAUKSIA

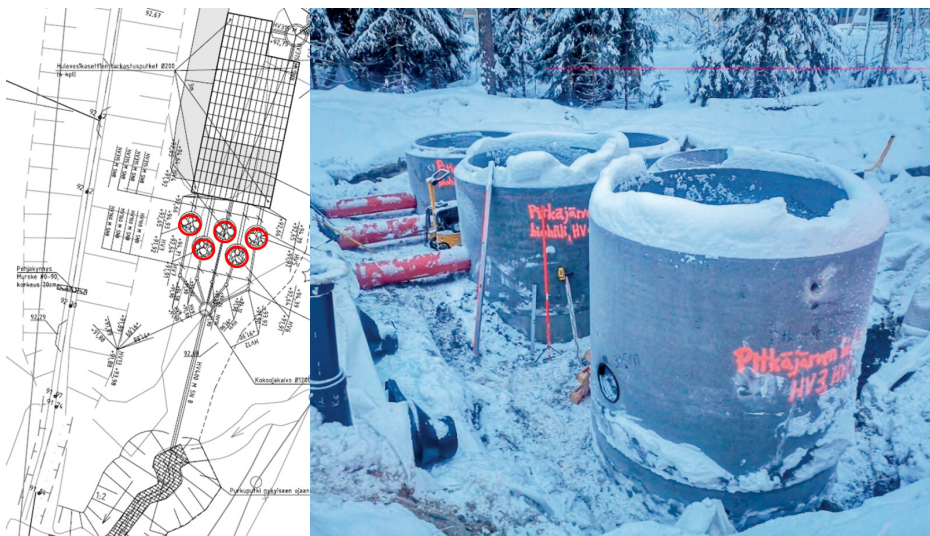
Miksein roolina Bioli-hankkeessa oli osallistua hankkeessa tarkempaan tarkasteluun ja testaukseen otettavien uusien biohiilen sovelluskohteiden arviointiin niiden kaupallistamismahdollisuuksien näkökulmasta. Lisäksi Miksein tavoitteena oli tunnistaa ja koota uusien tuotteiden ja sovellusten kaupallistamisessa tarvittavia toimijaverkostoja ja valmistella kaupallistamisen valmistelua seuraavassa vaiheessa muulla kuin hankkeen rahoituksella toteutettavia toimenpiteitä. Kaupallistamiseen tunnistettiin paljon mahdollisuuksia, mutta useimmat arvioituista uusista sovelluskohteista tarvitsevat kaupallistukseksi vielä runsaasti lisätutkimusta ja kehittämistä. Hankkeessa pyrittiin tunnistamaan sovelluskohteita, jotka olisivat kaupallistettavissa tai käyttöön otettavissa suhteellisen nopealla aikataululla ja kohtuullisella jatkokehitystyöllä.

Hankkeen aikana biohiiltä testattiin hyvin tuloksin muun muassa katemateriaalina ja todettiin, että biohiili toimisi hyvin värjättyjen kaupallisten katemateriaalien korvaajana. Muiksi kaupallistamista silmällä pitäen lupaavimmiksi kohteiksi arvioitiin biohiilen käyttö maanparannukseen ja biohiilen hyödyntäminen hulevesien käsittelyssä. Hankkeen resursseja suunnattiin näiden molempien kaupallistumisen edistämiseen.

## HULEVESIEN KÄSITTELYSTÄ UUSIA LIIKETOIMINTAMAHDOLLISUUKSIA

Mitä tulee biohiilen hyödyntämiseen hulevesien käsittelyssä, yhdessä Mikkelin kaupungin kanssa lähdettiin etsimään mahdollisia kohteita, joissa biohiiltä voitaisiin testata. Tarkastelujen ja tarkempien selvitysten perusteella lupaavimmaksi kohteeksi biohiilen soveltamiseksi nousi Mikkelin Pitkäjärven alue, jonne kaupunki oli kaavailemassa hulevesien käsittelyjärjestelmää. Pitkäjärvellä toteutettiin syksyn 2018 aikana biohiiltä hyödyntävän hulevesien käsittelyjärjestelmän toteutussuunnittelu. Suunnittelutyön aikana nousi esille myös mahdollisuus hyödyntää järjestelmää vesien käsittelyyn liittyvässä tutkimustoiminnassa. Suunnittelussa otettiin huomioon tutkimustoimijoiden ja yritysten toiveet ja tarpeet.

