



MIKRONISOIDUN BIOHIILEN JA -LENTOTUHKAN TUTKIMUS BIOSAMMOSSA

Mietteitä HITU-hankkeesta

Anne Gango, Satu Huurtomaa, Tomi Höök & Eveliina Kuokkanen



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Anne Gango, Satu Huurtomaa, Tomi Höök
& Eveliina Kuokkanen

MIKRONISOIDUN BIOHIILEN JA -LENTO- TUHKAN TUTKIMUS BIOSAMMOSSA

Mietteitä HITU-hankkeesta



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

KYMEN
LAAKSON
LIITTO

Rodus
A CRH COMPANY

Kotkan **Energia**
Lämpöä läheltä

XAMK KEHITTÄÄ 132

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
KOTKA 2020

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Eveliina Kuokkanen

Taitto- ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-296-2 (nid.)

ISBN: 978-952-344-297-9 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN: 2489-3102 (verkkajulkaisu)

julkaisut@xamk.fi

LUKIJALLE

Työ- ja elinkeinoministeriö on tunnustanut tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnan eli TKI-toiminnan keskeiseksi ja merkitykselliseksi tekijäksi kiertotalousratkaisuiden kehittämässä ja uudenlaisessa arvon luomisessa. Kiertotalouden on myös havaittu vaativan pitkäjänteistä tutkimusta muun muassa talteenotto- ja erotustekniikan sekä materiaalin käsittelyteknologian alueilla. Kiertotalouden teemojen aihepiirissä tehtävällä tutkimuksella voidaan löytää esimerkiksi uusia materiaalikiertoja sekä korvaavia materiaaliratkaisuja kriittisille, fossiililille ja uusiutumattomille raaka-aineille.

Sivu- ja jätevirtoja on mahdollista jalostaa uusiksi tuotteiksi, joiden kehittämisen avulla on mahdollista neitseellisten raaka-aineiden käytön vähentäminen. Tällöin materiaalien jatkojalostaminen sekä vähentää neitseellisen raaka-aineen tarvetta että tuo uusia liiketointamahdollisuuksia. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa on tutkittu hienonnetun biohiilen ja biopohjaisen lentotuhkan hyödyntämistä erilaisissa sovelluskohteissa. Tutkimuksissa tehdyillä materiaalien hienontamisilla saavutettiin pienentynyt partikkelikoko ja siten materiaalin lisääntynyt pinta-ala. Näiden ominaisuuksien vaikutusta on tutkittu muun muassa lentotuhkan osalta betonissa ja biohiilen kohdalla erilaisissa maaleissa.

Tämä julkaisu on tehty osana HITU-hankkeen selvitys- ja kehitystyötä. HITU eli Biohiilen ja -lentotuhkan mikronisointi ja materiaalisovellukset Kymenlaaksossa on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) hallinnoima hanke. Hankkeessa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululla ovat työskennelleet laboratorioinsinööri, ins. (AMK) Anna Eskola, HITU-hankkeen projektipäällikkö, lehtori, DI Anne Gango, laboratoriomekaanikko Esa Huuhtanen, tutkimusinsinööri, FM Satu Huurtomaa, TKI-asiantuntija, DI Tomi Höök, kehitysinsinööri, ins. (AMK) Teemu Karttaavi, projektipäällikkö, DI Eveliina Kuokkanen ja laitosvastaava Juha Solio. Hanke on saanut rahoitusta Euroopan aluekehitysrahastolta (EAKR 2014–2020), Rudus Oy:ltä ja Kotkan Energia Oy:ltä. Hanke on toteutettu ajalla 1.8.2018–31.12.2020.

Hanketyön etenemistä ohjasi ja valvoi ohjausryhmä, johon kuuluivat laatu- ja kehitysjohtaja Mika Tulimaa Rudus Oy:stä, energianhankintapäällikkö Jarkko Ylä-Kotola Kotkan Energia Oy:stä, aluekehityssihteeri Pia Lindgren Kymenlaakson liitosta, ympäristö- ja lautupäällikkö Heini Kukkonen Stora Enso Oyj:stä, toimitusjohtaja Markku Suutari Carbons Finland Oy:stä, kehittämispäällikkö Mika Penttilä Kouvola Innovation Oy:stä, lehtori Sirpa Laakso Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta, laitosvastaava Juha Solio Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta ja lehtori Anne Gango Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta.

Tekijät kiittävät hankkeen rahoittajia kehittämistyön mahdollistamisesta sekä hankkeen ohjausryhmän jäseniä ja hankkeeseen osallistuneita yrityksiä erittäin aktiivisesta osallistumisesta hanketyöhön.

Tekijät

Kotkassa 18.11.2020

KIRJOITTAJAT

ANNE GANGO, DI, lehtori, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Rakennus- ja energiatekniikan koulutusyksikkö

SATU HUURTOMAA, FM, tutkimusinsinööri

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

TOMI HÖÖK, DI, TKI-asiantuntija

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

EVELIINA KUOKKANEN, DI, projektipäällikkö

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

SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
KIRJOITTAJAT	4
HITU-HANKE	6
Satu Huurtomaa	
MIKRONISOINTI	8
Tomi Höök	
BIOLENTOTUHKAN HIENONNUSAJOJA JA HIENONNETUN TUHKAN PARTIKKELIKOKOTULOKSIA.....	20
Eveliina Kuokkanen	
BIOHIILEN NYKYISET JA TULEVAISUUDEN POTENTIAALISET KÄYTTÖKOHTEET	26
Satu Huurtomaa	
MAALIKOKEET	39
Satu Huurtomaa & Tomi Höök	
ETÄSEMINAARI: MATERIAALIKIERRON HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET KIERTOTALOUDESSA 17.–18.11.2020	52
Satu Huurtomaa & Eveliina Kuokkanen	

HITU-HANKE

Satu Huurtomaa

HITU-hankkeessa tutkittiin mikronisoidun eli hienonnetun biohiilen ja bioperäisen lentotuhkan hyödyntämismahdollisuuksia erilaisissa sovellutuksissa. Hankkeen aikana mikronisoitiin eri toimijoilta saatuja biolentotuhkia ja biohiiliä, ja samalla Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun BioSammon mikronisointilaitteistoa kehitettiin tutkimuskäyttöön paremmin sopivaksi. Osana hanketta oli biohiilen ja biolentotuhkan nykyisten käyttökohteiden ja tulevaisuuden potentiaalisten sovellutusten kartoitus sekä lainsäädäntöselvitykset molempien materiaalien osalta. Hankkeeseen kuului myös käytännön kokeita – mikronisoitua biolentotuhkaa kokeiltiin betonituotteissa, ja mikronisoidun biohiilen värjäysominaisuutta testattiin maaleissa. Myös Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun opiskelijat hyötyivät hankkeesta opinnäytetöiden ja harjoittelun muodossa.

HITU-hanke vastasi Kymenlaakson älykkään erikoistumisen RIS3-strategiaan, jossa biotalous on yksi erikoistumisen kärkialoista. Hankkeessa edistettiin paikallista tietoutta teollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisestä ja materiaalien mikronisoinnista sekä kehitettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun BioSammon biotalous-toimintaympäristöä.

Sekä biohiilellä että biolentotuhkalla nähdään paljon potentiaalisia hyödyntämiskohteita. Hankkeen aikana tehdyissä käyttökohteiden kartoituksissa ilmeni, kuinka monipuolisista materiaaleista on kyse. Biolentotuhkaa voidaan käyttää parantamaan maan geoteknisiä ominaisuuksia. Biolentotuhka voisi soveltua muun muassa rakennusteollisuudessa korvaamaan osittain sementtiä. Tällä hetkellä betonistandardi ei kuitenkaan hyväksy biolentotuhkan käyttöä betonissa, mutta biolentotuhkaa voisi mahdollisesti käyttää kohteissa, joita betonistandardit eivät velvoita. Ominaisuuksiensa puolesta biolentotuhka voisi sopia raaka-aineeksi myös esimerkiksi lasikeramiikkaan ja maaliteollisuuteen. Biohiilestä on toivottu korvaavaa materiaalia fossiiliselle hiilelle, mutta biohiilellä on valtava potentiaali myös haitta-aineiden sitomisessa sekä maasta, ilmasta että vedestä. Ennen kuin biohiilen kaupallistaminen pääsee kunnolla vauhtiin, tarvitaan vielä enemmän tutkimusta, jotta parhaat raaka-aineet ja valmistusmenetelmät saadaan optimoitua kutakin sovellutuskohdetta ajatellen. Molempien materiaalien parissa riittää vielä töitä ja tutkimista, mutta tulevaisuus näiden osalta vaikuttaa lupaavalta.

Kummankin materiaalin käytöllä on myös ilmaston lämpenemistä ehkäisevä vaikutus – biohiilen käytöllä saadaan sidottua hiiltä siitä valmistettuihin tuotteisiin, ja biolentotuhkan käyttö esimerkiksi korvaamaan osittain sementtiä betonissa vähentää sementin valmistuksen tarvetta, jolloin sementtiteollisuuden hiilidioksidipäästöt laskevat.

Hankkeen aikana julkaistiin sekä biohiiltä että biolentotuhkaa käsitteleviä artikkeleja muun muassa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan vuosijulkaisuissa sekä verkkojulkaisu Readissa. Julkaisuihin pääsee tutustumaan täältä:

- HITU – Hienonnetun partikkelin ominaisuuksia ja merkitys eri sovelluksille. Metsä, ympäristö ja energia: Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä – Vuosijulkaisu 2018. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-130-9>
- Biolentotuhkan hienonnuskokeet bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskuksessa BioSammossa. Metsä, ympäristö ja energia: Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä – Vuosijulkaisu 2019. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-226-9>
- Biohiili voi tehdä tulevaisuuden kaupungeista hiilinieluja. Read 3/20. Saatavissa: <https://read.xamk.fi/2020/metsa-ymparisto-ja-energia/biohiili-voi-tehda-tulevaisuuden-kaupungeista-hiilinieluja/>.

MIKRONISOINTI

Tomi Höök

JOHDANTO

Hankkeessa mikronisoitiin voimalaitoksilta peräisin olevaa biolentotuhkaa sekä biohiilimateriaaleja. Lisäksi selvitettiin mikronisointilaitteiston kehittämismahdollisuuksia ja mahdollisia käyttösovelluksia hienonnetulle biolentotuhkalle sekä biohiilelle. Yleisesti mikronisointiprosessin tavoitteena on pienentää materiaalipartikkelien kokoa muun muassa leikkaamalla, jyrsimällä, murskaamalla tai jauhamalla siten, että partikkelien halkaisijan pituus saavuttaa mikrometrikokoluokan.

Tutkimuksessa keskityttiin kahteen mikronisointitekologiaan, joista ensimmäinen oli 2-faasivirtaukseen perustuva mikronisointitekniiikka, josta käytettiin myös nimitystä vastasuihkujauhaminen. Toinen tarkasteltu mikronisointitekologia oli suihkujauhatuksen kiertoputki-suihkumyllysovellus. Kiertoputki-suihkumyllyn englanninkielinen kutsumanimi on spiral jet mill tai loop jet mill, minkä johdosta laitteesta käytettiin toisinaan suomen kielessäkin vaihtelevia nimityksiä, kuten loop tai luuppimylly.

Hankkeessa mikronisointiin käytettiin vastasuihku- ja loop-jauhinteknologiaa. Työssä käytetty vastasuihkujauhin on suomalaisen Mikropulva Oy:n kehittämä laite. Loop-laite on Xamkin omaa kehitystyötä oleva kiertoputki-suihkumylly.

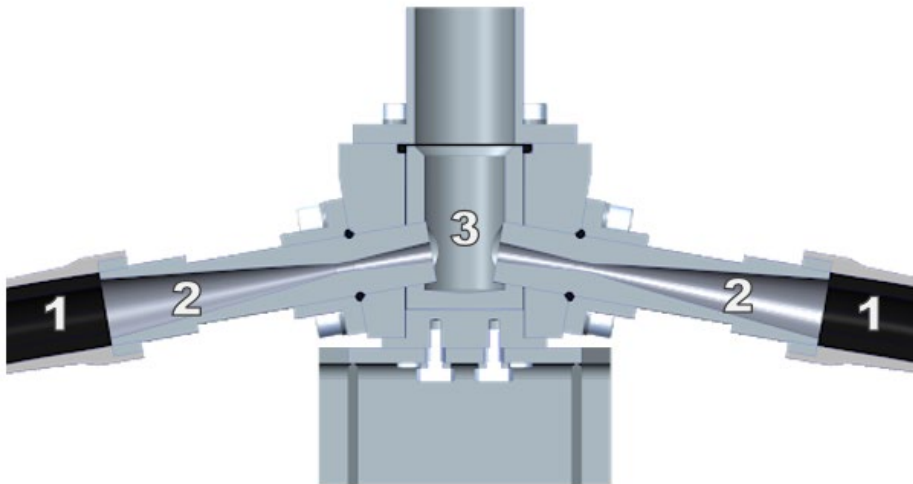
Materiaalien hienontamisessa saadaan aikaan hienonnettavan kappaleen muodonmuutos sekä partikkelien lukumäärän lisääntyminen ja koon pieneneminen. Mineraaliraaka-ainesten hienonnuksessa perustyövaiheet ovat murskaus ja jauhatus. Murskaus on kappaleen karkeaa hienontamista suurista, yli metrin mittaisista, kappaleista alle 10 millimetrin kokoluokkaan. Jauhatuksessa kappaletta hienonnetaan edelleen 10 millimetrin kokoluokasta erittäin pieneen, alle 1 mikrometrin kokoon. (Pihkala 2007, 17; Pihkala 2011, 71.)

KAKSIFAASIVIRTAUSTEKNOLOGIAAN PERUSTUVA JAUHIN

Micropulva Oy:n kehittämässä jauhimessa yritys kertoo tehokkaan, vastasuihkuun perustuvan mikronisoinnin perustana olevan 2-faasivirtausteknologian eli kineettisen energian tehokkaan hyödyntämisen (Micropulva s.a.). Jauhimen toimintaperiaate esitellään kuvassa 1.

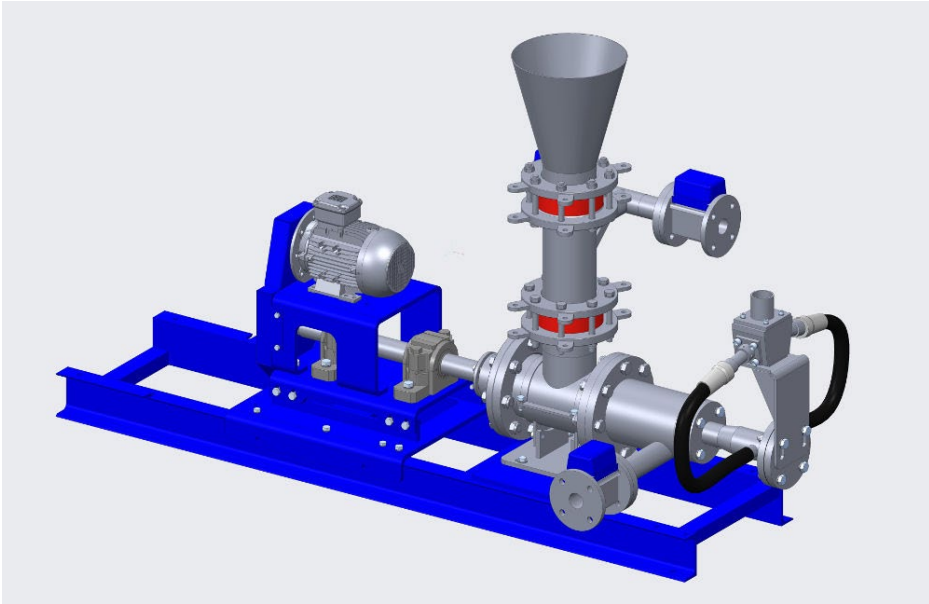
TOIMINTAPERIAATE

1. Paineilman energia tuottaa virtauksen, johon syötetty materiaali tuodaan kiihdytysuuttimille (1).
2. Partikkelien liike-energia suurenee, kun virtausnopeutta kasvatetaan kiihdytysuuttimissa (2).
3. Jauhautuminen tapahtuu autogeenisesti partikkelien yhteentörmäyksellä jauhinkammiossa (3).



Kuva 1. 2-faasivirtausteknologia vastasuihkujauhimesta. (Micropulva s.a.)

Kiihdytysuuttimien ja jauhinkammion käsittävän yksikön lisäksi laitteistoon kuuluvat syötöt sekä ajokaasulle eli paineilmalle että jauhettavalle materiaalille. Materiaalin annostelua paineilman kuljetettavaksi hallitaan syöttöruuvilla. Syöttöruuvia käytetään sähkömoottorilla. Syöttöruuville jauhettava materiaali annostellaan supillon kautta, joka on erotettu paineilman paineistamasta syöttöruuvista sulkusyöttimellä. Sulkusyötin käsittää kaksi paineilmakäyttöistä venttiiliä, joita ohjataan automaation avulla. Jauhinlaitteiston rakenteen peruskokoonpanoon kuuluvat osatoiminnot näkyvät kuvassa 2.



Kuva 2. 2-faasivirtausteknologiaan perustuva vastasuihkujauhinallaitteisto. (Micropulva s.a.)

Micropulvan 2-faasiteknoologiaan perustuvan teknologian erityisominaisuudeksi valmistaja ilmoittaa mahdollisuuden käsitellä vaikeasti hyödynnettäviä materiaaleja (Micropulva s.a.).

KIERTOPUTKI-SUIHKUMYLLY, TS. LOOP-JAUHIN

Ensimmäinen patenti loop-tyyppiselle jauhimelle eli kiertoputki-suihkumylylle myönnettiin Yhdysvalloissa vuonna 1940 (Kidwell & Stephanoff 1940).

HITU-hankkeen toimenpiteenä kehitettiin Xamkin omaa tuotantoa oleva kiertoputki-suihkumylyn tapainen laite, jota käytettiin muun muassa biohiilen jauhamiseen.

