



Merituulentien biopidätysalue suunniteltiin rakennettavaksi ajoradan ja jalkakäytävän väliselle nykyisin nurmipintaiselle viherkaistalle. Kuvassa viherkaista ennen rakennustöiden aloittamista kesällä 2017.

Biohiiltä testataan nyt biopidätysalueessa ja kantavassa kasvualustassa

teksti: HANNA MYLLYLÄ, kuvat: HANNA MYLLYLÄ, RAMBOLL FINLAND OY

Suomessa biohiilen käyttö viherrakentamisessa on vielä hyvin vähäistä ja koeluentoista. Pyrolyysillä valmistettavalla biohiilellä on tehokkaampi veden- ja ravinteidenpidätyskyky sekä hitaampi hajoamisprosessi kuin tavanomaisella kasvualustalla. Sillä on myös kyky varastoida itseensä haitta-aineita ja raskasmetalleja. Espoon ja Jyväskylän kaupunki kiinnostuivat pilotoimaan biohiilirakennetta hulevesien määrällisen ja laadullisen hallinnan, sekä katualueen kasvillisuuden menestymisen ja ylläpidon näkökulmista. Tästä aiheesta syntyi opinnäytetyö Biohiili biopidätysalueessa ja kantavassa kasvualustassa.

Tukholman kaupunki on testannut biohiiltä katupuiden kantavissa kasvualustoissa jo lähes 10 vuoden ajan. Biohiilen avulla on tavoiteltu kasvualustan luonnollista hydrologiaa ja hulevesien suodatusmekanismeja. Tukholmassa on havaittu, että lisäämällä biohiiltä katupuiden kasvualustaan sen huokoisuus paranee ja tiivistyminen vähenee.

Vanhojen katupuiden tiivistyneitä kasvualustarakenteita on korvattu biohiilirakenteella. Myös uusia puita on istutettu biohiilipitoiseen kantavaan kasvualustaan. Biohiilen lisäksi Tukholman kaupunki on testannut kantavan kasvualustan hienoaineksen tilalla hiekkaa, savea, laavaa sekä turvetta, mutta ei yhtä hyvin tuloksin. Vuodesta 2009 lähtien Tukholman kaupungin katupuiden kantavien kasvualustojen rakenteissa on käytetty pääasiassa biohiiltä.

Tukholman kaupungin biohiilipitoisten kantavien kasvualustojen ja hulevesiratkaisujen rakennussuunnitelmia sekä Suomessa perinteisiä kantavan kasvualustan ja biopidätysalueen ratkaisuja soveltamalla suunniteltiin biohiilipohjainen kantavan kasvualustan rakenne Jyväskylään sekä biohiilipohjaiset biopidätysalueet Espooseen.

Case Puutarhakatu, Jyväskylä

Green Street -pilottihanke sijoittuu Jyväskylän Puutarhakadulle ja on yksi Jyväskylän kaupungin käynnissä olevista vesien tilaan ja hulevesien hallintaan keskittyvistä projekteista, jotka yhdessä sisältyvät Tourojoen valuma-alueen hyvän vesien tilan saavuttaminen -hankkeen.

seen. Hanke on osa ympäristöministeriön hallinnoimaa, hallitusohjelman mukaista Kiertotalouden läpimurto, vesitöt kuntoon -kärkihanketta.

Tukholman kaupungin tutkimat ja rakentamat useat biohiilikohdeet innostivat Jyväskylän kaupunkia testaamaan biohiiltä myös Puutarhakadulla. Tavanomaisen hulevesiviemäroinnin sijaan tässä kohteessa pilotoidaan innovatiivisia rakenteita tavoitteena tehostaa hajutettua hulevesien hallintaa kaupunkialueella sekä yhdistää katupuiden kasvualustat olennaiseksi ja toiminnalliseksi osaksi hulevesien hallintaa.