Hulevesien käsittelyjärjestelmä koostuu useista rinnakkaisista suodatinyksiköistä, mikä mahdollistaa erilaisten uusien suodatinratkaisuiden testauksen ja vertailun (kuva 1). Puhdistustuloksen optimoimiseksi ja varmistamiseksi järjestelmässä hyödynnetään myös muita vedenkäsittelymenetelmiä, kuten laskeuttamista. Järjestelmä varustetaan jatkuvatoimisella mittaus- ja monitorointijärjestelmällä, jolla voidaan todentaa biohiilisuodatuksen toimintaa. Monitorointijärjestelmän rakentaminen on tarkoitus toteuttaa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa, ja siihen on haettu Etelä-Savon ELY-keskuksen rahoitusta. Järjestelmä mahdollistaa huleveden laatuun liittyvän reaaliaikaisen mittaustiedon avoimuuden. Käsittelyjärjestelmän tarjoamien tutkimus- ja testausmahdollisuuksien uskotaan herättävän myös kansainvälistä kiinnostusta.



KUVA 1. Pitkäjärvellä keväällä 2019 valmistuva hulevesien käsittelyjärjestelmä (Kuvat: Mikkelin kaupunki)

## BIOHIILTÄ MAANPARANNUSKÄYTTÖÖN GOLFKENTILLE

Jo nyt on kaupallisesti saatavilla multatuotteita, joissa biohiiltä hyödynnetään yhtenä maanparannuskomponenttina. Suomessa vielä toistaiseksi harvemmin esillä ollut uusi, kiinnostava käyttökohte biohiillelle ovat golfkentät. Golfkentillä biohiilen potentiaalisia käyttökohteita nähdään esimerkiksi viheriöiden ilmastuksessa ja rakennemateriaalina. Yleisesti viheriöitä ilmastetaan tapittamalla viheriöille ilmastusreikiä. Ilmastusreiät täytetään perinteisesti hiekalla. Hiekka on kuitenkin mahdollista korvata biohiilellä. Biohiilellä on huokoisena materiaalina kyky sitoa itseensä maaperän kosteutta ja ravinteita sekä luovuttaa niitä takaisin kasveille. Bioli-hankkeen aikana valmisteltiin ja käynnistettiin toistaiseksi vielä kesken oleva biohiilen testaus golfkentän ilmastusreikien täytemateriaalina. Testauksessa verrataan erityyppisiä biohiiliä ja biohiilen ja hiekan seoksia. Testaus käynnistyi syksyllä 2018, ja ensimmäisiä tuloksia saadaan kevään ja kesän 2019 aikana (kuva 2).



KUVA 2. Biohiiltä testauksessa golfkentällä (Kuva: Joroisten Kartano-Golf)

Golfkentällä viheriöt rakennetaan perinteisesti 20–30 cm paksuiselle hiekka-alustalle, jossa on mukana turvetta. Rakennerratkaisusta ja viheriöiden korkeista kuntovaatimuksista johtuen viheriöiden kastelu- ja lannoitetarve on suuri. Osa lannoitteista huuhtoutuu helposti hiekkaturveseoksen läpi valumavesiin. Lannoitteet ja kastelu ovat merkittävä kuluerä

golfkentillä. Biohiili ei mineraalimuotoisena materiaalina maadu turpeen tavoin vuosien kuluessa. Kompostimateriaali sisältää runsaasti golf-viheriölle käyttökelpoisia ravinteita. Ravinteilla on todettu olevan kyky aktivoida biohiili toimimaan.

Bioli-hankkeen aikana valmisteltiin yhdessä Joroisten Kartano-Golfin kanssa biohiilen testausta golf-viheriön rakennemateriaalina. Kartanogolf rakentaa kevään 2019 aikana uuden 100 m<sup>2</sup> suuruisen testiviheriön, jossa käytetään rakennusmateriaalina biohiiltä ja kompostia. Ehdotetussa kokeilussa viheriön rakennemateriaalina perinteisesti käytetty turve korvataan biohiili-kompostiseoksella. Viheriön valmistuttua on tarkoitus testata mahdollisuutta vähentää kastelua ja lannoitteiden käyttöä. Ratkaisua on tutkittu aiemmin muun muassa Yhdysvalloissa, mutta vastaavaa ratkaisua ei tiettävästi ole vielä kokeiltu Suomessa. Kokeilulla on tarkoitus selvittää, kuinka ratkaisu toimisi Suomen olosuhteissa, sekä arvioida onko ratkaisun avulla mahdollista vähentää viheriön kastelua ja lannoittamista. Jos kokeilu osoittautuu onnistuneeksi, kasvualustaseos otetaan käyttöön Kartanogolfissa. Yritys tulee tiedottamaan ratkaisusta koko Suomen golfroimalalle. Kokeilun toteuttaa Kartanogolf yhteistyössä yhteistyökumppaneidensa kanssa. Yhteistyökumppaneina toimivat biohiilen toimittaja ja jätehuolto-yhtiö (kompostin toimittaja). Kartanogolfin biohiilen testaus golfviheriön rakennemateriaalina valittiin helmikuussa 2019 mukaan yhdeksi Motivan valtakunnallisesta Kokeilun Paikka kiertotaloushausta rahoitettavaksi kokeiluksi. Kokeilun tarkempia tuloksia saadaan golfkauden jälkeen syksyllä 2019.





XAMK  
KEHITTÄÄ