LOOPIN ELI KIERTOPUTKI-SUIHKUMYLLYN KEHITYKSEN JUURET

Alkuperäisen loop-tyyppisen jauhimen keksintö perustuu pääosin Nicholas N. K. Stephanoffin ja Cleo Haroldin innovaatioihin ja patenteihin vuosilta 1940, 1942 ja 1951 (Stephanoff 1951). Patenteihin perustuvat ensimmäiset loop-sovellukset kehitettiin kiinteän polttoaineen jauhamistarkoitusta varten. Sitten loop-jauhinta on varioitu soveltuvaksi niin pulverimaisen, hyvin hienojakoisen kuin myös suurempaa raekokoa olevan jauhatuksen tuottamiseen. Loop-jauhinta on sovellettu erityisin rakenteellisin ratkaisuin räjähdysherkkien materiaalien hienontamiseen, ja loop-jauhimen käyttötarkoituksia ovat myös mineraalien ja pigmenttien jauhaminen sekä lääkeaineiden hienontaminen (Stephanoff 1951; Perry & Green 2007).



Kuva 3. Varhainen versio loop-tyyppisestä jauhimesta. (Fluid Energy 2020.)

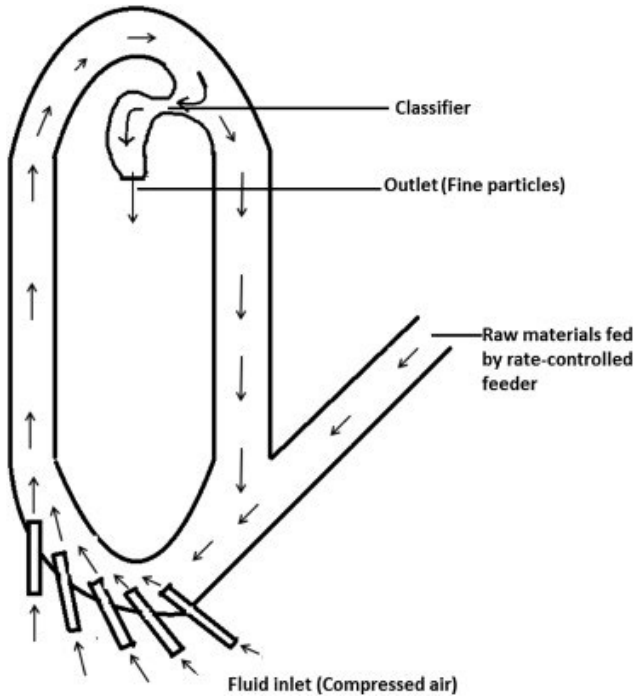
Yhdysvaltalainen, vuonna 1955 perustettu yritys Fluid Energy Processing and Equipment Company on hyödyntänyt loop-jauhimen patenteja varhain ja kehittänyt laitteesta versioita eri tarkoituksia varten. Kuvassa 3 esitetään Fluid Energy -yrityksen Model 0808 Jet-O-Mixer, jonka tavanomainen käyttötarkoitus on hiilimustan, talkin, kaoliinin ja kalsiumkarbonaatin jauhaminen. Hiilimustan ja mineraalien hienontamisessa ajoaineena käytetään tavallisesti tulistettua höyryä. (Fluid Energy 2020.)

TOIMINTAPERIAATE

”Suihkumyllyksi sanotaan laitetta, jossa jauhautuminen tapahtuu nopeasti liikkuvan kaasuvirran avulla. Kaasuvirta on yleensä ilmaa tai höyryä. Jauhettava aine on sekoitettu kaasuseokseen ja jauhatus perustuu partikkelien jauhautumiseen hiertymällä toisiaan vasten”, kuvailee Melanen (2013) kandidaatintyössään.

Kiertoputki-suihkumyllyn kaaviokuva esitetään kuvassa 4. Laitteen perusrakenne on pystyyn asetettu, ehyen kehän muodostava putki, jonka halkaisija on tavallisesti noin 25–200 mm. Kaasuvirtaus syötetään kiertoputken sen alaosaan tehdyistä putkiyhteistä. Jauhettava materiaali syötetään kiertoputken voimakkaaseen virtaukseen erillisen syöttöputken kautta. Virtauksen voima saa jauhettavan materiaalin liikkumaan kiertoputkessa eli myllyssä suurella nopeudella. Riittävän hienoksi jauhautunut materiaali poistetaan kierrosta myllyn yläosassa olevan luokittimen (Classifier) kautta. Tavanomaisesti jauhettava materiaali syötetään suihkumyllyihin kiertoputken alaosaan (Raw materials fed by rate-controlled feeder),

jossa kaasuvirtauksen tarkasti asennetut suuttimet sijaitsevat ja aikaansaavat jauhautumisen. Kaasuvirtauksen suuttimia (Fluid inlet) asennetaan kiertoputkeen yleensä vähintään kolme kappaletta. Jauhautumisen perusidea tässä laitteessa on partikkelien jauhautuminen erityisesti niissä kohdissa, joissa kaasusuihkut risteävät ja aikaansaavat kuljettamiensa partikkelien törmäämisen ja



Kuva 4. Yksinkertaistettu esitys kiertoputki-suihkumyllyn toiminnasta (Loh ym. 2015, 264).

siitä seuraavan hienontumisen. Ilma kuljettaa jauhattavaa ainesta kiertoputkessa virtausnuolien suuntaisesti luokittimelle, josta hieno aines poistuu kierrosta kiertoputkesta poistuvan virtauksen mukana ulos (Outlet, fine particles) ja kulkeutuu edelleen seuraavalle laitteelle eli syklonille, jossa pienet partikkelit erotetaan kaasuvirrasta tuotteeksi. Karkea materiaali pysyy kierrossa ja etenee putken seinämiä myöten takaisin laitteen alaosan hienonnuvaiheeseen. Huomionarvoista on, että ilmanpaineen kasvattaminen tehostaa jauhatustapahtumaa siten, että prosessin kokonaisenergian kulutus pienenee työpaineen kasvaessa. Prosessissa tarvittava ilmanpaine on 7–12 baaria.

Suihkumyllyjen hyviä puolia ovat niiden soveltuvuus kuivajauhatukseen ja sen tarkka tuotekokojakauma. Toisaalta suihkumyllysovelluksien energiankulutus on verrattain korkea, jopa 5–10 kertaluokkaa korkeampi iskemällä hienontaviin myllyihin verrattuna. (Lukkarinen 1984; Melanen 2013.)

MIKRONISOINTI BIOSAMPO-TUTKIMUSKESKUKSESSÄ

BioSampo on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) tutkimusyksikkö, jonne on sijoitettu Xamkin erottelutekniikan keskus. Yksikön laitekantaan kuuluvat kaksi kappaletta 2-faasiteknologiaa edustavaa vastasuihkujauhinta (FP1 ja FP2) ja loop-tyyppinen jauhin. Lisäksi materiaalin esilajittelua ja luokittelua varten on hankittu täryseula.

MICROPULVAN FP1-VASTASUIHKUJAUHIN

Kahdesta BioSampo-tutkimusyksikön vastasuihkujauhimesta FP1 on kapasiteetiltaan pienempi, yhdellä jauhimella varustettu laiteversio (kuva 5). Laitteiston valmistaja ja kehittäjä on Mikropulva Ltd Oy, joka on patentoinut laitteen jauhimessa käytettyjä ratkaisuja.



Kuva 5. Micropulvan toimittama FP1, 2-faasiteknologiaan perustuva jauhinlaitteisto, BioSampo-tutkimuskeskuksessa. (Kuva Tomi Höök.)

MICROPULVAN FP3-VASTASUIHKUJAUHIN

Mikropulvan FP3 on suunniteltu FP1-laitteistoa tehokkaammaksi jauhimeksi. FP3-laitteistoon kuuluu kaksi kappaletta 2-faasitekologiaa edustavaa jauhinta (kuva 6). FP-laitteistot soveltuvat muun muassa mineraalien ja tuhkien jauhamiseen.



Kuva 6. Micropulvan toimittama FP3, 2-faasitekologiaan perustuva jauhinlineiteisto, BioSampo-tutkimuskeskuksessa. (Kuva Tomi Höök.)

XAMKIN OMAVALMISTE: LUUPPI-KIERTOPUTKI-SUIHKUMYLLY

HITU-hankkeessa on valmistettu Xamkin omaa kehitystyötä oleva kiertoputki-suihkumyllytyyppinen jauhin (kuvat 7 ja 8). Laitetta ajetaan panostoisesti. Tälle laitteelle ei ole suoritettu kapasiteettiajoja. Sen on kuitenkin todettu olevan suorituskykyinen ja tarkoitukseensa käyttökelpoinen. Laitetta käytettiin menestyksekkäästi hankkeen biohiilen soveltaviin testeihin kuuluvissa maalikoikeissa tarvittavan biohiilipigmentin jauhamiseen. Tämän mikronisoidun pigmentin keskiraekoko oli 16,5 mikronia.



Kuva 7. Xamkin rakentaman loop-jauhimen ensimmäinen versio, jolla todettiin konseptin jatkokehityskelpoisuus. (Kuva Tomi Höök.)



Kuva 8. Xamkin kehittämän loop-jauhimen toinen versio, jossa laitteistoon on lisätty jauhettavan materiaalin syöttösiilo ja -ruuvi. (Kuva Tomi Höök.)

TÄRYSEULA, KAPOTEK

Täryseulaa (kuva 9) käytetään jauhattavan materiaalin esilajitteluun ja luokitteluun ennen hienontamista. Jauhatuksen kannalta on edullista, että syötettävä materiaali on jokseenkin tasakokoista. Syötettävän aineksen seassa jauhatukseen kulkeutuneet suuret partikkelit voivat aiheuttaa jauhimien tukoksen. Ajamalla jauhattava aines ennen käsittelyä täryseulan läpi saadaan ehkäistyä jauhimien tukkeutumista, koska suuret partikkelit voidaan tällä laitteella seuloa pois jauhimien syötöstä. Toisaalta jauhattavan aineksen esiseulonnalla voidaan seuloa erilleen jo valmiiksi riittävän pienet partikkelit, jolloin ensinnäkin jauhattavan aineksen määrä pienenee ja toisaalta ehkäistään ylijauhautumista. Täryseulan on valmistanut ja toimittanut Kapotek Oy.



Kuva 9. Täryseulalla voidaan seuloa epäpuhtaudet pois jauhattavan materiaalin joukosta ennen mikronisointia. (Kuva Tomi Höök.)

MIKRONISOIDUT MATERIAALIT

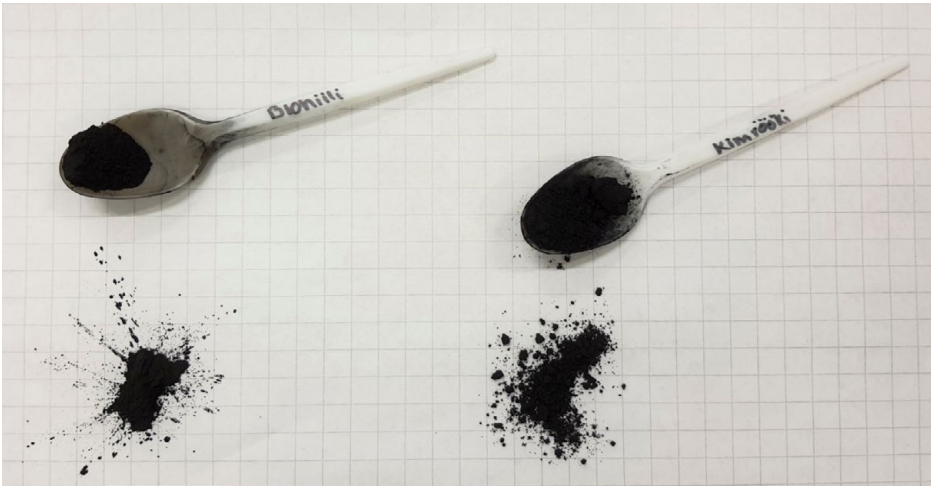
BioSampo-tutkimuskeskuksen laitteistolla on mikronisoitu eli hienonnettu erilaisia lentotuhkia ja biohiiltä. Lukuisilla ajokerroilla on pyritty toistamaan jauhatustuloksia, hakemaan suotuisia ajoparametreja näille materiaaleille, säätämään jauhatuksen kokonaisprosessin toimintaa ja optimoimaan laitteiston käyttötapaa. Hienonnettuja materiaaleja on hyödynnetty tuhkien osalta betonikokeissa ja hiilien osalta maalikokeissa. Kuvassa 10 esitetään esimerkki jauhamattomasta ja jauhetusta lentotuhkasta, joista jälkimmäisen pinnalla näkyy toisiinsa liittyneiden partikkelien muodostamia suurempia rakeita. Luvussa ”Biolentotuhkan hienonnusajoja ja hienonnetun tuhkan partikkelikokotuloksia” esitellään tarkemmin hienonnusajojen tuloksia ja niiden kuvia.



Kuva 10. Vasemmanpuoleisessa astiassa on käsittelemätöntä lentotuhkaa, kun taas oikeanpuoleisessa astiassa nähdään sama materiaali neljä kertaa mikronisoituna. (Kuva Evelliina Kuokkanen.)

Partikkelikoon määrittäminen aistinvaraisesti on epätarkkaa, usein ei edes mahdollista. Siksi tutkimuksessa käytettiin partikkelikokoanalyysointia eri jauhatusten tarkan partikkelikokojakauman määrittämiseksi. Kuvassa 11 esitetään kaksi näytettä, joista kuvan perusteella vasemmanpuoleinen (biohiili) voi näyttää hienojakoisemmalta kuin oikeanpuoleinen näyte (kimröökki), mutta todellisuudessa oikeanpuoleinen näyte on selvästi hienojakoisempi. Ku-

van 11 tapauksessa kimröökillä on ominaisuus agglomeroitua enemmän kuin biohiilellä. Kuitenkin sekoitettaessa maalin joukkoon kimrööki sekoittuu maalipastaan tasaisesti eikä paakkuja enää esiinny.



Kuva 11. Tutkimuksessa jauhetun ja kaupallisen pigmentin vertailu. Vasemmalla loop-jauhimella jauhettua biohiiltä ja oikealla maalaustarvikeliikkeestä hankittua kimröökiä. Silmämääräisen tarkastelun perusteella saattoi arvioida biohiilinäytteen olevan hienojakoisempaa kuin kimrööki, mutta partikkelikokoanalysoitsijan analyysi paljasti tilanteen olevan toisenlainen – biohiilen partikkelikoko vasemmalla on noin 30 kertaa karkeajakoisempi kuin verrokki kimröökin partikkelikoko. (Kuva Tomi Höök.)

LÄHTEET

Fluid Energy. 2020. Loop Mill Case Studies. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fluidenergype.com/loop-mill-case-studies/> [viitattu 6.6.2020].

Kidwell, L. H. & Stephanoff, N. N. K. 1940. Apparatus for grinding. U.S. Pat. 2219011A.

Loh, Z. H., Samanta, A. K. & Heng, P. W. S. 2015. Overview of milling techniques for improving the solubility of poorly water-soluble drugs. Asian Journal of Pharmaceutical Sciences 10, 255–274.

Lukkarinen, T. 1984. Mineraalitekniikka. Osa 1: Mineraalien hienonnus. Helsinki: Insinööritieto.

Melanen, T. 2013. Helmimyllyn toimintaparametrien vaikutus jauhautuvuuteen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Kandidaatintyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/93841/Kandidaatinty%C3%B6_Melanen.pdf?sequence=2 [viitattu 7.12.2020].

Micropulva. s.a. Teknologia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.micropulva.fi/teknologia.html> [viitattu 11.6.2020].

Perry, R. H. & Green, D. W. 2007. Chemical engineering handbook. 8. painos. New York: McGraw Hill Professional.

Pihkala, J. 2007. Prosessitekniikan yksikköprosessit. 2. painos. Helsinki: Opetushallitus.

Pihkala, J. 2011. Prosessitekniikka. Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Helsinki: Opetushallitus.

Stephanoff, N. 1951. Method for treating fuel. U.S. Pat. 2550390.

BIOLENTOTUHKAN HIENONNUS-AJOJA JA HIENONNETUN TUHKAN PARTIKKELIKOKOTULOKSIA

Eveliina Kuokkanen

JOHDANTO

Biolentotuhkan mikronisointi eli hienontaminen mikroniluokkaan oli yksi HITU-hankkeen toimenpiteistä. Eri lähteistä saatua biolentotuhkaa mikronisoitiin pääasiassa vastasuihkujauhintekniikkaan perustuvalla mikronisointilaitteella BioSampo-tutkimuskeskuksessa. Eräistä mikronisointiajoista on hankkeen aikana kirjoitettu artikkeli ”Biolentotuhkan hienonnuskokeet bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskuksessa BioSammossa” Metsä, ympäristö ja energia: Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä -vuosijulkaisuun 2019 (saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-226-9>). Tässä artikkelissa esitellään kaksi erilaista hienonnusajokertaa, joista ensimmäisessä sama tuhkaerä mikronisoitiin prosessin läpi yhteensä neljä kertaa (M-ajot). Toisessa ajossa kertaalleen mikronisoidusta tuhkasta luokiteltiin hienotuote erilleen ja ajon karkean tuotteen puolelle luokittunut tuhka ajettiin uudestaan prosessin läpi (K-ajot). Tätä toistettiin yhteensä kahdeksan kertaa.

M- ja K-ajojen aikana otettiin talteen tuhkanäytteitä, joita myöhemmin analysoitiin BioSammon partikkelikokoanalyysaattorilla. Saatuja analyysituloksia käytettiin muun muassa tulkittaessa hienonnusajojen onnistumista. Osa analysoiduista tuloksista on esitelty tässä artikkelissa.

HIENONNUSAJOJEN KUVAUS

Pääosin puuperäisen polttoaineen ja turpeen poltosta muodostunutta biolentotuhkaa käytettiin molemmissa mikronisointiajoissa lähtömateriaalina. Tuhka oli väritykseltään vaaleanharmaata, ja sen joukossa oli muutaman millimetrin pituisia, pitkulaisia, poltossa palamattomiksi jääneitä hiilipartikkeleita (ks. kuva 1). Hienonnusprosessin jälkeisessä tuhkassa hiilipartikkeleita ei voinut enää silmin erottaa.