Jyväskylän kaupungin yleissuunnitteluinsinööri Paula Tuomen mukaan Puutarhakadulla halutaan testata mm. biohiilen vaikutuksia hulevesien laatuun ja määrään sekä tutkia, miten katupuut ja muu kasvillisuus menestyvät biohiilipitoisissa kasvualustassa. Puutarhakadun biosuodatusrakenteissa testataan biohiilen lisäksi myös kevytsoraa ja turvetuhkaa. Hulevesien määrällistä ja laadullista hallintaa on ollut tavoitteena toteuttaa viherpainanteilla, istutusalueilla sekä läpäisevillä päällysteillä siten, että hulevesi virtaisi usean menetelmän läpi.

Puutarhakadulle suunniteltiin kaksi periaatetta biohiilipohjaiselle kantavalle kasvualustalle. Toisessa tapauksessa kantava kasvualusta sijoittuu vettä läpäisevän kiveyksen alle. Kantava kasvualusta jatkuu kadunvarsipysäköinnin alle, joka päällystetään läpäisevällä asfaltilla. Hulevesi imeytyy läpäisevän kiveyksen ja asfaltin läpi kasvualustaan.

Toinen kantavan kasvualustan periaate sijoittuu viherkaistalle nur-



Ensimmäinen biohiili-sepeli-seos levitettiin Espoon Merituulentielle rakennettavalle biopidätysalueelle marraskuussa 2017.

mipeitteiseen painanteeseen, jonne hulevedet ohjataan katualueelta reunakivilyn jassaa olevasta aukosta. Tässäkin periaatteessa hulevesiä imeytyy myös läpäisevien päällysteiden läpi.

Puutarhakadulla kantavana kasvialustana suunniteltiin käytettäväksi suurikokoisen kalliomurskeen ja biohiilen seosta. Juuripaakun ympärille levitetään biohiiltä ja hienompirakeista sepeliä, jotta juuret pääsevät helpommin alkuun kasvussaan.

Puutarhakadun rakennussuunnitteluvaihe käynnistyi syksyllä 2017.

Case Merituulentie, Espoo

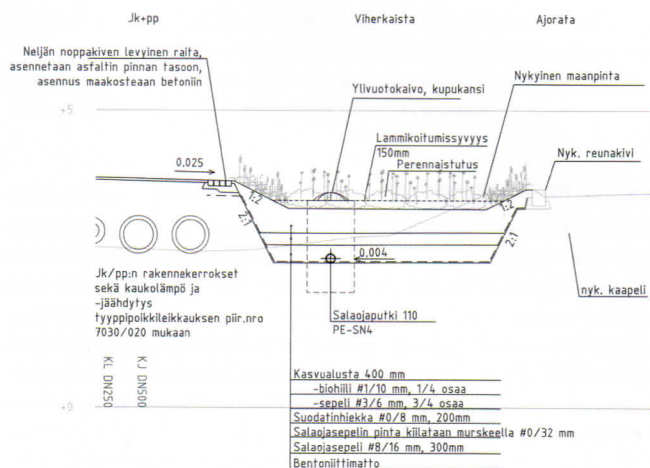
Osana suurempaa Espoon Niittykummun alueen rakennussuunnittelua suunniteltiin nykyisen Merituulentien varrelle neljä biopidätysaluetta sekä yksi viivytyksen painanne, joissa tarkoituksena on pilotoida biohiilen toimintaa hulevesien puhdistuksessa.

Espoon kaupungin teettämässä, Niittykummun alueelle aiemmin tehdyssä hulevesien hallintasuunnitelmassa etsittiin keinoja sekä määrälliseen että laadulliseen hulevesien hallintaan. Espoon kaupungin maisema-arkkitehdin Sari Knuutin mukaan etenkin Gräsanojan vedenlaatu ja meritaimenten suojelu ovat olleet tärkeinä motiivina näiden keinojen pohtimiselle.

Merituulentien biohiilipilottikohde on ensimmäinen Espoossa. Tavoitteena on saada perustietoa ja kokemusta rakenteen toimivuudesta vesien puhdistajana sekä siitä, kannattaako sitä käyttää muualla. Pilotissa vertaillaan neljää toisistaan hieman eroavaa biopidätysaluetta niiden puhdistustehon, rakentamisen, ylläpidon ja ulkonäön kannalta.