Kuva 1. Hienonnusajoissa käytetty biolentotuhka. Tuhkan joukossa näkyy mustia, pitkänomaisia hiilipartikkeleita. (Kuva Eveliina Kuokkanen.)

Hienonnusajot toteutettiin vastasuihkujauhinteekniikkaan perustuvalla laitteella, johon kuuluu jauhatuksen lisäksi käsiteltävän materiaalin luokitus kahteen osaan: hienoon ja karkeaan tuotteeseen. Hienonnuslaitetta on mahdollista ajaa myös ilman luokitusvaihetta. Näin materiaali kulkee syötöstä vastasuihkujauhimelle ja sieltä tuotesäiliöön. Laitteen säädettäviä osia ovat esimerkiksi syöttöruuvi ja luokitinpyörä, joiden nopeuksia voidaan säätää tiettyjen rajojen sisällä. Säädöt pyritään yhden ajon sisällä pitämään mahdollisimman samoina, jotta voidaan arvioida niiden vaikutusta lopputulokseen. Näin mahdollistetaan myös prosessin hienosäätö. Pelkässä mikronisointiajossa säädettäviä arvoja on vähemmän, mikä tekee prosessista yksinkertaisemman verrattuna sekä mikronisoinnin että luokituksen sisältävään ajoon. M- ja K-ajot olivat luonteiltaan erilaiset. Merkittävin ero oli luokituksen jääminen pois M-ajoista. Säätöjä ei näin ollen pyritty vertaamaan ajojen kesken.

Pelkissä mikronisointiajoissa (M-ajot) luokitinosuus ohitettiin ja ajoissa käsitelty materiaali muodosti yhden lopputuotteen. Lopputuote ajettiin uudestaan vastasuihkujauhimen läpi, ja tätä prosessia toistettiin yhteensä neljä kertaa. Hienonnusajon tarkoituksena oli tarkastella biolentotuhkan hienontumista valituilla säädöillä ja hienontamiskertojen vaikutusta materiaalin partikkelikokoon.

K-ajoissa hienonnusajot käsittivät sekä mikronisoinnin että luokituksen hienoon ja karkeaan jakeeseen. Kertaalleen vastasuihkujauhimen läpi mennyt ja hienotuotteen puolelle päätynyt tuhka otettiin talteen, mutta karkeatuote käsiteltiin uudelleen. Näin saatiin jälleen hieno- ja karkeatuotteet, joista hienotuote otettiin talteen ja karkea ajettiin uudelleen. Tätä sykliä toistettiin yhteensä kahdeksan kertaa. K-ajon tarkoituksena oli luokitella hienotuote pois ja ajaa prosessin läpi teoriassa ainoastaan se osa tuhkasta, joka tarvitsi hienontamista.

PARTIKKELIKOKOTULOKSET

K- ja M-ajojen tuhkanäytteitä analysoitiin BioSammon partikkelikokoanalyysaattorilla Microtrac FlowSyncillä syksyllä 2020. Laserdiffraktioon perustuvalla menetelmällä saaduista analyysituloksista esitetään Dv(10)-, keskipartikkelikoko Dv(50)- ja Dv(90)-tulokset, jotka ovat tilavuuspainotteisia halkaisijoita. Esimerkiksi keskipartikkelikoko Dv(50) 44,2 µm tarkoittaa, että puolet analysoiduista partikkeleista ovat esitettyä kokoa pienempiä ja puolet isompia. Jokainen näyte analysoitiin veteen sekoitettuna kolme kertaa, ja tulokseksi saatiin näiden mittauskertojen keskiarvo. Mikäli kolme mittausta olivat keskenään poikkeavia, aloitettiin partikkelikokoanalyysi alusta lisäämällä puhtaaseen veteen uusi tuhkanäyte ja analysoimalla se. Jokainen näyte käsiteltiin ennen mittausta ultraäänellä agglomeraattien rikkomiseksi kahden minuutin ajan. Näytteen virtausnopeus oli säädetty 55 prosenttiin, ja tuhkalle käytetty taitekerroin oli 1,55. Analyysikertojen välissä oli kolme välihuuhtelua, joilla puhdistettiin laitteen tuhka-vesiseoksen kanssa kosketuksissa olleet osat. Seuraavaksi esitellään muutamia analyysituloksia. Ajojen aikana otettujen näytteiden partikkelikokoanalyysien tuloksia verrattiin lähtömateriaalin partikkelikokoanalyysitulokseen.

M-AJOJEN PARTIKKELIKOKOTULOKSIA

M-ajojen aikana otetuista näytteistä analysoitiin kahteen kertaan hienonnettu tuhka M2, kolmeen kertaan hienonnettu tuhka M3 ja neljään kertaan hienonnettu tuhka M4. Dv(10)-, keskipartikkelikoko Dv(50)- ja Dv(90)-tulokset on esitetty taulukossa 1. Tulosten perusteella näyttää siltä, että keskipartikkelikoko on pienentynyt mikronisointikertojen lisääntyessä. Dv(10)- ja Dv(90)-tulokset ovat pienentyneet kolmanteen mikronisointikertaan saakka. Tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että neljännellä mikronisointikerralla tuhka ei enää hienontunut. Pienet erot M3- ja M4-näytteiden tulosten välillä voivat selittyä partikkelikokoanalyysin ja näytteenoton mittausepävarmuudella.

Taulukko 1. Lähtömateriaalin, M2-, M3- ja M4-näytteiden Dv(10)-, Dv(50)- ja Dv(90)-tulokset.

	Lähtömateriaali (µm)	M2 (µm)	M3 (µm)	M4 (µm)
Dv(10)	9,8	2,4	1,5	1,5
Dv(50)	44,2	13,9	7,9	7,2
Dv(90)	98,4	67,2	44,0	45,8

Lähtömateriaali, M1- ja M4-näytteet analysoitiin toisen toimijan puolesta vastaavalla analysaattorilla alkuvuodesta 2020. Toimijan käyttämät mittausten menetelmät vastasivat BioSamossa käytettyjä menetelmiä monelta osin, esimerkiksi tuhkanäytteet analysoitiin vedessä ja niitä käsiteltiin ultraäänessä kahden minuutin ajan ennen varsinaista analyysia. Menetelmät erosivat toisistaan kuitenkin siten, että alkuvuoden 2020 analyyseissa oli käytetty pintajännitystä vähentävää ainetta eli surfaktanttia analyyseissa käytettävän veden joukossa. Vastaavalla tavalla ei toimittu BioSamossa. Saadut tulokset on esitetty taulukossa 2.

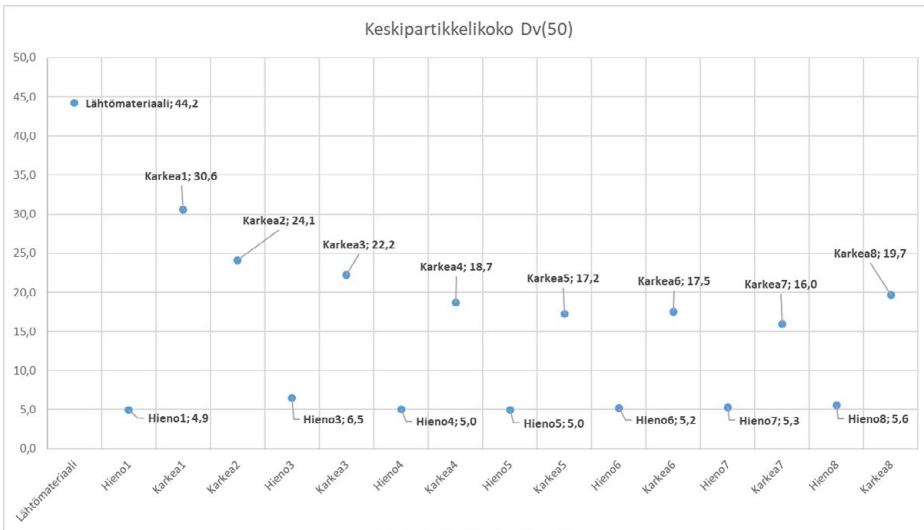
Taulukko 2. Lähtömateriaalin, M1- ja M4-näytteiden Dv(10)-, Dv(50)- ja Dv(90)-tulokset toisen toimijan analyysoimina.

	Lähtömateriaali (µm)	M1 (µm)	M4 (µm)
Dv(10)	9,6	2,8	1,1
Dv(50)	49,5	16,1	6,3
Dv(90)	143,0	61,9	37,9

Lähtömateriaalien ja M4-näytteiden tuloksia taulukoista 1 ja 2 vertailtaessa voidaan havaita, että tulokset ovat samaa suuruusluokkaa. Tulosten kesken suurin ero on lähtömateriaalien Dv(90)-tuloksissa. Lähtömateriaali on koostumukseltaan hienonnettua materiaalia heterogeenisempää, sillä lähtömateriaalin tuhkan joukossa oli myös pitkänomaisia hiili-partikkeleita. Tämä on voinut vaikuttaa myös Dv(90)-tuloksiin. Taulukon 2 esittämistä keskipartikkelikokotuloksista voidaan myös sanoa, että materiaalin partikkelikoko on pienentynyt hienonnusajomäärien kasvaessa.

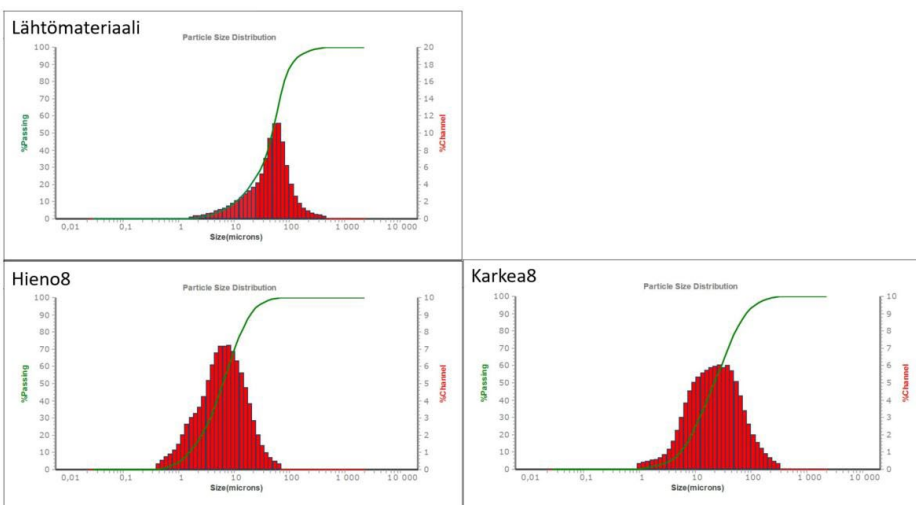
K-AJOJEN KESKIPARTIKKELIKOKOTULOKSIA, DV(50)

K-ajoista otettiin näyte jokaisesta hienotuotepuolelle ajon aikana kertyneestä tuhkasta, ja vastaavalla tavalla toimittiin karkealle puolelle kertyneen tuhkan kanssa. Näytteistä analysoidut keskipartikkelikokotulokset on esitetty kuvassa 2. Esimerkiksi Hieno1 tarkoittaa ensimmäisen ajon hienotuotteesta otettua näytettä, Hieno2 toisen ajon hienotuotteesta otettua näytettä jne. Yksi näyte (Hieno2) hylättiin todennäköisesti virheellisen näytteenoton takia. Hienotuotteenäytteiden Hieno1 ja Hieno3–Hieno8 keskipartikkelikoko vaihteli välillä 4,9–6,5 µm ja vastaavasti karkeatuotteen Karkea1–Karkea8 välillä 16,0–30,6 µm. Tarkasteltaessa ainoastaan keskipartikkelikokotuloksia näyttäisi siltä, että etenkin hienotuotteen puolelle on mennyt suhteellisen samankokoista materiaalia ja että jonkinasteista kokoluokittelua on hienonnusajoissa tapahtunut.



Kuva 2. K-ajon näytteistä analysoituja Dv(50)-tuloksia.

Kuvassa 3 on esitetty lähtömateriaalin sekä Hieno8- ja Karkea8-näytteiden partikkelikokojakaumat. Lähtömateriaalin jakauma on 2–420 µm, Hieno8-näytteen 0,4–62 µm ja Karkea8-näytteen 1–296 µm. Esitetyt jakaumat ovat suhteellisen leveät, mikä tarkoittaa, että näytteissä on partikkeleita monessa eri kokoluokassa. On kuitenkin nähtävissä, että hienotuotteen Hieno8-näyte on painottunut pienempään kokoluokkaan verrattuna karkeatuotteen Karkea8-näytteen kokojakaumaan.



Kuva 3. Lähtömateriaalin sekä Hieno8- ja Karkea8-näytteiden partikkelikokojakaumat.

LOPUKSI

Saatujen partikkelikokoanalyysitulosten mukaan biolentotuhka hienontui alkuperäisestä partikkelikoosta, kun tuhkaa mikronisoitiin vastasuuhkujauhimella. M-ajon tuhkanäytteiden analyysitulosten perusteella näyttää siltä, että ajoissa käytetty tuhka hienontui kolmanteen mikronisointikertaan saakka. Esimerkiksi keskimääräinen partikkelikoko laski samalla tuhkalla koosta 44,2 µm kokoon 7,9 µm kolmen perättäisen jauhatuksen jälkeen. K-ajoissa saatiin suhteellisen tasaisia keskipartikkelikokotuloksia. Tämä mahdollisesti tarkoittaa sitä, että luokitus toimi ajon aikana jokseenkin vakaasti. Partikkelikojakaumat olivat kuitenkin leveitä, mihin etenkin hienotuotteen kohdalla todennäköisesti vaikuttivat valitut mikronisointiajon säätöarvot.

HITU-hankkeen aikana hienonnettua biolentotuhkaa tarkasteltiin kahdessa opinnäytetyössä, joissa muun muassa selvitettiin biolentotuhkaa sisältävien betonikoekappaleiden puristuslujuuksia KymiLabsin betonilaboratoriossa. Näiden lisäksi hienonnettua biolentotuhkaa käytettiin eräiden betonituotteiden tekoon betonilaboratoriossa. Kyseisiä betonituotteita, kukkaruukkuja ja ovipainoja, on sijoitettu ulkoympäristöön tarkoituksena muun muassa tuotteiden säätetaus. Alla olevassa kuvassa 4 on kaksi säkkeihin valettua kukkaruukkuja betonilaboratoriossa. 20 prosenttia sementistä on korvattu K-ajojen tuhalla, joka koostui hienotuotepuolelle kertyneistä tuhkaeristä (hienotuotteet Hieno1–Hieno8).



Kuva 4. Säkkeihin valettuja betonituotteita KymiLabsin betonilaboratoriossa. 20 prosenttia sementistä on korvattu K-ajojen tuhalla. (Kuva Anna Eskola.)

BIOHIILEN NYKYISET JA TULEVAISUUDEN POTENTIAALISET KÄYTTÖKOHTEET

Satu Huurtomaa

JOHDANTO

Biohiili muodostuu bioperäistä materiaalia pyrolysoidessa eli kuumennettaessa hapettomissa olosuhteissa. Pyrolysointilämpötila vaihtelee 300 ja 800 °C:n lämpötilan välillä, ja tekniikkana voi olla joko hidas tai nopea pyrolyysi. Biohiilen lisäksi prosessissa muodostuu kaasuja ja nesteitä (Jequirim & Limousy 2019, 1–5). Nopeasta pyrolyysistä ei saada biohiiltä yhtä paljon kuin hitaasta pyrolyysistä – nopea pyrolyysi tuottaa 15–30 massaprosenttia biohiiltä, hidas vastaavasti 35–50 (Ok ym. 2019, 7). BioSammossa pyrolysoitiin syksyllä 2019 panostyyppisessä laitteessa kuusilankun paloja 420 °C:ssa, ja prosessin biohiilisaanto oli noin 30 prosenttia.

Käytetty pyrolyysimenetelmä vaikuttaa paitsi biohiilen saantoon myös tuotetun biohiilen laatuun: hitaan pyrolyysin biohiilessä on yleisesti ottaen enemmän ravinteita sekä korkeampi kationinvaihtokapasiteetti, minkä ansiosta hitaan pyrolyysin biohiili sopii hyvin maanparannukseen (Riikonen 2019). Myös biohiilen alkuperällä on väliä: se, mistä materiaalista biohiiltä valmistetaan, vaikuttaa tuotetun biohiilen laadun ohella biohiilen saantoon. Kansainvälisessä tutkimuksessa ligniiniperäisen biomassan on havaittu tuottavan pyrolyysissa paremmin biohiiltä kuin muusta lähteestä peräisin olevan biomassan, ja usein metsäteollisuuden jätteistä valmistetulla biohiilellä on korkeampi hiilipitoisuus kuin maataloudessa syntyvästä jätteestä tai eläinperäisestä jätteestä tuotetulla, mutta nämä biohiilet sisältävät vastaavasti vähemmän tyyppiä kuin esimerkiksi levästä peräisin oleva biohiili (Wang ym. 2020). Biohiilen tuotannossa tuleekin ottaa huomioon pyrolyysimenetelmä, biohiilen alkuperä sekä se, mihin tuotettua biohiiltä käytetään.

Koska biohiilen ominaisuuksiin vaikuttavat sen tekotapa ja lähtömateriaali, eri materiaaleista ja eri lämpötiloissa pyrolysoidut biohiilet ovat vaikutuksiltaan ja ominaisuuksiltaan toisistaan poikkeavaa materiaalia. Biohiilen vertaaminen toiseen biohiileen voi siis olla haastava tehtävä, ja tämä on hyvä huomioida biohiilestä puhuttaessa.

Biohiilen käyttö maanparannusaineena ei ole uusi keksintö. Amazonin alueen alkuperäisasukkaat käyttivät biohiiltä osana maaperän viljavuutta kasvattaessaan – biohiilellä muun

muassa poistettiin hajuja ja puhdistettiin ihmisten ja eläinten jätteitä, minkä jälkeen tämä orgaaninen aines käytettiin lannoitteena pelloilla (Schmidt 2008c). Maanparannuskäytön ohella biohiilellä on kuitenkin paljon muitakin hyödyllisiä käyttökohteita, ja potentiaalisia sovelluksia tutkitaan koko ajan.

Kiinteiden aineiden kykyä olla vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa kuvaa hyvin partikkelin ominaispinta-ala, joka kertoo aineen kokonaispinta-alasta painoyksikköä kohden – pienemmillä partikkeleilla ominaispinta-ala on siis korkeampi. Korkeampi ominaispinta-ala mahdollistaa suuremman reaktiopinta-alan maaperässä. Biohiilen huokoinen rakenne kasvattaa sen ominaispinta-alaa huomattavasti (Riikonen 2019), minkä ansiosta biohiili pystyy sitomaan vettä jopa viisinkertaisesti omaan painoonsa nähden (Schmidt 2008d). Veden ohella biohiili pystyy sitomaan itseensä paljon ravinteita, minkä ansiosta biohiili tarjoaa maaperän mikro-organismeille hyvät oltavat (Schmidt 2008c). Ravinteiden ohella biohiili sitoo itseensä myös haitta-aineita, minkä ansiosta biohiili vaikuttaa lupaavalta vesistöjen puhdistuksessa erilaisten haitallisten aineiden, kuten metallien (Kuoppamäki ym. 2019; Tomczyk ym. 2020), mikromuovien (Siipola ym. 2020) sekä öljyn (Kandanelli ym. 2018; AlAmeri ym. 2019), suhteen.

Yleisesti ottaen biohiilen haittapuolina teknisissä sovellutuksissa on pidetty suurta partikkelikokoa sekä epäpuhtautta (Jiang ym. 2020). Biohiilen mikronisointi tarjoaa keinon päästä puuttumaan haasteena koettuun biohiilen suureen partikkelikokoon: mikronisoinnilla partikkelikokoa saadaan pienemmäksi ja materiaalia tasalaatuisemmaksi. Tarpeeksi pieni partikkelikoko on biohiilen käytön edellytys tietyissä tuotteissa, kuten maaleissa. Kasvanut reaktiopinta-ala tarjoaa joissain sovelluksissa myös etuja, kuten betonin nopeampi kovettuminen (Gupta & Kua 2019).

Vaikka lainsäädännössä ei ole vielä erillisiä asetuksia biohiilen käytöstä, nykyistä, jo olemassa olevaa lainsäädäntöä sovelletaan biohiileen. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista (24/11) määrää raja-arvot tietyille haitta-aineille (As, Zn, Hg, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni), ja valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007) asettaa raja-arvoja haitta-aineille. Biohiilestä valmistetut lopputuotteet kuuluvat muiden markkinoille tuotavien tuotteiden lailla REACH- ja CLP-asetusten piiriin. Eri kansalliset ja kansainväliset biohiiliyhdistykset ovat laatineet omat suosituksensa (Meyer ym. 2017) käytettävän biohiilen vaatimuksista ja haitallisten aineiden maksimipitoisuuksista lainsäädäntöä tukemaan.

BIOHIILEN NYKYISET KÄYTTÖKOHTEET SUOMESSA

Suomen Biohiiliyhdistys (s.a.) päivittää karttaa biohiiltä valmistavista ja tuotteissaan biohiiltä käyttävistä yrityksistä Suomessa. Merkittävimmät tavat käyttää biohiiltä tällä hetkellä Suomessa liittyvät maaperän laatuun. Suomen Biohiiliyhdistyksen (s.a.) mukaan Suomessa

biohiiltä tuottavat tamperelainen Carbofex Oy, joka käyttää biohiilen raaka-aineena kuu-silastuja, sekä Hirvensalmella sijaitseva Noireco Oy. Esimerkiksi Noirecon valmistamat biohiilituotteet sopivat muun muassa viherrakentamiseen, maanparannukseen, kasvualus-toiksi, suodattamaan ei-toivottuja aineita vesistöistä, kuten raskasmetallit hulevesistä, sekä estämään maanviljelyksen ravinteita pääsemästä vesistöihin (Neuvonen 2018).

Muita biohiilen parissa toimivia yrityksiä ovat Carbons Finland Oy, Charcoal Finland Oy ja Biolan (Suomen Biohiiliyhdistys s.a.). Carbons Finland Oy myy erikokoisiin jakeisiin seulottua biohiiltä muun muassa vesien suodatukseen ja kasvualustaksi nurmikolle, puille ja pensaille (Carbons 2020). Charcoal Finland Oy puolestaan jalostaa koivupohjaista biohiiltä muun muassa maanparannukseen ja kompostointiin (Charcoal Finland s.a.). Biolan valmistaa biohiiltä sisältävää istutusmultaa, ja Biolanin istutusmulta valittiinkin vuoden 2018 puutarhatuotteeksi Suomessa (Biolan 2018; Suomen Biohiiliyhdistys s.a.).

BIOHIILI MAAPERÄSSÄ

Materiaalina biohiili on monipuolinen, ja ominaisuuksiensa puolesta se sopii käytettäväksi hyvinkin erilaisissa sovelluksissa. Hanketta varten tehdyssä, Lipsasen (2019) koostamassa kirjallisuuskatsauksessa hiilen sidonnan sekä maaperään ja vesistöihin liittyvien sovellusten lisäksi biohiilen hyödyntämiskohteiksi nostettiin esille väriaineet ja pigmentit, polttoaineet sekä rakennusmateriaalit. Yksi biohiileen liittyvistä tutkimuksen kohteista on sen potentiaali kivihiilipohjaisten materiaalien korvaajana.

Biohiilen käytön vaikutuksia maaperään on tutkittu paljon. Biohiili voi sekä sisältää kasveille tarpeellisia ravinteita että parantaa niiden pidättymistä maassa; yleisesti ottaen biohiilen lannoitusvaikutus on kuitenkin pieni, eivätkä biohiilen sisältämät ravinteet ole välttämättä kasveille käyttökelpoisessa muodossa, mutta biohiilen suhteellisen korkea kationinvaihtokapasiteetti tekee siitä ravinteita maaperässä hyvin pidättävän (Riikonen 2019). Yksi tapa lisätä biohiilen lannoitusvaikutusta on kompostoida biohiili orgaanisen materiaalin kanssa, jolloin biohiili sitoo itseensä ravinteita sekä nopeuttaa kompostointiprosessia (El-Naggar ym. 2019). Biohiilen laatu ja pyrolyysimenetelmä sekä tutkittavat viljelykasvit vaikuttavat siihen, kuinka hyödylliseksi biohiilen käyttö koetaan – biohiili ei hyödytä kaikkien kasvien kasvua yhtä paljon (Wang ym. 2020). Biohiilen käytöstä on havaittu olevan eniten hyötyä köyhtyneiden, alhaisen viljavuuden maaperissä (El-Naggar ym. 2019). Monesti biohiilen suurin hyöty onkin sen kalkitusvaikutus happamissa maissa; tosin pelkäsi kalkitusaineeksi teho on suhteellisen heikko, ja biohiili on liian arvokas pelkästään kalkitusaineena käytettäväksi (Riikonen 2019). Pienempi raekoko saattaa hyödyttää joitain viljelykasveja (Lipsanen 2019), mutta viljelyksessä käytetyllä partikkelikoolla ei kuitenkaan vaikuttaisi olevan valtavan suurta hyötyä, joten maataloudessa olisi luultavasti kannattavampaa käyttää vähemmän haittavaikutuksia aiheuttavaa, suurirakeisempaa biohiiltä (Riikonen 2019). Mikäli biohiilen valmistusmenetelmät ja raaka-aineet saadaan optimoitua tietyllä maaperälle ja viljelykasveille sopiviksi, biohiilen kaupallistaminen voi päästä kunnolla vauhtiin ja sen käyttö tulla taloudellisesti kannattavaksi.

Biohiiltä on kokeiltu kasvualustoissa sekä Suomessa että muualla: esimerkiksi Tukholmassa biohiiltä on käytetty kaupunki-istutuksissa jo vuodesta 2013 lähtien Noirecon toimittaessa biohiiltä Ruotsiin (Neuvonen 2018). Myös Helsingin kaupunki kokeilee biohiilipohjaisia kasvualustoja; marraskuussa 2019 alkoi yhteistyössä Helsingin yliopiston ja Aalto-yliopiston kanssa hanke, jossa selvitetään biohiilipohjaisten kasvualustojen vaikutusta maaperään ja puiden kasvuun (Aalto-yliopisto 2019). Levillä puolestaan on pilotoitu vuosina 2016–2018 biohiilen vaikutuksia rinteissä ja katoissa: laskettelurinteen kasvualustaan lisätyn biohiilen vaikutuksia kasvien kasvuun ja sitä kautta eroosion vähentämiseen haluttiin tutkia sekä viherkattoon lisätyn biohiilen vaikutuksia kasvien menestymiseen (Uusitalo ym. 2018).

Tutkimuksissa on monesti käynyt ilmi, että viherkatoissa käytetty biohiili alentaa viherkaton tiheyttä sekä pidättää vettä tehokkaammin – mitä enemmän biohiiltä lisättiin, sitä enemmän vettä pidättyi (Cao ym. 2014). Myös Kuoppamäki ym. (2016) raportoivat biohiilen käytön viherkatoissa helpottavan sadevesien hallintaa kaupungeissa, etenkin kesällä: biohiilen vettä pidättävä vaikutus oli voimakkaimmillaan kesällä, kun sateita tuli satunnaisesti, mutta syksyllä vaikutus oli vähäisempi jatkuvan sateen aikana.

BIOHIILI VESIEN PUHDISTUKSESSA

Kansainvälinen tutkimus on osoittanut, että biohiili sitoo tehokkaasti haitallisia aineita, mikä tekee biohiilestä käyttökelpoisen myös vesien puhdistuksessa (Wang ym. 2020). Maanparannusaineena biohiili mielletään kalliiksi (Schmidt 2008a; Riikonen 2019), mutta esimerkiksi jätevesien suodatusmateriaaleihin verrattuna biohiili on suhteellisen edullinen (Riikonen 2019). Käytännön sovellusten kannalta on tärkeää, että biohiilen haitta-ainepitoisuudet ovat mahdollisimman matalat, jotta itse biohiilestä ei päädy haitta-aineita ympäristöön; myös biohiilen alhainen ominaispaino voi osoittautua haasteelliseksi, sillä biohiili liikkuu helposti (Riikonen 2019).

Biohiilen vaikutuksia on kokeiltu erilaisissa biosuodattimissa. Biohiilen lisääminen vaikuttaa parantavan tyyppien (Kuoppamäki ym. 2019), metallien (Fichthorn ym. 2014; Kuoppamäki ym. 2019; Tomczyk ym. 2020) sekä erilaisten orgaanisten haitta-aineiden (Fichthorn ym. 2014; Ashoori ym. 2019) talteenottoa hulevesistä. Höyryllä aktivoidun biohiilen on havaittu poistavan myös mikromuoveja tehokkaasti hule- ja jätevesistä (Siipola ym. 2020). Biohiili pystyy myös poistamaan ulosteperäisiä bakteereja vedestä (Afrooz & Boehm 2017). Biohiilipohjaisia ratkaisuja etsitään myös kaivosteollisuuden tarpeisiin: Luonnonvarakeskuksen, Oulun yliopiston ja Geologian tutkimuskeskuksen yhteishankkeessa biohiiltä kokeiltiin muun muassa kaivannaisjätteiden läjityksestä peräisin oleviin happamiin ja metallipitoisiin suotovesiin (Luonnonvarakeskus s.a.). Biohiili voi tulevaisuudessa osoittautua käyttökelpoiseksi myös öljyntorjunnassa; Kandaneli ym. (2018) havaitsivat, että biohiili pystyy sitomaan itseensä kohtuullisia määriä raakaöljyä.

BIOHIILI RAKENNUSMATERIAALEISSA

Viimeaikainen tutkimus biohiilen käytöstä sementtipohjaisissa tuotteissa on osoittanut biohiilen käytöllä olevan hyötyjä lopputuotteen ominaisuuksiin. Eri materiaaleista tehtyä biohiiltä on testattu betoniin ja laastiin eri sekoitussuhteissa. Suurin osa tutkimuksista osoitti, että biohiilen lisääminen vähäisessä määrin (alle 2 paino-%) paransi sementtipohjaisen tuotteen lujuusominaisuuksia (Gupta ym. 2018a; Gupta ym. 2018b; Ahmad ym. 2020), etenkin kovettumisen alkuvaiheessa (Akhtar & Sarmah 2018). Restuccia ja Ferro (2016) totesivat biohiilen kiihdyttävän mekaanisten ominaisuuksien kehittymistä. Tuotteen lujuus huononi, kun biohiiltä lisättiin enemmän kuin 2 painoprosenttia (Gupta ym. 2018a) – tosin Zeidabadi ym. (2018) totesivat, että 5 prosentin lisäys riisin kuorista ja sokeriruokojätteestä valmistettua biohiiltä antoi parhaat tulokset puristuslujuuden suhteen muihin sekoituksiin ja kontrollibetoniin verrattuna. Kun biohiilen lisäys ylitti 10 prosenttia, betoni alkoi olla haurasta (Cuthbertson ym. 2019). Joissain tutkimuksissa tutkittiin samalla betonin vedenpitävyyttä, ja tulokset osoittivat, että vedenläpäisevyys väheni biohiiltä lisättäessä (Gupta ym. 2018b; Gupta & Kua 2019).

Biohiili vaikuttaa lupaavalta lisältä itseään parantavaan betoniin; Gupta ym. (2018c) tutkivat biohiilen käyttömahdollisuutta karbonaattia saostavien bakteeri-itiöiden kuljettamiseksi sementtilaastin rakoihin, joissa bakteerit tukkivat halkeamia. Tutkitun näytteen lujuus parani ja veden läpäisevyys väheni itiöitä käytettäessä.

Biohiiltä voisi tulevaisuudessa käyttää mahdollisesti myös äänen- ja lämmöneristyksen toteuttamiseen rakennuksissa. Cuthbertson ym. (2019) havaitsivat biohiilen toimivan betoniin lisättyinä äänieristeenä. Kun biohiiltä oli lisätty betoniin, saatiin kyseisen betonin äänenvaimennuskertoimeksi 0,45, kun se vertailubetonilla oli 0,25 – materiaalin katsotaan vaimentavan ääntä, kun kerroin on yli 0,35. Biohiilen käyttö tosin laskee betonin tiheyttä ja teki siitä samalla hauraampaa. Samassa tutkimuksessa havaittiin lämmöneristyksen parantuneen biohiilen lisäyksen myötä. Betonikappaleiden lämmönjohtavuus oli suhteellisen yhtenäinen tutkitussa lämpötilaskaalassa, joka alkoi 15 celsiusasteesta ja jatkui noin 30 asteeseen, mikä viittaa siihen, että biohiili voisi toimia lämmöneristeenä betonissa eri sääolosuhteissakin (Cuthbertson ym. 2019). Vaikka biohiiltä sisältävä betoni ei itsessään riitä eristämään taloja vaan lisäeristeitä toki tarvitaan (Cuthbertson ym. 2019), parhaimmillaan biohiilen käyttö betonissa voisi paremman puristuslujuuden ohella tarjota apua rakennusten lämpöhukkkaan – parhaat ominaisuudet lämmönjohtavuuden suhteen saatiin 1–2 prosentin lisäyksellä, mikä myös paransi betonin puristuslujuutta (Cuthbertson ym. 2019). Suomen oloja ajatellen hyödyllistä olisi tutkia, kuinka biohiiltä sisältävä betoni käyttäytyy lämmönjohtavuuden suhteen kylmissä olosuhteissa.

Myös biohiilen käytettävyyttä sisäseinien rappaukseen on tutkittu. Hankaluuksia rappauslaastin, joka sisälsi 50 prosenttia biohiiltä, 30 prosenttia hiekkaa ja 20 prosenttia savea,

levityksessä tai kovettumisessa ei havaittu (Schmidt 2008b), eikä laasti ärsyttänyt käsiä samalla tavalla kuin kalkki- tai sementtipohjainen rappauslaasti (Schmidt 2008b; Schmidt 2008d). Lee ym. (2019) käyttivät biohiili-saviseoksessaan vähemmän biohiiltä kuin Schmidt (2008b) tutkimuksessaan; Lee ym. (2019) sekoittivat biohiiltä 10 painoprosenttiin asti saveen painosta, mutta kaikissa edellä mainituissa tutkimuksissa saatiin samansuuntaisia, lupaavia tuloksia sekä lämmönjohtavuuden että ilmankosteuden suhteen. Sekä Schmidt (2008d) että Lee ym. (2019) totesivat biohiilen olevan potentiaalinen materiaali asuinrakennusten eristämiseen; vähemmälläkin biohiilen määrällä lämmönjohtavuus materiaalissa laski biohiilen sisältämien huokosten ansiosta. Schmidt (2008b) totesi biohiilestä ja savesta tehdyn rappauslaastin olevan hyödyllinen myös viinikellarin kosteusolojen kannalta: laasti toimi puskurina kosteuden suhteen, jolloin kosteusvaihtelut tasoittuvat ja kosteus pysyi kellarissa tasaisena. Biohiilen kyky sitoa itseensä jopa viisinkertaisesti vettä painoonsa nähden tekee biohiilestä potentiaalisen materiaalin kosteuden ylläpitämiseen sisätiloissa (Schmidt 2008d; Lee ym. 2019). Vaikka Lee ym. (2019) käyttivät biohiili-saviseoksessaan vähemmän biohiiltä kuin Schmidt (2008b), biohiilen todettiin ehkäisevän kosteuden karkaamista sisätiloista.

Biohiilen kyvyllä sitoa haitta-aineita voi olla merkitystä myös paremman ilmanlaadun saavuttamiseksi. Tämän ominaisuuden ansiosta materiaali sopisi hyvin asuinrakennusten lisäksi esimerkiksi kirjastoihin, kouluihin ja muihinkin sellaisiin paikkoihin, joissa liikkuu paljon ihmisiä. (Schmidt 2008d.)

BIOHIILI FOSSIILISEN HIILEN KORVAAJANA

Fossiilista hiiltä käytetään edelleen laajasti eri sovelluksissa. Kivihiilipohjaista hiilimustaa käytetään paljon muun muassa auton renkaissa sekä pigmenttinä musteissa (Virolainen 2016) ja maaleissa (Sanders & Peeten 2011, 140).