Biopidätysalueet suunniteltiin pareiksi, joista toiseen pariin istutetaan perennat ja toiseen pariin pensaat. Parin biopidätyspainanteista toiseen suunniteltiin biohiilipohjainen rakenne ja toiseen tavanomainen kasvialustarakenne siten, että sekä perennat että pensaspeitteillä painanteella on kaksi erilaista rakennetta. Siten voidaan verrata esimerkiksi kahta perennapeitteistä biopidätysrakennetta keskenään.

Ajoradan hulevedet ohjataan pintavaluntana biopidätysalueeseen, joko suoraan rummun avulla tai pienen laskeutusaltan kautta, johon raskaamman kiintoaineksen odotetaan jäävän. Hulevedet imeytyvät kasvialustaan, josta kasvit hyödyntävät vettä ja ravinteita. Biohiilipitoisen kasvialustan odotetaan imevän itseensä enemmän vettä kuin tavanomaisen kasvialustan, jolloin biopidätysalueen viivytysominaisuudet paranevat. Kasvialustana käytettiin biohiilen ja hienorakeisen sepelin seosta. Biohiilen odotetaan suodattavan ajoradalta tulevasta hulevedestä raskasmetalleja ja muita haitta-aineita. Hulevedet valuvat myös kasvialustan alapuolisten suodatuskerrosten läpi lopul-



Biohiilipitoisen biopidätysalueen poikkileikkaus.

ta salaajakerrokseen ja salaajaputken kautta hulevesiviemäriin.

Biopidätysalueen kasvilajeiksi valittiin kestäviä ja helppohoitoisia lajeja, jotka peittävät biopidätysalueen pinnan nopeasti. Pensaslajeina käytettiin kiiltoheisiä (*Viburnum lentago*) ja paljakkapajua (*Salix glauca* var. *calliovaprea* 'Haltia'). Perennoina käytettiin pikkuröyhätarta (*Acronogonon nakaii*), isokonnantatarta (*Bistorta officinalis*), neidontatarta (*Fallopia japonica* var. *compacta*) sekä ukkomansikkaa (*Fragaria moschata*).

Merituulentien biopidätysalueiden rakennustyöt aloitettiin syksyllä 2017. Kasvit istutetaan keväällä 2018.

Biohiilen aktivointi lannoittamalla tai lisäämällä kompostia on tärkeää

Biohiili tulee ensin aktivoida, jotta se olisi orgaanisesti aktiivinen. Biohiileen suositellaan lisättäväksi lisäravinteita tai kompostia ennen kuin biohiili sekoitetaan kasvialustaan. Ravinteiden lisääminen on kompostin lisäämistä nopeampi tapa aktivoida biohiili.

Raavan biohiilen pinta alkaa heti pyrolyysin jälkeen hapettua ja siihen muodostuu toiminnallisia ryhmiä hiilestä, vedystä ja hapestä. Jos tällaista aktiivimatonta biohiiltä laitettaisiin maahan sellaisenaan, se sitoisi ravinteita kasvien saavuttamattomiin sekä lisäisi epävakaita hiilyhdytisteitä, jotka ruokkisivat mikrobeja, jotka taas kuluttaisivat typpivarjoja pois kasvien käytöstä.

Ideaalitilanteessa biohiilen annetaan kyllästyä ravinneliuoksessa tiivissä säilytyksessä ja vasta sen jälkeen biohiili sekoitettaisiin sepeliin, seos levitetään maahan ja kasvit istutetaan kasvialustaan. Merituulentien kokeillaan raekooltaan suuremman, kuorrutetun, hitaasti ravinteita vapauttavan lannoitteen, sekä hyvin hienorakeisen lannoitteen yhdistelmää.

Biohiilirakenteen seuranta

Biohiilipohjaisen rakenteen seuranta ja tutkimus on tärkeää, sillä käytännökokemuksia biohiilirakenteen toimivuudesta Suomessa on vielä hyvin vähän. Seurannasta on tavoitteena laatia suunnitelma, miten, milloin ja millä menetelmillä seurantaan tullaan tekemään.