Tulevaisuudessa kumin täyteaineena käytetty kivihiiliperäinen hiilimusta voitaisiin mahdollisesti korvata muilla materiaaleilla. Noin kolmannes renkaissa käytetyistä raaka-aineista on täyteaineita, joista tärkein on tällä hetkellä noki/hiilimusta (Nokian Renkaat 2020). Usein kumin lujittamiseen käytetty hiilimusta on peräisin kivihiiliperäisestä öljystä (Arroyo ym. 2003). Hiilimustan korvaamiseksi onkin kokeiltu eri materiaaleja – muun muassa biohiiltä (Jiang ym. 2020) ja savea (Arroyo ym. 2003). Tutkimuksessaan Jiang ym. (2020) vertasivat kaupallisesti saatavilla olevaa kivihiilipohjaista hiilimustaa ja hienonnettua biohiiltä yleisesti renkaissa käytetyn kumin täyteaineeksi. Kyseisessä tutkimuksessa käytetyn biohiilen raaka-aineena käytettiin paperiteollisuudessa yli jäänyttä ligniiniä ja valmistettu biohiili hienonnettiin ennen käyttöä: biohiilen keskimääräinen partikkelikoko oli $473,6 \pm 81,9$ nanometriä, kun taas perinteisesti käytetyn kaupallisen hiilimustan keskimääräinen partikkelikoko on suurempi, $807,2 \pm 385,9$ nanometriä. Vaikka materiaalit käyttäytyivät eri tavoin, Jiang ym. (2020) totesivat ligniinistä tehdyn biohiilen olevan potentiaalinen aine hiilen korvaajaksi kumiteollisuudessa.

Ominaisuuksiensa puolesta biohiili sopisi käytettäväksi myös polttoaineena. Biohiilen voi puristaa pelleteiksi, tai sitä voi käyttää raskaan polttoöljyn ja maakaasun tilalla lietteen muodossa. Tavallisesti tällaiset lietteet on valmistettu kivihiilestä ja vedestä. Mikäli biohiiltä halutaan käyttää tällaisessa lietteessä, tulee biohiilen partikkelikoon olla joitain kymmeniä mikrometrejä. (Lipsanen 2019.)

Tänä päivänä metalliteollisuus on pitkälti riippuvainen fossiilisesta hiilestä; hiiltä tarvitaan sekä pelkistäjäksi malmin erottelussa että polttoaineeksi prosessille (Hakala ym. 2019). Pitkän tähtäimen suunnitelmassa on käyttää vetyä pelkistäjänä, mutta tekniikkaa odoteltaessa tarvitaan muita vaihtoehtoja, joista bioperäiset vaihtoehdot vaikuttavat lupaavilta päästöjen vähentämisessä (Hakala ym. 2019). Koksia saadaan säästettyä käyttämällä hiili-injektiota, jossa hienoksi jauhettu hiili injektoidaan puhallusilmahormien kautta masuuniin (Sipola 2015). Korvaamalla osa fossiilisesta injektiohiilestä biohiilellä kasvihuonekaasupäästöjä saadaan vähennettyä (Hakala ym. 2019).

Biohiiltä voitaisiin myös käyttää orgaanisten täyteaineiden korvaajana muovin valmistuksessa (Lipsanen 2019). Tutkimuksessaan Das ym. (2019) kokeilivat gluteenia ja siitä valmistettua biohiiltä muoveissa ja totesivat yhdistelmän käyttökelpoiseksi – yhdistettynä gluteeniin valmistettu biokomposiitti osoitti muun muassa parempaa vedenkestävyyttä kuin männystä tehty biohiili tai hiilimusta, joten täysin biopohjainen muovi vaikuttaa mahdolliselta.

BIOHIILEN MIKRONISOINTI

Monissa sovelluksissa biohiilen mikronisointi vaikuttaa tuovan hyötyjä, kuten betonissa (mm. Gupta & Kua 2019). Tietyt sovellukset, kuten maalit, puolestaan edellyttävät pigmentiltä tarpeeksi pientä partikkelikokoa. Myös monissa sovellutuksissa, joissa biohiilen ajatellaan korvaavan kivihiilipohjaista hiilimustaa, partikkelikoon tulee olla samankaltainen kuin hiilimustalla.

Nanomateriaalien, eli kemiallisten aineiden ja materiaalien, joiden partikkelikoko on 1–100 nanometriä ainakin yhdestä suunnasta mitattuna (ECHA s.a.), käyttö on herättänyt huolta terveyden näkökulmasta. Huomattavaa altistumista ei ole kuitenkaan arvioitu aiheutuvan siinä tapauksessa, että pienikokoiset hiilimustapartikkelit ovat kiinnittyneinä muihin seoksiin, kuten kumiin, tulostinmusteeseen tai maaliin (Baan ym. 2006). Jørgensen ym. (2017) tutkivat nanopartikkelien sisältämien maalien kuivumista sisätiloissa ja tulivat siihen tulokseen, etteivät maalit ole merkittävä nanopartikkelien lähde sisätiloissa.

Biohiilen mikronisoinnissa esiintyy tiettyjä haasteita, jotka tulee ottaa huomioon biohiilen käsittelyssä. Näitä ovat muun muassa räjähdysriski suuria määriä käsiteltäessä sekä kaikkein hienojakoisimman fraktion pääsy ilmakehään. Mikronisoidun biohiilen keveys voi aiheuttaa haasteita tietyissä sovelluksissa, kuten öljyntorjunnassa käytetyissä imeytyspuomeissa.

Genesio ym. (2016) tulivat siihen tulokseen, että biohiilen käytön tuomat hyödyt ilmastonmuutoksen torjumiseksi saattavat kääntyä päälaelleen, mikäli erittäin hienojakoista eli alle 25 mikrometrin kokoista biohiiltä pääsee ilmakehään. Näin pienet hiukkaset absorboivat säteilyä, joten ne voimistavat positiivista säteilypakotetta eli niillä on ilmastoa lämmittävä vaikutus (Genesio ym. 2016; Meyer ym. 2017). Tästä johtuen biohiilen käsittely kosteana on tärkeää, jotta mahdollisimman vähän hienojakoista biohiiltä päätyy ilmakehään (Meyer ym. 2017). Biohiilen käyttö pelletteinä tai kompostina maaperään lisättäessä vähentävät hienojakoisen biohiilen ilmakehään päätyminen riskiä (Genesio ym. 2016; Meyer ym. 2017).

Mikronisointi tarjoaa myös hyötyjä. Mikronisoinnin yhteydessä käytettävissä oleva pinta-ala kasvaa, jolloin reaktiot voivat tapahtua nopeammin. Raekooltaan pienemmän biohiilen (0,1–2 mikrometriä) lisäämisen sementtiin on havaittu parantavan betonin lujuutta ja vedenkestävyyttä kovettumisen alkuvaiheessa enemmän kuin karkeampirakeisen biohiilen lisääminen, eli mikronisoitu biohiili voisi olla käyttökelpoinen kohteissa, joissa vaaditaan nopeaa alkuvaiheen kovettumista (Gupta & Kua 2019).

Vesien puhdistuksessa hienojakoisemman aineen on havaittu sitovan haitallisia aineita nopeammin kuin karkeampirakeisen vastineen. Bonvin ym. (2016) tutkivat erittäin hienojakoisen aktiivihiihen (super-fine powdered activated carbon eli SPAC), jonka keskimääräinen partikkelin halkaisija oli 1 mikrometri, ja hienojakoisen aktiivihiihen (powdered activated carbon eli PAC), halkaisijaltaan 17–37 mikrometriä, kykyä poistaa mikrohaitta-aineita, kuten lääkeaineita ja torjunta-aineita, vesistä. Kyseisessä tutkimuksessa kävi ilmi, että SPAC sitoi haitta-aineita nopeammin kuin PAC, joten hienojakoisempi aktiivihiihi vaikuttaa lupaavalta jätevesien puhdistuksessa, sillä tarvittava kontaktiaika haitta-aineiden sitomiseen on lyhyempi.

LÄHTEET

Aalto-yliopisto. 2019. Carbon Lane -hanke. WWW-dokumentti. Päivitetty 13.7.2020. Saatavissa: <https://www.aalto.fi/fi/carla> [viitattu 29.5.2020].

Afroz, N. & Boehm, A. 2017. Effects of submerged zone, media aging, and antecedent dry period on the performance of biochar-amended biofilters in removing fecal indicators and nutrients from natural stormwater. *Ecological Engineering* 102, 320–330.

Ahmad, M. R., Chen, B. & Duan, H. 2020. Improvement effect of pyrolyzed agro-food biochar on the properties of magnesium phosphate cement. *Science of the Total Environment* 718, 137422.

Akhtar, A. & Sarmah, A. K. 2018. Novel biochar-concrete composites. Manufacturing, characterization and evaluation of the mechanical properties. *Science of the Total Environment* 616–617, 408–416.

AlAmeri, K., Giwa, A., Yousef, L., Alraeesi, A. & Taher, H. 2019. Sorption and removal of crude oil spills from seawater using peat-derived biochar. An optimization study. *Journal of Environmental Management* 250, 109465.

Arroyo, M., López-Manchado, M. A. & Herrero, B. 2003. Organo-montmorillonite as substitute of carbon black in natural rubber compounds. *Polymer* 44:8, 2447–2453.

Ashoori, N., Teixido, M., Spahr, S., LeFevre, G. H., Sedlak, D. L. & Luthy, R. G. 2019. Evaluation of pilot-scale biochar-amended woodchip bioreactors to remove nitrate, metals, and trace organic contaminants from urban stormwater runoff. *Water Research* 154, 1–11.

Baan, R., Straif, K., Grosse, Y., Secretan, B., El Ghissasi, F. & Coglianò, V. 2006. Carcinogenicity of carbon black, titanium dioxide, and talc. *The Lancet* 7, 296–296.

Biolan. 2018. Biolan istutusmulta on vuoden puutarhatuote 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.biolan.fi/artikkelit/biolan-istutusmulta-on-vuoden-puutarhatuote-2018> [viitattu 20.5.2020].

Bonvin, F., Jost, L., Randin, L., Bonvin, E. & Kohn, T. 2016. Super-fine powdered activated carbon (SPAC) for efficient removal of micropollutants from wastewater treatment plant effluent. *Water Research* 90, 90–99.

Cao, C. T. N., Farrel, C., Kristiansen P. E. & Rayner, J. P. 2014. Biochar makes green roof substrates lighter and improves water supply to plants. *Ecological Engineering* 71, 368–374.

Carbons. 2020. Yrityksen verkkosivut. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://carbons.fi/> [viitattu 20.5.2020].

Charcoal Finland. s.a. Yrityksen verkkosivut. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.charcoalfinland.fi/> [viitattu 20.5.2020].

Cuthbertson, D., Berardi, U., Briens, C. & Berruti, F. 2019. Biochar from residual biomass as a concrete filler for improved thermal and acoustic properties. *Biomass and Bioenergy* 120, 77–83.

Das, O., Hedenqvist, M., Johansson, E., Olsson, R. T., Aditya Loho, T., Capezza, A. J., Singh Raman, R. K. & Holder, S. 2019. An all-gluten biocomposite. Comparisons with carbon black and pine char composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 120, 42–48.

ECHA. s.a. Nanomateriaalit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://echa.europa.eu/fi/regulations/nanomaterials> [viitattu 27.3.2020].

El-Naggar, A., Lee, S. S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A. K., Zimmerman, A. R., Ahmad, M., Shaheen, S. M. & Ok, Y. S. 2019. Biochar application to low fertility soils. A review of current status, and future prospects. *Geoderma* 337, 536–554.

Fichthorn, A., Rehe, B. & Myers, D. 2014. Biofiltration: West Hylebos Log Yard. An innovative solution to a difficult stormwater problem – Port of Tacoma. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://aapa.files.cms-plus.com/AwardsCompetitionMaterials/Tacoma%202014%20Comprehensive%20Environmental%20Management.pdf> [viitattu 29.5.2020].

Genesio, L., Vaccari, F. P. & Miglietta, F. 2016. Black carbon aerosols from biochar threats its negative emissions potential. *Global Change Biology* 22, 2313–2314.

Gupta, S. & Kua, H. W. 2019. Carbonaceous micro-filler for cement. Effect of particle size and dosage of biochar on fresh and hardened properties of cement mortar. *Science of Total Environment* 662, 952–962.

Gupta, S., Kua, H. W. & Koh, H. J. 2018a. Application of biochar from food and wood waste as green admixture for cement mortar. *Science of the Total Environment* 619–620, 419–435.

Gupta, S., Kua, H. W. & Pang, S. D. 2018b. Biochar-mortar composite. Manufacturing, evaluation of physical properties and economic viability. *Construction and Building Materials* 167, 874–889.

- Gupta, S., Kua, H. W. & Pang, S. D. 2018c. Healing cement mortar by immobilization of bacteria in biochar. An integrated approach of self-healing and carbon sequestration. *Cement and Concrete Composites* 86, 238–254.
- Hakala, J., Kangas, P., Penttilä, K., Alarotu, M., Björnström, M. & Koukkari, P. 2019. Replacing coal used in steelmaking with biocarbon from forest industry side streams. *VTT Technology* 351. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT.
- Jequirim, M. & Limousy, L. (toim.) 2019. Char and carbon materials derived from biomass, production, characterization and applications. Amsterdam: Elsevier.
- Jiang, C., Bo, J., Xiao, X., Zhang, S., Wang, Z., Yan, G., Wu, Y., Wong, C. & He, H. 2020. Converting waste lignin into nano-biochar as a renewable substitute of carbon black for reinforcing styrene-butadiene rubber. *Waste Management* 102, 732–742.
- Jørgensen, R. B., Hveding, I. G. & Solheim, K. 2017. Nano-sized emission from commercially available paints used for indoor surfaces during drying. *Chemosphere* 189, 153–160.
- Kandanelli, R., Meesala, L., Kumar, J., Siva Kesava Raju, C., Rao Peddy, V. C., Gandham, S. & Kumar, P. 2018. Cost effective and practically viable oil spillage mitigation. Comprehensive study with biochar. *Marine Pollution Bulletin* 128, 32–40.
- Kuoppamäki, K., Hagner, M., Lehvävirta, S. & Setälä, H. 2016. Biochar amendment in the green roof substrate affects runoff quality and quantity. *Ecological Engineering* 88, 1–9.
- Kuoppamäki, K., Hagner, M., Valtanen, M. & Setälä, H. 2019. Using biochar to purify runoff in road verges of urbanised watersheds. A large-scale field lysimeter study. *Watershed Ecology and the Environment* 1, 15–25.
- Lee, H., Yang, S., Wi, S. & Kim, S. 2019. Thermal transfer behavior of biochar-natural inorganic clay composite for building envelope insulation. *Construction and Building Materials* 223, 668–678.
- Lipsanen, O. 2019. Biohiili ja sen mikronisointi. Kirjallisuustutkimus. Biohiilen ja -lento-tuhkan mikronisointi ja materiaalisovellukset Kymenlaaksossa (HITU). Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.
- Luonnonvarakeskus. s.a. Biohiilen hyödyntäminen kaivannaisjätteiden peittomateriaaleissa ja viherrakentamisessa. Biopeitto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.luke.fi/projektit/biopeitto/> [viitattu 1.6.2020].

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24/11. WWW-dokumentti. Saatavissa: www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/400001/37638 [viitattu 27.4.2020].

Meyer, S., Genesio, L., Vogel, I., Schmidt, H. P., Soja, G., Someus, E., Shackley, S., Verheijen, F. G. A. & Glaser, B. 2017. Biochar standardization and legislation harmonization. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 25, 175–191.

Neuvonen, K. 2018. Tuemme Tukholmaa saavuttamaan hiilineutraalisuuden. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://noireco.fi/artikkelit/tuemme-tukholmaa-saavuttamaan-hiilineutraalisuuden/> [viitattu 20.5.2020].

Nokian Renkaat. 2020. Renkaan tuotantoprosessi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nokianrenkaat.fi/innovatiivisuus/rengastietoa/renkaan-tuotantoprosessi/#844c7e54> [viitattu 30.7.2020].

Ok, Y. S., Tsang, D. C. W., Bolan, N. & Novak, J. M. (toim.) 2019. Biochar from biomass and waste. *Fundamentals and applications*. Amsterdam: Elsevier.

Restuccia, L. & Ferro, G. A. 2016. Promising low cost carbon-based materials to improve strength and toughness in cement composites. *Construction and Building Materials* 126, 1034–1043.

Riikonen, A. 2019. Biohiili ja sen käyttömahdollisuudet viherrakentamisessa. Kaupunkiympäristön julkaisu 2019:19. Helsingin kaupunki: Kaupunkiympäristön toimiala.

Sanders, I. & Peeten, T. 2011. Carbon black. Production, properties and uses. E-kirja. Hauppauge, New York: Nova Science Publishers. Saatavissa: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/xamk-ebooks/detail.action?docID=3021009> [viitattu 30.7.2020].

Schmidt, H. P. 2008a. 55 uses of biochar. *Journal for terrior-wine and biodiversity*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ithaka-journal.net/55-anwendungen-von-pflanzenkohle?lang=en> [viitattu 25.5.2020].

Schmidt, H. P. 2008b. Biochar as building material for optimal indoor climate. *Journal for terrior-wine and biodiversity*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ithaka-journal.net/pflanzenkohle-als-baustoff-fur-optimales-raumklima?lang=en> [viitattu 7.4.2020].

Schmidt, H. P. 2008c. Terra Preta – model of a cultural technique. *Journal for terrior-wine and biodiversity*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ithaka-journal.net/terra-preta-modell-einer-kulturtechnik?lang=en> [viitattu 12.6.2020].

Schmidt, H. P. 2008d. The use of biochar as building material – cities as carbon sinks. Journal for terror-wine and biodiversity. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ithaka-journal.net/pflanzenkohle-zum-hauser-bauen-stadte-als-kohlenstoffsenken?lang=en> [viitattu 7.4.2020].

Siipola, V., Pflugmacher, S., Romar, H., Wendling, L. & Koukkari, P. 2020. Low-cost biochar adsorbents for water purification including microplastics removal. Applied Sciences 10, 788.

Sipola, T. 2015. Suomen ainoat masuunit siirtyvät hiiliaikaan. Yle. Uutiset. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-8223777> [viitattu 5.8.2020].

Suomen Biohiiliyhdistys. s.a. Biohiilikartta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.suomenbiohiili.fi/biohiilikartta/> [viitattu 20.5.2020].

Tomczyk, A., Sokolowska, Z. & Boguta, P. 2020. Biomass type effect on biochar surface characteristic and adsorption capacity relative to silver and copper. Fuel 278, 118168.

Uusitalo, M., Lindroos, M., Hagner, M., Hallikainen, V., Huhta, E., Juhanaja, S., Kantola, S., Kotro, J., Nivala, V., Peltola, R., Salo, T., Tiilikkala, K., Tuhkanen, E.-M., Tuulentie, S., Tyrväinen, L., Vanhanen, H. & Kaunistamaa, K. 2018. Voimametsistä viherkattoihin. Opas ympäristöjen tuotteistamiseen kesä- ja hyvinvointimatkailussa. Luonnonvarakeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2018062526355> [viitattu 4.8.2020].

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007.

Virolainen, P. 2016. Polttopisteessä. Teknisen hiilen markkinat kovassa nousussa. Polte 4/2016. Verkkolehti. Saatavissa: <http://poltelehti.fi/2016/12/polttopisteessa-teknisen-hiilen-markkinat-kovassa-nousussa> [viitattu 31.3.2020].

Wang, D., Jiang, P., Zhang, H. & Yuan, W. 2020. Biochar production and applications in agro and forestry systems. A review. Science of the Total Environment 723, 137775.

Zeidabadi, Z. A., Bakhtiari, S., Abbaslou, H. & Ghanizadeh, A. R. 2018. Synthesis, characterization and evaluation of biochar from agricultural waste biomass for use in building materials. Construction and Building Materials 181, 301–308.

MAALIKOKEET

Satu Huurtomaa & Tomi Höök

JOHDANTO

Ominaisuuksiensa puolesta biohiiltä voi käyttää hyvin erilaisissa sovelluksissa. Koska biohiilellä ja hiilimustalla on samankaltaisia ominaisuuksia, biohiilen käyttöä on tutkittu ja se on todettu potentiaaliseksi kivihiilen korvaajaksi ainakin kumiteollisuudessa (Jiang ym. 2020). Biohiili on myös voimakkaasti värjäävä aine, ja Schmidt (2012) onkin ehdottanut, että biohiiltä voisi monien muiden sovellusten ohella käyttää myös maaliteollisuudessa.

Maali koostuu pigmenteistä, muista karkeammista partikkeleista eli täyteaineista, sideaineista ja liuotteesta, sekä muista lisäaineista, kuten kuivumista edistävästä aineista (Tadros 2018, 117). Pigmentit ovat usein hyvin pieniä, alle mikronin kokoluokkaa. Nämä partikkelit määräävät maalin sameuden, peittävyuden ja värin (Tadros 2018, 118). Julkaisussaan Gango ja Kuokkanen (2018) selvittivät partikkelikoon merkitystä eri sovelluksille ja totesivat, että maaliteollisuudessa muun muassa maalatun pinnan kiilto ja värin voimakkuus liittyvät partikkelikokoon.

Mikäli biohiiltä halutaan käyttää pigmenttinä maalissa, tulee biohiilipartikkelien olla tarpeeksi pieniä. Yleisesti ottaen biohiilen ongelmana eri sovellusten kannalta onkin pidetty muun muassa suurta partikkelikokoa (Jiang ym. 2020). Vertailu kivihiilipohjaiseen hiilimustaan antaa käsityksen siitä, mitä kokoluokkaa biohiilipartikkeleissa tulisi tavoitella, mikäli biohiiltä halutaan käyttää menestyksekkäästi pigmenttinä. Hiilimustapartikkelit ovat kooltaan nanoluokkaa mutta eivät esiinny yksittäin – ne muodostavat aggregaatteja, joka on hiilimustan pienin mitattava yksikkö. Kooltaan hiilimusta-aggregaatit ovat 80–800 nanometriä (ICBA s.a.). Kun Mozetič ym. (2000) tutkivat hiilimustapartikkelien jakautumista maalissa, he käyttivät tutkimuksessaan partikkeleja, joiden keskimääräinen koko oli 0,1 mikrometriä eli 100 nanometriä. Kim ym. (2018) puolestaan tutkivat hiilimustapartikkelien jakautumista erilaisissa musteissa, ja heidän käyttämässään hiilimustajauheessa partikkelien keskimääräinen koko oli vain 21 nanometriä, mutta aggregaatinmuodostuksen johdosta eri musteissa hiilimustapartikkelien keskimääräinen koko vaihteli 80,8–256,9 nanometrin välillä riippuen käytetystä dispergointiaineesta. Mitä pienempi partikkelien keskimääräinen koko musteessa oli ja mitä vähemmän partikkelikoko vaihteli, sitä kestävämpää musteen havaittiin olevan korkeissa lämpötiloissa (Kim ym. 2018). Mikäli biohiiltä halutaan käyttää pigmenttinä maaleissa ja musteissa, tulee biohiilipartikkelien siis olla tarpeeksi pientä kokoluokkaa eivätkä ne saa muodostaa liian suuria aggregaatteja. Partikkelin kokojakaumassa ei myöskään saisi olla liian suurta vaihtelua.

Opinnäytetyössään Hulse (2019) tutki fossiilisen hiilimustan korvaamista biohiilimustalla litografisessa painatuksessa käytetyssä musteessa. Tutkimuksessa biohiiltä käytettiin väriai-

neena vastaavalla tavalla kuin tavanomaista hiilimustaa käytetään. Biohiilestä valmistettu muste vastasi ominaisuuksiltaan hiilimustasta valmistettua mustetta, ja Hulse (2019) totesikin, että biohiilestä valmistettu pigmentti on potentiaalinen myös muun tyyppisiin musteisiin ja sovelluksiin, joissa tarvitaan mustaa väriä.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, soveltuuko hienoksi pulveriksi jauhettu eli mikronisoitu biohiili väriainekäytössä mustaksi pigmentiksi ja voiko kivihiilipohjaisen hiilimustan (nokimustan) eli kimröökien käyttöä korvata uusiutuvalla biohiilimustakomponentilla. Tutkimusta varten biohiiltä mikronisoitiin bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskuksessa BioSammossa kesäkuussa 2020. Itse maalikokeet suoritettiin heinä- ja syyskuun 2020 välisenä aikana. Biohiilipigmentin lisäksi Suomen Luonnonmaaleilta hankittiin referenssipigmentiksi kimröökkiä. Pigmenttien partikkelikoot analysoitiin Microtrac FlowSync-partikkelikokoanalysointilaitteella. Mikronisoidun biohiilen keskimääräinen partikkelikoko oli 16 mikrometriä ja kimröökien 0,5 mikrometriä.

Tutkimusta tehtiin vaiheittain kokeilemalla, havainnoimalla, päättelemällä ja uudelleen kokeilemalla. Tavoitteena oli testata biohiilen soveltuvuutta tavanomaisen seinämaalien pigmenttinä ja tutkia käytännön sävytys- ja maalaustestein, kuinka maalin sävytys mustaksi biohiilipigmentin avulla onnistuu.

BIOHIILIMUSTA KUIVAJAUHEENA MAALIN JOUKKOON

Nyrkkisääntönä pidimme maalarikunnan empiiriseen kokemukseen perustuvaa oletusta, että noin 10 prosenttia kuivaa pigmenttiä suhteessa maalin määrään on karkeasti suurin määrä pigmenttiä, joka maalipohjaan voi sitoutua. Tämän määrän ylityttyä reilusti kuivasta maalauspinnoista tulee väriä hangatessa luovuttava. (Kaila 2008.)

Maalikokeita varten hankittiin eri tarkoituksiin sopivia maaleja. Taulukkoon 1 on koottu maalikokeissa käytetyt maalit, pigmentit, sideaineet sekä maalaustulokset. Vesiohenteisia, teollisesti valmistettuja maaleja olivat Cello-merkkiset maalit, joista toinen oli tarkoitettu sisällä seinien maalaamiseen ja toinen ulkona käytettäväksi. Havaittiin, että maalaustuloksen perusteella käyttämämme biohiilen värjäysominaisuus oli heikompi kuin kimröökien (kuva 1). Kimröökki sai maalin sakenemaan enemmän kuin biohiili samoilla painoprosentuaalisilla osuuksilla.

Maalikokeissa käytettiin myös Suomen Luonnonmaalien Auro-maalia, joista valitsimme tummille sävyille värjättäväksi tarkoitetun U-pohjan (U tarkoittaa sanaa un-pigmented). Biohiiltä ja kimröökkiä lisättiin kuiva-aineena suoraan Auron U-pohjan (jatkossa Auro-U) sekaan. Tavoitteena oli saada mahdollisimman tumma sävy, ja pigmenttiä lisättiin niin pitkään, ettei lisäyksellä silmämääräisesti saatu enää maalin värisävyä tummemmaksi. Maalaamiseen käytettyjen maalien joukkoon sekoitettiin lopulta biohiiltä 10,9 painoprosenttia ja kimröökkiä 11,3 painoprosenttia. Kummankaan pigmentin sekoittuminen Auro-U:hun ei tuottanut mustaa maalia eikä mustaa maalauspinnoa, vaan värisävy jäi molemmissa

harmaaksi. Maalipinnan kuivuessa kimröökillä sävytetyn maalin väri kuitenkin muuttui tummemmaksi, ja kuivan maalipinnan sävy oli selkeästi tummempi kuin biohiilipigmentillä maalattu (kuva 2). Biohiilipigmentillä maalattu pinta puolestaan muuttui selkeästi vaaleammaksi. Päätelimme, ettei biohiili reagoi tämän maalin kanssa samoin kuin kimrööri, joten päätimme liuottaa biohiilipigmentin nesteeseen ennen seuraavaa testikierrosta ja antaa väritahnan tekeytyä vähintään 24 tuntia ennen sen lisäämistä maalin joukkoon.

BIOHIILELLÄ SÄVYTETTY LUONNONÖLJYMAALI TUOttAA MUSTAN MAALAUSPINNAN

Biohiilipigmentin liuottamiseen päädyttiin kokeilemaan vernissaa, pellavaöljyä ja puutäpättiä. Maalin valmistuksessa tällä tavoin käytettyjä pigmenttiin vaikuttavia aineita kutsutaan sideaineiksi; niiden tehtävä on muun muassa kiinnittää pigmentti maalipohjaan. Tutkimuksessa käytetty Virtasen Ulkovernissa hankittiin Virtasen maalikaupasta, pellavaöljy oli Avotraden kylmäpuristettua pellavaöljyä ja puutäpätti Kiillon Oulu A1.

Taulukko 1. Maalikokeissa käytetyt maalit, pigmentit, sideaineet sekä kuvaus maalattun koealan väristä.

Pohjamaali	Pigmentti	Väritahnan pohja	Maalin väri
Cello	biohiili	-	vaalean harmaa
Cello	kimrööri	-	tummahkon harmaa
Auro-U	biohiili	-	tummahkon harmaa
Auro-U	kimrööri	-	tumman harmaa
Auro-U	biohiili	pellavaöljy	raidallinen - tumman harmaa / valkoinen
Auro-U	biohiili	vernissa	raidallinen - tumman harmaa / valkoinen
Auro-U	biohiili	puutäpätti	raidallinen - tumman harmaa / valkoinen
Virtasen C-pohja	biohiili	pellavaöljy	musta
Virtasen C-pohja	biohiili	vernissa	musta
Virtasen C-pohja	biohiili	puutäpätti	musta
Auro-U	biohiili	Sinol	harmaa
Auro-U	biohiili	Marinol	harmaa
Auro-U	biohiili	Masinol	harmaa
Auro-U	kimrööri	puutäpätti	raidallinen - vaalean / tumman harmaa
Auro-U	kimrööri	vernissa	raidallinen - tumman / vaalean harmaa
Auro 160	biohiili	-	musta
Auro 160	biohiili	pellavaöljy	raidallinen - tumman harmaa
Auro 160	biohiili	puutisle	musta
Auro 160	biohiili	biodiesel	musta
Tervatex	biohiili	pellavaöljy	musta



Kuva 1. Valmis valkoinen vesiohenteinen seinämaali jäi sävyltään harmaaksi sekä biohiilen että kimröökin tapauksessa. Vasemmanpuoleinen koeala on maalattu maalilla, jossa on biohiiltä 13,7 painoprosenttia maalista. Oikeanpuoleisen koealan maalissa on kimröökä 10,5 painoprosenttia. Maali, jossa käytettiin pigmenttinä biohiiltä, jäi sävyltään selkeästi vaaleammaksi. (Kuva Satu Huurtomaa.)



Kuva 2. Sävyttämätön vesiohenteinen maalipohja Auro-U värjäytyi tummemmaksi kuin valmis valkoinen Cello-maali mutta ei mustaksi. Vasemmalla koeala on maalattu maalilla, jossa on biohiiltä 10,9 painoprosenttia maalista, ja sen viereisessä koealan maalissa on kimröökä 11,3 painoprosenttia. Kimröökillä värjätty koeala oli selkeästi tummempi kuin biohiilellä värjätty. Oikealla on kuva märästä Auro-U-maalista, johon oli lisätty biohiiltä – kuvia vertaamalla huomaa, että biohiilellä värjätty maali vaaleni kuivuessaan. (Kuva Satu Huurtomaa.)

Kutakin sideainetta (vernissa, pellavaöljy, puutärpätti) otettiin mittalaseihin 10 ml, minkä jälkeen kuhunkin lasiin vuorollaan lisättiin mikronisoitua biohiiltä. Lisätyt määrät olivat noin 4–5 grammaa. Kukin seos sekoitettiin huolellisesti magneettisekoittimen ja lasisauvan avulla, minkä jälkeen seokset jätettiin tekeytymään yön yli noin 24 tunniksi vetokaappiin. Silmämääräisen tarkastelun perusteella biohiili vaikutti 24 tunnin aikana ainakin jollakin tasolla sitoutuneen kuhunkin nesteeseen (vernissa, pellavaöljy ja puutärpätti). Väritahnat olivat tasaisia eivätkä juurikaan erottuneita.

Auro-U:n maalien kanssa samalla testikerralla samoja väritahnoja päätettiin kokeilla myös öljypohjaiseen maaliin. Tutkimusta varten oli hankittu Virtasen luonnonöljyihin perustuvaa 4 öljyn maalin tummille sävyille sävytettäväksi tarkoitettua C-pohjaa (kuva 3). Kyseinen maali valittiin testiin juuri luonnonöljypohjan perusteella.



Kuva 3. Virtasen 4 öljyn maalin C-pohja (öljyliukoinen) ja Suomen Luonnonmaalien Auro-U-pohja (vesiliukoinen) on molemmat sekoitettava hyvin ennen käyttöä, sillä astiassa sideneste on erottunut voimakkaasti maalipastasta. Maalien koostumukset ovat kovin erilaiset: 4 öljyn maali on paksuhkoa ja vanukasmaista, Auro on ohuehkoa ja juoksevaa. (Kuva Tomi Höök.)

Mittalaseihin punnittiin noin 15 g Virtasen 4 öljyn C-pohjaa ja saman verran Auron U-pohjaa, minkä jälkeen väritahnat lisättiin maalien sekaan ja sekoitettiin magneettisekoittimen ja lasisauvan avulla. Maaleja sävytettäessä huomattiin pian, että väritahnat eivät sekoittuneet vesiohenteiseen Auron U-pohjaan, mutta öljypohjaiseen Virtasen 4 öljyn C-pohjaan ne sekoittuivat hyvin. Testin tuloksiksi saatiin mustaksi sävytetyt koemaalausalat Virtasen 4 öljyn C-maalipohjalla ja epätasaisen harmaat koemaalausalat Auron U-pohjalla (kuva 4).



Kuva 4. Yön yli (noin 24 tuntia) vernissassa, pellavaöljyssä ja puutärpätissä "sulaneet" biohiilipohjaiset sävytyspastat tuottivat mustan lopputuloksen öljypohjaiseen Virtasen 4 öljyn maaliin sekoitettuna. Samat sävytyspastat eivät sekoittuneet vesiliukoiseen Auro-U-maaliin, jolla maalatut pinnat näkyvät alemmalla lankulla. (Kuva Tomi Höök.)

RATKAISUN ETSIMINEN MUSTAN VÄRIN TUOTTAMISEKSI VESIOHENTEISESSA MAALISSA

Tässä vaiheessa maalikoesarjaa oli muodostunut käsitys siitä, että mikronisoidun biohiilen ominaisuuksiin pigmenttikäytössä voidaan vaikuttaa käyttämällä sideaineena muun muassa pellavaöljyä, vernissaa ja puutäpättiä, jotka sekoittuivat öljypohjaiseen maaliin hyvin mutta eivät toimineet käyttämässämme vesiohenteisessä maalissa. Ratkaisua vesiohenteisen maalin sävyttämiseksi päätettiin etsiä lisäämällä väritahnan joukkoon veden pintajännitystä heikentäviä lisäaineita – tarvittiin siis jokin muu neste, joka toimisi väritahnan pohjana. Kirjallisuudessa (Kaila 2008) mainitaan, että Sinolia käytetään lisäaineena tietyissä tapauksissa, muun muassa silloin, kun halutaan edistää kimröökien vaikutusta vesiohenteisen maalipohjan sävytyksessä. Seuraavaksi maalikokeisiin hankittiin Sinolia (polttoneste, liuotin, pesuneste) ja lisäksi Masinolia (bensiniin lisäaine) ja Marinolia (polttoneste, liuotin, pesuneste), joiden nimet ovat valmistaja Bernerin markkinoimia tuotenimiä. Nämä nesteet ovat keskenään samantyyppisiä kemikaalisekoituksia, joiden sisältämien etanolin, isopropanolin, metyylietyyliketonin ja metyyli-isobutyryliketonin määrasuhteet vaihtelevat. Myös puhtaan isopropanolin lisäyksen vaikutusta valmiin maalin sekaan päätettiin kokeilla.