Jyväskylän Puutarhakadulla on tarkoitus seurata rakenteen ja ylläpidon toimivuutta. Merituulentien biopidätysalueesta toimivan paremmin kuin muut, jolloin rakennetta voitaisiin hyödyntää myös muissa kohteissa. Lisäksi halutaan selvittää, antaako hulevesien puhdistustulos vastinetta suunnittelun, toteutuksen ja kunnossapidon kustannuksille.

Biohiilirakenteeseen tulevan ja rakenteesta lähtevän huleveden vedenäytteitä tulisi verrata keskenään, jotta nähdään, miten biohiilirakenteen läpi suodattuneen veden ravinne- ja haitta-ainearvot muut-

tuvat. Biohiilirakenteella olisi hyvä olla verrokkikohteena tavanomaisen rakenneratkaisu, jota seurattaisiin samalla tavoin. Muita seurattavia asioita ovat vedenpidätyskyky, kasvillisuuden kehittyminen ja juuriston kunto, mykorritsasien esiintyminen, pH ja suolojen määrä.

Biohiili nostattaa esiin vielä paljon kysymyksiä

Biohiilen ominaisuuksia on tutkittu laajalti ympäri maailman, mutta tutkimukset painottuvat laboratorio-oloihin, trooppiseen ympäristöön tai maatalouden alalle. Biohiilen hyötyjä ja haittoja tulisi testata lisää todellisessa ympäristössä, jotta saataisiin parempi kokonaiskuva biohiilen kannattavasta käytöstä viherrakentamisessa. Lisäksi tulisi testata erilaisia biohiilen, kompostin ja kiviaineksin seoksia ja seossuhteita sekä erilaisten lannoitteiden käyttöä, jotta saadaan selville parhaat seokset ja lannoitusuhteet eri tarpeisiin.

Useassa lähteessä on kerrottu biohiilen potentiaalista vähentää ilmakehän hiilidioksidia varastoimalla hiiltä itseensä ja näin kykyä toimia hiilinieluna. Lisäksi biohiiltä ja sen hidasta biologista hajoamista on verrattu turpeeseen ja sen ominaisuuksiin. Biohiilen käyttämistä turpeen sijaan vähentäisi turpeen nostosta aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Mutta millaiset ympäristövaikutukset kokonaisuuden kannalta ovat esimerkiksi kasvualustarakenteella, jossa biohiili on sekoitettu kalliosta murskattuun sepeliin? Millaiset ympäristöhaitat ovat maa-ainesten ottamisella, murskaamisella ja kuljettamisella? Ovatko biohiilen hyödyt ja maa-ainesten ottamisen haitat toistensa kompensoivia arvoja?

Biohiilen ominaisuuksista tehtyjä tutkimuksia läpikäydessä heräsi kysymys siitä, kelluuko biohiili ja voiko se kuljettaa itseensä imeytyneet raskasmetallit ja ravinteet sadeveden mukana toiseen paikkaan?

Koska biohiili on varsin pysyvä aine, eli sen hajoaminen tapahtuu erittäin hitaasti, etenkin pitkäaikaista biohiilirakenteen seurantaa tulisi tehdä. Miten biohiilen ominaisuudet ja niiden vaikutukset muuttuvat ajan myötä biopidätysalueessa ja kantavassa kasvualustassa? Pit-

käaikaisella tutkimuksella saataisiin mahdollisesti myös tuloksia siitä, miten kauan biopidätysalue toimii tukkimattomana.

Voiko biohiili kyllästyä raskasmetalleista ja haitta-ainesta? Mitä biohiille tapahtuu sen jälkeen, kun biohiilirakenne ei enää toimi yhtä tehokkaasti? Vaihdettaanko biohiili uuteen? Voidaanko kerran käytettyä biohiiltä vielä kierrättää ja uusiokäyttää jossakin muualla? ■

Kirjoittaja on maisemasuunnittelija (hortonomi AMK) sekä infrarakentamisen insinööri (AMK), Ramboll Finland Oy.