Viisi grammaa biohiiltä lisättiin seitsemään grammaan Sinolia, Masinolia ja Marinolia. Seokset sekoitettiin magneettisekoittimen avulla ja jätettiin asettumaan yön yli. Näitä väritahnoja kokeiltiin maalauskokeessa 27. elokuuta Auro-U-maalipohjaan. Noin 15 grammaan maalia lisättiin väritahnaa niin paljon, että maaleista saatiin mahdollisimman tummia: biohiili-Sinol-tahnaa 2,6 grammaa, biohiili-Masinol-tahnaa 3,8 grammaa ja biohiili-Marinol-tahnaa 5,4 grammaa. Biohiilestä ja polttonesteistä koostuvat väritahnat olivat mustia ja ne saatiin sekoittumaan Auro-U:hun, mutta niiden kuivuessa sävy vaaleni (kuva 5).

Myös kimröökistä ja puutäpätistä tehtyä väritahnaa kokeiltiin sekoittaa Auro-U:hun. Lopputulos oli hyvin samankaltainen kuin biohiilestä tehtyjen väritahnojen kanssa: tahna erottui maalin joukosta hyvin eikä siis sekoittunut kunnolla. Sinolin lisäys maalin sekaan ei muuttanut tilannetta, eikä väritahna sekoittunut maaliin kunnolla (kuva 6). Vernissa-kimröökitahtahnan joukkoon lisättiin testimielessä isopropanolia, mutta tämäkään ei auttanut pigmenttiä sekoittumaan kunnolla maalin joukkoon (kuva 6).



Kuva 5. Ensin maalattu Auro-U, johon on sekoitettu biohiili-Sinol-tahnaa, on vasemalla. Masinolia ja Marinolia sisältävät maalit on maalattu myöhemmin, ja ne olivat kuvanottohetkellä vielä kuivumassa. Siksi värisävy on niissä tummempi. Kuivuttuaan kaikissa koealoissa oli sama harmaan sävy. (Kuva Satu Huurtomaa.)



Kuva 6. Kimrööki-puutarättitahna ei sekoittunut kunnolla Auro-U-maaliin Sinolin lisäyksen jälkeenkään, vaan väritahna pysyi pistemäisinä palloina maalin joukossa. Isopropanolin lisäys vernissa-kimröökitahnan joukkoon tuotti samankaltaisen tuloksen – väritahna erottui selkeästi maalista. (Kuva Satu Huurtomaa.)

Koska Sinol-testeissä ei onnistuttu käyttämään biohiiltä menestyksekkäästi vesiohenteisen maalipohjan sävyttämässä täysin mustaksi, jatkettiin sopivan yhdistelmän etsimistä keskenään sekoittuvien sidosaineen ja maalipohjan löytämiseksi. Koska vesi- tai alkoholipohjaiset sideaineet eivät toimineet halutulla tavalla biohiilen kanssa, vaihtoehtona oli seuraavaksi käyttää soveltuvaa emulgointiainetta öljypohjaisen sideaineen sekoittamiseksi vesiohenteiseen maaliin. Huomio kohdistettiin Auro-U-maalipohjan sijaan Auro 160 -maalipohjaan, joka on kuultovalkea vesiohenteinen maali. Auro 160:n koostumus poikkeaa Auro-U:sta siinä mielessä, että se sisältää pellavaöljyä mutta on siitä huolimatta vesiohenteinen. Auro 160 -maalipohjaan voi lisätä 20 prosenttia vettä.

Auro 160 -maalipohjaan lisätyistä väritahnoista vahvan mustan maalaustuloksen tuotti väritahna, johon sideaineeksi käytettiin puun kuivatuslauksessa erotettua puutislettä. Ennen maalausta kyseinen väritahna jätettiin tekeytymään viikonlopun yli. Vastaavanlainen testi tehtiin myös rypsiöljyn metyyliesterillä, jossa siis biodieseliä käytettiin biohiilen sidosaine-

na yhden vuorokauden tekeytymisajalla – tuloksena vahva, musta maalaustulos. Kuivalla biohiilijauheella sävytetyllä Auro 160 -maalilla koealat maalattiin kahdesti; ensimmäisen maalauskeran jälkeen maalin annettiin tekeytyä neljä päivää. Myöhemmin maalatun koealan värisävy oli täyteläisempi (kuva 7).



Kuva 7. Luonnonöljypohjainen ja vesiohenteinen Auro 160 tuottaa vahvan mustan värin sekä puutisleeseen sidostetulla biohiilellä (1. koeala vasemmalta) että suoraan kuivana biohiilijauheena lisättynä (3. koeala vasemmalta). Neljä päivää myöhemmin maalattu pinta tuotti täyteläisemmän mustan sävyn (4. koeala vasemmalta). Tässä testissä biohiilen määrä oli 20 prosenttia. Sitä vastoin 22.7. valmistettu, pellavaöljyyn sidostettu biohiili ei sekoittunut vesiliukoiseksi emulgoituun Auro 160 -maalipohjaan (2. koeala vasemmalta). Puutisleen lisäksi biodiesel toimi biohiilen sidosaineena testissä hyvin (5. koeala vasemmalta). (Kuva Tomi Höök.)

Tässä tutkimuksessa biohiilen kanssa toimivaksi sideaineeksi todettiin muun muassa pellavaöljy, joka on yleisesti maalien valmistuksessa käytetty sideaine, joten niiden seosta päätettiin koekäyttää lintulaudan käsittelyyn Tervatex-puunsuoja-aineella (kuva 8).



Kuva 8. Käytännön kokeessa käsiteltiin puusta valmistettu lintulauta pellavaöljyyn sidostetulla biohiilellä mustaksi sävytetyllä Tervatex-puunsuoja-aineella. (Kuva Tomi Höök.)

BIOHIILIMUSTA VAIKUTTA LUPAAVALTA PIGMENTILTÄ ÖLJYPOHJAISISSA MAALEISSA

Tehty tutkimus oli pienimuotoinen. Siinä ensisijaisesti haluttiin löytää todisteita mikronisoidun biohiilen soveltuvuudesta pigmentiksi maalin sävytystarkoituksessa ja edelleen selvittää, voisiko biohiilimustalla missään määrin korvata tavanomaisesti mustana väriaineena käytettyä fossiilista hiilimustaa. Voidaan todeta, että tutkimuksessa löydettiin biohiilimustapigmentille soveltuva luonnonöljyliukoinen maalipohja, joka onnistuttiin sävyttämään mustaksi. Saavutettua mustan värisävyä arvioitiin silmämääräisesti, värimittaria ei käytetty. Sävytykseen käytetyn biohiilen määrä on samaa suuruusluokkaa kuin vastaavasti tarvittavan kimröökien määrä. Altistus Suomen aurinkoiselle ja sateiselle sekä helteiselle kesälle 4–8 viikoksi ei haalistanut tai aiheuttanut muutakaan kulumaa tai eroosiota koaloille maalattujen maalien pintoihin.

Biohiili tuotti siis mustan värin öljypohjaisissa maaleissa muttei vesiohenteisissa – paitsi Auro 160 -kuultomaalissa, joka oli öljypohjainen mutta vesiohenteinen. Hydrofobisena aineena biohiili tarvitsee öljypohjaisen maalin tuottaakseen tumman sävyn; vesiohenteista maalia käytettäessä tarvitaan jokin emulgointiaine, jonka ansiosta öljyfaasiin hakeutunut biohiili saadaan sekoittumaan veteen. Kokeessamme käytetty, luonnonöljyä sisältävä Auro 160 -maalipohja oli tuoteselosteen mukaan emulgoitu ammonium-saippualla, minkä ansiosta kyseinen maali oli öljypohjasta huolimatta vesiliukoinen ja maaliin oli aikaansaatu ominaisuus vaikuttaa biohiilen pigmenttiin. Toinen vaihtoehto vaikuttaisi olevan biohiilen kemiallinen käsittely ennen käyttöä – Barber ja Trabold (2017) onnistuivat käyttämään biohiiltä pigmenttinä myös vesiohenteisissa tulostinmusteissa, kun biohiilen pinta oli hapetettu peroksidilla. Biohiilen pinnan hapettuminen edesauttaa sen liukenemista veteen – biohiilen hapettuessa sen pinnalle muodostuu funktionaalisia ryhmiä, etenkin karboksyyli-ryhmiä (Riikonen 2019).

Pigmenttinä biohiili käyttäytyi jossain määrin samalla tavoin referenssipigmentiksi valitun kimröökien kanssa, mutta eroavaisuuksiakin löytyi. Kumpikaan pigmenteistä ei sekoittunut kunnolla Auron värittömyyden, tummille sävyille tarkoitettuun U-pohjaan, kun pigmenttejä kokeiltiin lisätä väritahnassa maalin joukkoon. Väritahnassa käytetyllä sideaineella ei ollut vaikutusta, vaan sekä vernissan, pellavaöljyn että puutärpätin kanssa lopputulos oli sama. Maalipohjasta puuttui emulgointiaine, joka olisi auttanut vesiohenteista maalipohjaa ja väritahnassa olevia nesteitä sekoittumaan. Kun samaan maaliin lisättiin pigmenttejä kuiva-aineina, molemmat jauheet sekoittuivat hyvin, mutta maalipohja, johon oli lisätty biohiiltä, jäi selkeästi vaaleammaksi kuin kimröökillä värjätty maali. Myös vesiohenteiseen Cellon valkoiseen maaliin lisättäessä kimrööri pystyi tuottamaan tummemman sävyn kuin biohiili. Tämä voi liittyä raekokoon; muun muassa Barber ja Trabold (2017) ovat todenneet, että hiilimustan sävy on sitä tummempi, mitä pienempi partikkelikoko on. Maalikoikeissa käytetyn biohiilipigmentin keskimääräinen partikkelikoko oli 16 µm, kun taas pigment-

tinä käytetyt hiilimustapartikkelit ovat kooltaan yleensä nanoluokkaa (Mozetič ym. 2000; Kim ym. 2018). Referenssipigmenttinä käytetyn kimröökkin partikkelikooksi paljastui noin 0,5 µm – toisin sanoen kimrööki oli partikkelikooltaan huomattavasti hienojakoisempaa kuin maalikokeissa käyttämämme biohiili. Biohiilen partikkelikokoa olisi siis syytä saada vieläkin pienemmäksi. Työryhmässämme pohdittiin, olisiko biohiilen aktivoinnilla mahdollista rikkoo kiinteän hiilipartikkelin rakennetta ja siten edesauttaa sen mekaanista jauhautuvuutta edelleen hienojakoisemmaksi ja siten parantaa sen käytettävyyssominaisuuksia pigmenttinä.

Maalikokeiden perusteella hienoksi jauheeksi jauhettu biohiili sopii etenkin öljypohjaisten maalien pigmentiksi sellaisenaan sekä sävyttämään eri harmaan sävyiksi vesiohenteisia maaleja. Biohiilellä voisi tulevaisuudessa todennäköisesti korvata kivihiilipohjaisen hiilimustan ainakin litografisessa painatuksessa, joka on tänä päivänä suosituin sanomalehtien ja muiden painotuotteiden painatuksessa käytetty tekniikka (Hulse 2019). Tekniikka perustuu veden ja öljyn keskinäiseen sekoittumattomuuteen – öljypohjainen muste tarttuu haluttuihin kohtiin painolevyä, kun taas muut kohdat hylkivät mustetta (Encyclopædia Britannica 2016). Mikäli biohiiltä halutaan käyttää sellaisiin vesiohenteisiin maaleihin ja musteisiin, joissa ei ole mitään öljypohjaa, biohiili tulee mitä luultavimmin käsitellä kemiallisesti, jotta siitä saadaan veteen paremmin liukeneva. Musteissa käytettäessä biohiilen tulisi tosin olla partikkelikooltaan paljon pienempää kuin maalikokeissa käytetty biohiili, jotta biohiilipartikkelit eivät tukkisi tulostimen suodattimia (Barber & Trabold 2017).

Tutkimuksissaan Barber ja Trabold (2017) sekä Hulse (2019) käyttivät kierrätettäviä materiaaleja: paperijätettä ja kierrätettyä laatikkokartonkia, edellä mainitussa järjestyksessä. Barberin ja Traboldin (2017) näkemyksen mukaan suurin haaste biohiilipigmentin käyttöön tulostinmusteissa liittyy mitä luultavimmin partikkelikokoon, ei niinkään biohiilen sisältämiin epäpuhtauksiin. Mielenkiintoista voisi olla tutkia jätepuun ja muiden hankalasti kierrätettävien, eloperäisten materiaalien potentiaalia biohiilipigmentin raaka-aineena. Suuri osa Suomessa syntyvästä jätepuusta päättyy polttoon (Pekki 2017), joten raaka-ainetta biohiilen tuotannolle mitä luultavimmin riittäisi.

Maalien ja puun suoja-aineiden lisäksi biohiilimustaa voisi olla perusteltua testata perinteisen hiilimustan muissa käyttökohteissa, esimerkiksi muovin ja kumin väriaineena. Mielenkiintoinen biohiilimustan pigmentin testauskohde olisi betonin värjäys, vaikkakin tavanomaisesti betonin värjäyksessä käytettävä väriaine on kimröökkin sijaan rautaoksidimusta.

LÄHTEET

Barber, S. T. & Trabold, T. A. 2017. Waste paper derived biochar for sustainable printing products. Staples Sustainable Innovation Laboratory Project: SSIL16-002. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rit.edu/gis/ssil/docs/Waste%20Paper%20Biochar%20Project%20Final%20Report.pdf> [viitattu 16.9.2020].

Encyclopædia Britannica. 2016. Offset printing – printing technique. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.britannica.com/technology/offset-printing> [viitattu 21.9.2020].

Gango, A. & Kuokkanen, E. 2018. HITU – Hienonnetun partikkelin ominaisuuksia ja merkitys eri sovelluksille. Teoksessa Soinin, H., Haatanen, N. & Pulkkinen, L. (toim.) Metsä, ympäristö ja energia – Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Vuosijulkaisu 2018. Mikkeli: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 223–231.

Hulse, V. 2019. Biochar as a substitute for carbon black in lithographic ink production. Rochester Institute of Technology. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=11283&context=theses> [viitattu 26.8.2020].

ICBA. s.a. Fact sheet. Particle properties of carbon black. International Carbon Black Association. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.carbon-black.org/files/ICBA-Particle-CB-Factsheet-111413.pdf> [viitattu 2.4.2020].

Jiang, C., Bo, J., Xiao, X., Zhang, S., Wang, Z., Yan, G., Wu, Y., Wong, C. & He, H. 2020. Converting waste lignin into nano-biochar as a renewable substitute of carbon black for reinforcing styrene-butadiene rubber. *Waste Management* 102, 732–742.

Kaila, P. 2008. Kesällä töitä teki maalari. Vantaa: Multikustannus.

Kim, W., Bae, J., Eum, C. H., Jung, J. & Lee, S. 2018. Study on dispersibility of thermally stable carbon black particles in ink using asymmetric flow field-flow fractionation (AsFFFF). *Microchemical Journal* 142, 167–174.

Mozetič, M., Zalar, A., Panjan, P., Bele, M., Pejovnik, S. & Grmek, R. 2000. A method of studying carbon particle distribution in paint films. *Thin Solid Films* 376, 5–8.

Pekki, L. 2017. Jätepuun EoW-menettely teollisuuslaitoksen raaka-aineen käsittelyssä. Hämeen ammattikorkeakoulu. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Riikonen, A. 2019. Biohiili ja sen käyttömahdollisuudet viherrakentamisessa. Kaupunkiympäristön julkaisuja 2019:19. Helsingin kaupunki: Kaupunkiympäristön toimiala.

Schmidt, H. P. 2012. 55 uses of biochar. Ithaca Journal 1, 286–289.

Tadros, T. 2018. Formulation science and technology: Agrochemicals, paints and coatings and food colloids. E-kirja. Berliini: De Gruyter. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 7.4.2020].

ETÄSEMINAARI: MATERIAALI-KIERRON HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET KIERTOTALOUDESSA 17.–18.11.2020

Satu Huurtomaa & Eveliina Kuokkanen

JOHDANTO

Materiaalikierron haasteet ja mahdollisuudet kiertotaloudessa -etäseminaari järjestettiin ennalta nauhoitetuin esityksin 17.–18.11.2020. Etäseminaarin suunnittelusta ja toteutuksesta vastasivat HITU- ja BIOKE-hankkeet (BIOKE, Haastavien materiaalien tutkimus ja kierrätyksen edistäminen BioSammossa -hanke). HITU-hankkeen tavoin myös BIOKE-hanke on Xamkin hallinnoima ja EAKR-rahoitteinen.

Ennalta nauhoitettuihin esityksiin päädyttiin lähinnä vaikeasti arvioitavan koronatilanteen takia. Näin ollen haluttiin kokeilla uudenlaista tapaa järjestää etäseminaari: nauhoitukset pyydettiin yrityksiltä ja tutkimuslaitoksilta etukäteen. Hyöty live-webinaariin tässä on se, ettei puhujien tai kuulijoiden tarvitse olla tietyssä kellonaikana tietokoneen ääressä, vaan esitykset voi katsoa silloin, kun se omaan työpäivään parhaiten sopii. Ennalta nauhoitettu esitys mahdollisti myös puhujille uudenlaisen esitystavan perinteiseen seminaariesitykseen verrattuna. Moni yrityksistä lähti innokkaasti mukaan.

Etäseminaarin aikana kuultiin, kuinka kiertotalous näkyy eri organisaatioiden toiminnassa. Jokainen katsoo kiertotaloutta omasta näkökulmastaan, mutta kaikissa esityksissä tuli esille kiertotalouden merkityksen korostaminen nyky-yhteiskunnassa. Xamkin omissa puheenvuoroissa esiteltiin etäseminaarin taustalla olleet HITU- ja BIOKE-hankkeet, bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSammon toimintaa ja Xamkin Kotkan-kampuksen TKI-toimintaa. Lisäksi esiteltiin HITU-hankkeessa toteutettujen biohiilimaalikoikeiden tuloksia. Yritysten ja organisaatioiden puheenvuorojen sisältö on tiivistetty alle.