Opinnäytetyö Biohiili biopidätysalueessa ja kantavassa kasvualustassa löytyy Theseus.fi sivustolta.

Lähteet:

Brewer, C.E., Chuang, V.J., Davies, C.A., Driver, L.E., Dugan, B., Gao, X., Gonnermann, H., Masiello, C.A., Panzacchi, P. & Zygourakis, K. (2014). New approaches to measuring biochar density and porosity. Viitattu 5.6.2017 osoitteeseen <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/new-approaches-to-measuring-biochar-density-and-porosity-BbosBow10d?articleList=%2Fsearch%3Fquery%3Dbiochar%2Bdensity>
Embrén, B. (2016b). Planting Urban Trees with Biochar. the Biochar Journal 2016. Viitattu 23.8.2017 osoitteeseen <https://www.biochar-journal.org/en/ct/77-Planting-Urban-Trees-with-Biochar>
Jyväskylän kaupunki. (2017). Vihreitä vesireittejä. Viitattu 31.8.2017 osoitteeseen <http://www.jyvaskyla.fi/hankkeet/vihreitavesireitteja>
Wilson, K. (2014). Switzerland. How biochar works in soil. The Biochar Journal. Version of 31th October 2014. Viitattu 26.6.2017 osoitteeseen <https://www.biochar-journal.org/en/ct/32-How-biochar-works-in-soil>
Opinnäytetyötä varten haastateltiin Espoon Kaupungin maisema-arkkitehtia Sari Knuutia sekä Jyväskylän kaupungin yleissuunnitteluinsinööriä Paula Tuomea.

Mitä biohiili on?

teksti: HANNA MYLLYLÄ

Eurooppalaisen biohiilsertifikaatin (European Biochar Certificate) mukaan biohiiltä valmistetaan biomassasta esimerkiksi puusta, biohajoavasta kotitalousjätteestä, puutarhajätteestä, lannasta sekä raakapuuviilaleikkauksista. Valmistusmenetelmää kutsutaan pyrolyysiksi, eli kuivatuslaugeksi, jossa biomassan eloperäiset ainesosat hajotetaan vähähappisessa 350 °C –1000 °C lämpötilassa. Sertifikaatin mukaan biohiilellä on myös ympäristön kannalta kestävä tuotantoprosessi sekä kestävä laatu- ja käyttöominaisuudet. (European Biochar Certificate 2012, European Biochar Certificate 2013.)

Biohiili-termi on joissakin yhteyksissä sekoitettu muihin hiilen muotoihin, joten tärkeää on ymmärtää, mitä biohiili todellisuudessa on (European Biochar Foundation 2012). Biohiiltä ei tule sekoittaa puuhiileen (grillihiili, charcoal), aktiivihiiileen (activated carbon) eikä torrefioituun biomassaan (torrefaction biomass), josta valmistetaan esimerkiksi puuhiilipellettejä.

Pyrolyysimenetelmiä on kaksi; hidas pyrolyysi, jossa lopputuotteena saadaan noin 35 % biohiiltä, sekä nopea pyrolyysi, jossa lopputuotteena saadaan noin 12–15 % biohiiltä. (Kujala 2012, 16 – 20.) Lopputuotteena saatava biohiili on kutistunut versio alkuperäisestä biomassasta, jossa on enää vain hyvin vähän happea ja kosteutta jäljellä.

Yhtenä biohiilen ominaisuutena on sen erittäin huokoinen rakenne, joka pystyy imeämään itseensä viisinkertaisen määrän oman painonsa verran vettä. Biohiilen hajottamiseen mikrobeilla kuluu hyvin pitkä aika, mutta miten kauan, se vaatii vielä jatkotutkimuksia.

Lähteet:

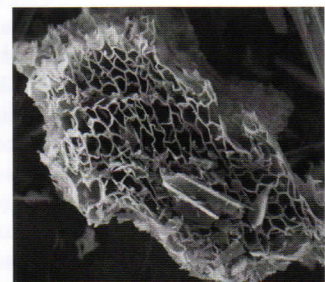
European Biochar Foundation. (2012). European Biochar Certificate, Guidelines for a sustainable production of biochar. Version 6.2E of 4th February 2016. <http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/ebc-guidelines.pdf>

European Biochar Foundation. (2013). European Biochar Certificate, Guidelines for a sustainable production of biochar; Appendix 1. Positive list of biomass approved for use in producing biochar. Version 1 October 2013. Viitattu 5.6.2017 osoitteeseen <http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/feedstock.pdf>

Kujala, M. (2012). Biosampo koulutus- ja tutkimuskeskuksen hitaan pyrolyysireaktorin koeajo. Opinnäytetyö. Teknologiosaamisen johtaminen. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Saatavilla

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/48984/Kujala%20Mia.pdf?sequence=1>

Wilson, K. (2014). Switzerland. How biochar works in soil. The Biochar Journal. Version of 31th October 2014. Viitattu 26.6.2017 osoitteeseen <https://www.biochar-journal.org/en/ct/32-How-biochar-works-in-soil>



Mikroskooppilla katsottuna biohiilen luurankomainen rakenne muistuttaa hieman huokoista pesusientä (Wilson 2014).

Biohiilen ominaisuudet riippuvat käytetystä raaka-aineesta sekä pyrolyysiprosessista

teksti: HANNA MYLLYLÄ

Biohiilen huokoisuus, hiilipitoisuus sekä pH riippuvat käytetystä raaka-aineesta ja pyrolyysiprosessin lämpötilasta. On tutkittu, että huokoisuuden huippu saavutetaan pyrolyysin 750 °C lämpötilassa, silloin kun raaka-aineena käytetään puuainesta. Korkeammassa lämpötilassa biomassa alkaa tuhkaantua ja huokokset tukkiutua. (Jindo, Mizumoto, Sanchez-Monedero, Sawada, & Sonoki 2014). Suuren huokospinta-alansa johdosta biohiili voi imeä itseensä jopa yli viisinkertaisen määrän oman painonsa verran vettä (Schmidt 2014).

Biohiilellä, jonka raaka-aineena on käytetty puuta, on sitä korkeampi pH, mitä korkeampaa pyrolyysilämpötilaa on valmistuksessa käytetty. Esimerkiksi omenapuusta ja tammesta valmistettujen biohiilten pH:t vaihtelevat keskenään noin 6,5...10 välillä. (Jindo ym. 2014.)

Biohiili on negatiivisesti varautunutta ainesta. Lisäämällä sitä maaperään positiivisesti varautuneet vetyionit sekä muut ravinneionit kiinnittyvät biohiilirakeiden pintaan. Vetyionien kiinnittyminen nostaa maaperän pH:ta. Biohiili siis vähentää maaperän happamuutta, mikä taas vähentää kalkitustarvetta. (IBI 2017.)

Kasvialustan ravinteet luokitellaan saatavuutensa perusteella vesiliukoisiin, vaihtuviin ja vaikealiukoisiin ravinteisiin. Biohiili varastoi huokosiinsa vettä ja siihen liuenneita ravinteita. Veteen liuenneet ravinteet kulkeutuvat juuriston saataville liikkuvan veden mukana tai diffuusion avulla, jolloin ionit kulkeutuvat nesteessä ilman, että vesi itsessään liikkuisi. Vaihtuvat ravinteet kiinnittyvät sähköisiin varauksien biohiilihiukkasten pinoille, josta ne voivat vaihtua maanesteessä oleviin ioneihin. Vaikealiukoiset ravinteet ovat osana eloperäisen ja kivennäisaineksen rakennetta. Ne ovat kasvien saatavilla vasta siten, kun rakenteet hajoavat biologisesti tai kemiallisesti vesiliukoiseen muotoon. (Sirviö 2009, 27 - 31.)