Etäseminaariin saatiin lähes 100 osallistujaa niin yrityksistä kuin oppilaitoksistakin, ja osallistujilta pyydettiin palautetta etäseminaarista Vapaa sana ja palaute -lomake täyttämällä. Palautteita saatiin yhteensä 17 kappaletta, ja palautteista tehty lyhyt kooste on esitetty tässä tekstissä viimeisenä.

ETÄSEMINAARISSA ESIINTYNEET YRITYKSET JA ORGANISAATIOT

Rudus – Materiaalikierron haasteet ja mahdollisuudet: Betonin kierrätys. Liiketoimintajohtaja Jani Pieksemä.

Ruduksen esityksessä tuotiin esille betonin kierräystä liiketoiminnan näkökulmasta. Yrityksellä on pitkä kokemus betonin hyödyntämisestä eri kohteissa. Betonimursketta käytetään korvaamaan kiviaineksia infrarakentamisessa, ja viime aikoina mursketta on käytetty myös betonituotteissa. Ympäristöystävällisyyden näkökulmasta mursketta käytettäessä ei pelkätään kierrätetä materiaalia, vaan murske toimii myös hiilinieluna: murskattaessa betonin luontainen karbonatisoituminen kiihtyy pinta-alan kasvaessa. End of waste -menettelyn myötä Pieksemän näkemyksen mukaan betonimurskeen hyödyntäminen monipuolistuu ja materiaalin arvostus nousee. Rudus pääsee mahdollisesti ensi vuonna hyödyntämään betonimursketta tuotteena.

UPM – Kiertotalous ja tuhkien hyötykäyttö. Manager, Environmental Production Support/Responsibility Taru Päiväläinen.

UPM:n puheenvuorossa tulivat esille kiertotalous yhtiön tehtailla sekä tuhkan hyötykäyttö. Sellun valmistuksessa syntyviä sivuvirtoja pystytään hyödyntämään monipuolisesti – ligniinillä voidaan esimerkiksi korvata fossiilinen fenoli vaneriliimoissa, ja raakamäntyöljystä tuotetaan uusiutuvaa dieseliä ja naftaa, jota voidaan käyttää kemikaalina muovin tuotannossa. Paperin kierrätyksessäkin syntyy erilaisia sivuvirtoja, joita voidaan käyttää muun muassa lämmöntuotannossa, ja prosessissa syntyneitä lietteitä menee myös tiiliteollisuuden raaka-aineksi. Sivuvirtojen polton yhteydessä muodostunutta tuhkaa voidaan hyödyntää monin eri tavoin: tuhkasta valmistettuja tuotteita on käytetty muun muassa moottoritien rakentamiseen Keski-Euroopassa, natriumhydroksidin korvaajina pH:n säädössä sekä korvaamaan osa paperintuotannossa käytetystä kalsiumkarbonaatista. Suurin osa UPM:n tuottamasta tuhkasta hyödynnetään rakennusteollisuudessa: sementtiteollisuudessa ja maanrakentamiseen liittyvissä sovelluksissa. Tuhkaa menee myös lannoitekäyttöön. Jotta tuhkan potentiaali saataisiin täysin hyödynnettyä, Päiväläinen toivoo yhdenmukaista laskutapaa eri rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästöille, jotta eri tuotteiden hiilijalanjälkeä voidaan verrata, ja menetelmää kehitetäänkin Suomessa onneksi koko ajan.

Stora Enso – Circular economy in general in Stora Enso and waste and side streams utilization in Anjala Mill. Senior Manager, Sustainable Processes Elina Skerfe.

Stora Enson esityksessä käytiin läpi yhtiön näkökulmaa kiertotalouteen sekä jätteen hyötykäyttöä Anjalan-tehtaalla. Kiertotalous tulee hyvin esille yhtiön sisäisessä toiminnassa, ja eri osastojen välillä materiaali kierrätää: esimerkiksi käytetyistä kupeista saadaan raaka-ainetta

paperiteollisuuden aikakauslehtiin. Vain pieni osa Stora Ensolla syntyvästä jätteestä päätyy tänä päivänä kaatopaikalle. Yhteistyötä tehdään myös eri tutkimusorganisaatioiden kanssa – hyvänä esimerkkinä tästä on yhteistyö Aalto-yliopiston kanssa tekstiilinkierrätyksen merkeissä. Anjalan-tehtaalla syntyviä tuhkia on käytetty muun muassa meluvälleissa sekä kaatopaikkojen rakentamisessa, ja lietettä on pystytty käyttämään hyödyksi maataloudessa. Haasteena kiertotalousmateriaalien hyödyntämiselle Skerfe näkee erityisesti nykyisen lainsäädännön, ihmisten asenteet sekä taloudelliset tekijät.

Fortum – Tuhkankäsittelylaitos. Manager, Ash&Slag Strategy Anne Kulmala ja Director Business Development and Product Sales Ville Yrjänä.

Fortumin esityksessä tuotiin esille yhtiön lähestymistapa jätteenpoltoon ja sen merkitys kiertotalouden kannalta. Poltosta syntyvä lämpö vähentää fossiilisten polttoaineiden tarvetta lämmöntuotannossa, ja jätteenpolton jäännöksistä voidaan ottaa talteen arvokkaita materiaaleja, kuten metalleja, sekä tuottaa neitseellisiä raaka-aineita korvaavia materiaaleja. Lentotuhkan sisältämiä suoloja voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti käyttää autoteillä: kesäisin pölynsidonnessa ja talvella teiden pitämisessä sulina. Metallien talteenottoa lentotuhkasta tutkitaan parhaillaan. Tänä päivänä pohjatuhkasta päätyy kierrätykseen muun muassa rautaa ja alumiinia, joita voidaan käyttää esimerkiksi auto-, elektroniikka- ja terästeollisuudessa. Pohjatuhkan mineraalijakeet voidaan käyttää hyödyksi ympäristörakentamisessa. Fortumin tavoitteena on pystyä hyödyntämään kaikki jätteenpoltossa muodostuva materiaali.

Elementit-E – Puukoulu on ilmastoteko. Rakennusneuvos Veli Hyyryläinen.

Elementit-E valmistaa ekologisia rakennuksia puusta – puukoulun rakentaminen nähdään ilmastotekona. Yhtiön valmistamat rakennukset ovat siirtokelpoisia. Rakennus voi olla paikoillaan pitkänkin aikaa, sillä kaikki rakennukset rakennetaan pysyvän rakennuksen rakennusmääräyksillä. Mikäli asiakas ei enää tarvitsekaan tiloja, Elementit-E lunastaa tilat takaisin, jolloin uusi asiakas voi saada ne käyttöönsä – kiertotaloutta parhaimmillaan on se, että rakennus jatkaa elinkaartaan uuden omistajan kanssa eikä rakennusta jouduta purkamaan.

Tapio – Tuhkat metsäteiden rakennusmateriaalina. Vesiensuojelun johtava asiantuntija Samuli Joensuu.

Tapion esityksessä päästiin tutustumaan tuhkiin metsäteiden rakennusmateriaalina. Tuhkaa syntyy vuosittain Suomessa paljon, arviolta noin 1,5 miljoonaa tonnia. Uusia metsäteitä ei kuitenkaan rakenneta enää paljon, ja työ keskittyykin jo olemassa olevien rakenteiden perusparannukseen ja vahvistamiseen. Tuhkan käyttöä eri kohteissa määrittelee pitkälti

se, millaista tuhka on ja mitä haitta-aineita se sisältää. Metsäteiden rakentamisessa tuhkaa voidaan käyttää joko tuhkapatjana tai tuhka-murskeseoksena. Haasteita tuhkan käytössä metsäteiden rakentamisessa voi olla muun muassa mara-kelpoisen tuhkan löytyminen. Itse levitys tielle ei vaadi erillislaitteita eikä tuhka pöllyä, ja murskeseoksen tasaus käy samalla tavalla kuin tavanomaisen murskeen tasaus. Tuhkan hyödyt liittyvät rakenteen kantavuuteen: tuhkan käytöllä on saavutettu parempia kantavuuslukuja kuin kallio- tai soramursketeillä, ja pääosin tulokset ovat olleet todella hyviä. Teiden käyttäjät ovat kehuneet teiden kantavuutta, eikä teiden kunnossapito vaadi erillisiä toimenpiteitä tavanomaiseen tiehen verrattuna. Myös tuhkan käytön ympäristövaikutuksia on seurattu: pinta- ja pohjaveden laadusta on tehty seuranta vuodesta 2011 lähtien. Tutkimustulosten mukaan tuhkan käyttö teiden rakentamisessa ei aiheuta ympäristöhaittoja vesistöissä.

Oulun yliopisto – Kuormituksen merkitys materiaalin hienontamisessa. Professori (emer.) Hannu Kuopanportti.

Oulun yliopiston esityksessä tutustuttiin kuormituksen vaikutukseen materiaalin hienontamisessa. Hienonnuksen tavoitteena on eri aineiden erottaminen toisistaan – esimerkiksi malmipartikkelista halutaan mineraalit erikseen. Toinen hienonnuksen tavoite on tuottaa tietynkokoista partikkelia. Esityksessä tutustuttiin eri kuormitusmenetelmiin, joita on nykyään käytössä: leukamurskaimiin, kuulamylyihin sekä suihkumylyihin. Kuopanportin näkemyksen mukaan ideaalinen kuormitus on suhteellisen hidas ja kohdistuu suoraan partikkeliin, eivätkä partikkelit kuormituksen aikana saisi hankautua toisiaan vasten. Pienillä partikkeleilla kuormitukseen pitäisi saada leikkausta tai taivutusta: pelkkä puristus ei ole paras mahdollinen. Myös partikkelille tarjottua energiaa pitäisi voida hallita. Tänä päivänä yleisesti käytössä olevissa kuormitusmenetelmissä nämä kriteerit eivät toteudu. Kuopanportti onkin ollut mukana kehittälemässä Hugger-murskainta, jonka toimintaan pääsimme seminaarin aikana tutustumaan demovideon kautta. Murskain sopii kiteisille materiaaleille, jotka rikkoutuvat puristamalla. Murskaimeen syötetään materiaalia vain vähän kerrallaan, joten partikkelit eivät pääse kontaktiin toistensa kanssa. Hugger-murskain on osoittanut hyötyjä perinteisiin murskausmenetelmiin verrattuna: siinä hienoinesta ei muodostu niin paljon, ja Hugger-käsittelyllä liuotus- ja vaahdotusprosessit tehostuvat mikrohalkeamien ja karheampien mineraalipintojen kautta. Hugger-murskain sopii hyvin kuivien rikastusmenetelmien sekä kierrätysprosessien kehittämiseen – murskaimen avulla voidaan erottaa esimerkiksi metallikappaleet muusta materiaalista.

Motiva – Materiaalitori. Johtava asiantuntija Ilkka Hippinen.

Materiaalitori-alustaa voidaan pitää kierrätysmateriaalien tuottajien ja hyödyntäjien kohtaamispaikkana, jossa voi ilmoittaa sekä etsiä tarjolla olevia jäte- ja sivuvirtoja. Materiaalitori otettiin käyttöön vuoden 2020 alussa, jolloin jätelaki uudistui – nykyään laki edellyttää, että jätteenhaltija tekee ensin ilmoituksen Materiaalitorille, ennen kuin kunnan toissijaista

palvelua voi pyytää. Materiaalitorilla halutaan auttaa yrityksiä tehostamaan resurssien hyödyntämistä, synnyttää uutta liiketoimintaa ja nostaa materiaalien jalostusarvoa. Hippinen toteaa, että alkuvaiheessa käyttö vaikuttaa painottuneen jätehuoltopalveluiden tarpeeseen, mutta myös materiaaleilla on ollut kysyntää. Materiaalitorilla on kiertänyt eri materiaaleja, kuten puuta, tekstiilejä, betonia ja maa-aineksia. Materiaalitori ei ole vielä valmis, vaan palvelu kehittyy jatkuvasti: tulossa ovat kelpoisuusluokat muun muassa tuhille sekä täsmennyksiä sijaintitietoihin ja saatavuusaikoihin.

Kinno, Kouvola Innovation Oy – Kiertotaloustoiminnan esittely. Kehittämispäällikkö Mika Penttilä, asiantuntija Kari Laine ja asiantuntija Ville Rätty.

Puheenvuorossaan Kinno esitteli omaa toimintaansa erityisesti kiertotalouden näkökulmasta. Kinno toimii FISS-toiminnan (Finnish Industrial Symbiosis System) Pohjois-Kymenlaakson aluekoordinaattorina. Kinnon kiertotaloustoiminnan runkona on Hyötyvirta-alueen kehittäminen. Alue sijaitsee Kouvolan Keltakankaalla, ja se tarjoaa yrityksijoittajille vapaita kiinteistöjä – Kymenlaakson Jäte ja Fortum ovat toimineet alueella jo pitkään. Alueelle on kehitteillä kiertotalouden osaamiskeskus. Kinno on mukana myös monissa kiertotalouteen liittyvissä projekteissa, joissa tutkitaan muun muassa harvinaisten maametallien talteenottoa vaihtoehtoisista raaka-aineista, kuten elektroniikkaromusta, kuonista ja teollisuudessa syntyneistä tuhista, biotalouden materiaalitehokkuutta, uusiomateriaalien hyödyntämistä sekä rakentamisen kiertotaloutta.

PALAUTE ETÄSEMINAARISTA

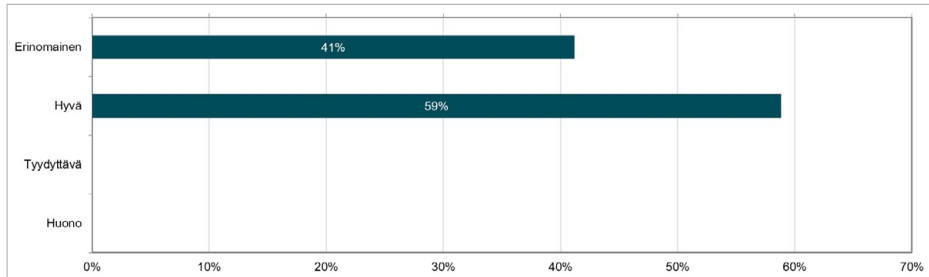
Etäseminaariin ilmoittautui lähes 100 osallistujaa, ja palautetta saatiin 17 kappaletta. Palautetta kysyttiin etäseminaarin sivuilla, joilla oli linkki Vapaa sana ja palaute -lomakkeeseen (lomake Webropolissa). Linkki lähetettiin vielä seminaarin jälkeen jokaiselle ilmoittautuneelle sähköpostitse.

Vapaa sana ja palaute -lomakkeessa oli kolme kysymys-vastauskohtaa:

1. Kuinka arvioit etäseminaarin toteutustavan ennalta nauhoitetuin esityksin? Halutessasi voit perustella arvion.
2. Mikä esitys/mitkä esitykset olivat mielestäsi mielenkiintoisimpia? Perustele vastaus halutessasi.
3. Tähän voit kirjoittaa vapaasti ajatuksia etäseminaarin esityksistä, antaa palautetta etäseminaarista tai laittaa yhteydenottopyynnön (muista lisätä yhteystietosi*). Vapaan sanan ja palautteen voi jättää anonymisti.

Lomakkeella ei ollut pakollisia vastauskohtia, ja palautteen pystyi antamaan anonymisti. Jokainen palautteen antaja vastasi ensimmäiseen kohtaan. Kaikki vastaajat kokivat semi-

naarin toteutustavan joko hyväksi tai erinomaiseksi (ks. kuva 1). Kohtaan annettiin kolme kappaletta perusteluita, jotka kaikki koskivat vastausvaihtoehtoa ”erinomaista”. Kommentteissa mainittiin muun muassa ajanhallinnan helppous ja tekninen toimivuus.



Kuva 1. Vastaukset kysymykseen ”Kuinka arvioit etäseminaarin toteutustavan ennalta nauhoitetuin esityksin? Halutessasi voit perustella arvion.”

Kysymyskohtaan 2 saatiin 15 vastausta. Suurin osa oli eriteltyt mielestään mielenkiintoisimmat esitykset, mutta oli myös niitä vastaajia, joiden mielestä kaikki esitykset olivat hyviä. Eräässä palautteessa lisäksi kiitettiin, että tällaisia seminaareja järjestetään. Kolmanteen eli viimeiseen kysymyskohtaan sai laittaa vapaasti palautetta, jota antoi yhteensä yhdeksän vastaajaa. Etäseminaari sai kiitosta palautteissa. Yksi vastaajista totesi, että ”kiertotalous tuli kerralla tutuksi” ja toinen, että ”nauhoitukset mahdollistivat joustavan osallistumisen – parempi kuin live!”. Etäseminaari sai myös kritiikkiä. Eräs olisi toivonut pidempää katsomisaikaa, samoin kysymysten esittämisen mahdottomuus nostettiin esille toisessa kommentissa. Kommentti kuitenkin jatkui: ”Tosin esitykset olivat niin selkeitä, ettei juuri kysyttävää esiin tullutkaan.”

Järjestettyä etäseminaaria voi pitää hyvin onnistuneena kokonaisuutena, joka keräsi paljon ilmoittautuneita ja johon saatiin mielenkiintoisia esityksiä monelta taholta. Seminaarista puuttuivat mahdollisuudet esittää kysymyksiä esiintyjille ja vuorovaikutus osallistujien kesken. Toisaalta esiintyjien toivottiin ilmoittavan yhteystietonsa esityksen yhteydessä, jota kautta osallistujat olisivat voineet olla yhteydessä esiintyjään. Mikäli vastaavalla tavalla järjestettäisiin seminaari myöhemmin, voisi miettiä keskustelukanavan lisäämistä seminaariin. Siltikin suoria kysymyksiä esiintyjille voisi olla hankala esittää. Live-seminaarien luonteeseen sen sijaan kuuluu, ettei itse voi valita esityksen katseluajankohtaa. Vaikeaa on myös olla paikalla seminaarissa vain esimerkiksi yhtä, itseään kiinnostavaa esitystä varten. Erilaisia seminaarien toteuttamistapoja vertailtaessa voidaankin todeta positiiviseksi seikkaksi se, että seminaareista on ”moneksi”. Näin pystytään monipuolisemmin vastaamaan erilaisten osallistujien toiveisiin.