Kationinvaihtokapasiteetti (cation exchange capacity, CEC) kuvaa materiaalin kykyä sitoa itseensä ravinteita, positiivisesti varautuneita ioneja eli kationeja. (Schmidt 2014.) Biohiilen suuresta pinta-alasta sekä sen negatiivisesta varauksesta johtuen, se tarjoaa paljon paikkoja kationeille. Biohiilellä on siis toisin sanoen hyvä kationinvaihtokapasiteetti.

(Schmidt, 2014) Biohiilellä on kyky varastoida maanesteestä itseensä myös haitta-aineita ja raskasmetalleja. (Gray 2015.)

Biohiilen suuri huokoisuus ja kationinvaihtokapasiteetti tarjoavat myös mikro-organismeille, bakteereille ja mykorritsasienelle hyvät elin-

olosuhteet. Kasvin juuret itsessään eivät ylety biohiilirakeiden pienimpiin huokosiin, joihin mykorritsasienien juuret mahtuvat. Tällä tavoin mykorritsasieni edesauttaa kasvia saamaan käyttöönsä enemmän vettä ja ravinteita. (Balogh-Brunstad ym. 2014.) ■

Lähteet:

Balogh-Brunstad, Z., Hammer, E.C., Jakobsen, I., Olsson, P.A., Rilling, M.C., & Stipp, S.L.S. (2014). A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surface. *Soil Biology & Biochemistry* volume 77. Viitattu 22.8.2017 osoitteeseen <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/a-mycorrhizal-fungus-grows-on-biochar-and-captures-phosphorus-from-its-7WnYtXZTSz?articleList=%2Fsearch%3Fquery%3Dmycorrhizal%2Bbiochar>

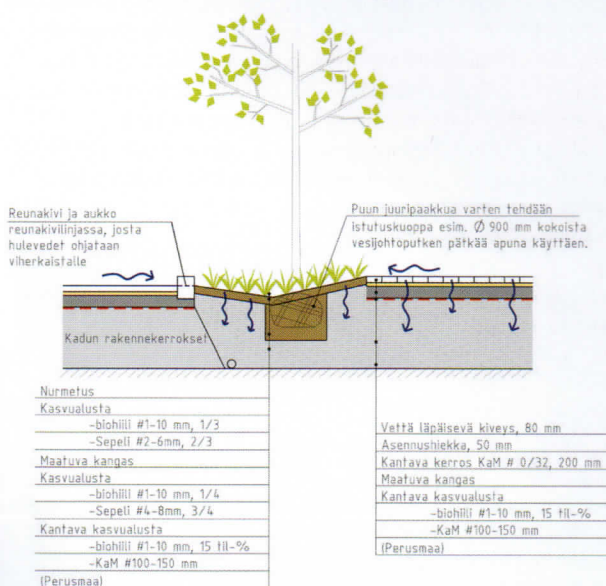
Gray, M. 2015. Oregon State University. Port of Port Townsend biochar stormwater filtration feasibility study. Viitattu 6.9.2017 osoitteeseen <http://portofpt.com/wp-content/uploads/2015-Port-Biochar-Feasibility-Report.pdf>

International Biochar Initiative IBI. 2017. Frequently asked questions about biochar. Viitattu 6.9.2017 osoitteeseen <http://www.biochar-international.org/biochar/faqs#q7>

Jindo, K., Mizumoto, H., Sanchez-Monedero, M.A., Sawada, Y. & Sonoki, T. (2014). Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*. Saatavilla <https://www.biogeosciences.net/11/6613/2014/bg-11-6613-2014.pdf>

Schmidt, HP. 2014. Terra Preta – model of cultural technique. *The Biochar Journal* 2014. Viitattu 16.5.2017 osoitteeseen <https://www.biochar-journal.org/en/ct/4-Terra-Preta-%E2%80%93-model-of-a-cultural-technique>

Sirviö, J. toim. (2009). Viheralueiden kasvialustat. Viherympäristöliitto ry, Julkaisu 31.



Suunnitelmaluonnos nurmipintaiselle viherkaistalle sijoittuvasta biohiilipohjaisesta kantavasta kasvialustasta.



Pajusta valmistettuja biohiilipaloja. (Kuva: Hanna Myllylä 2017)