

**BIOHIILEN VAIKUTUS GOLFVIHERIÖN KASVUALUSTAN
OMINAISUUKSIIN**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Hämeenlinna, Bio- ja elintarviketekniikka

Kevät, 2020

lina Lahti

Bio- ja elintarviketekniikka
Hämeenlinna

Tekijä	lina Lahti	Vuosi 2020
Työn nimi	Biohiilen vaikutus golfviheriön kasvualustan ominaisuuksiin	
Työn ohjaaja	Maritta Kymäläinen	

TIIVISTELMÄ

Työ tehtiin osana Hämeen ammattikorkeakoulun ”Biohiilestä bisnestä Hämeeseen” -hanketta. Työn tarkoituksena oli kokeilla biohiilen toimivuutta golfkentän viheriön kasvualustassa varsinaisen kasvukerroksen alapuolella. Tavoitteena oli selvittää, miten biohiili vaikuttaa viheriön kasvualustan ravinteiden- ja vedenpidätyskykyyn ja millaisina määrinä biohiiltä tulisi lisätä kasvualustan alaosaan. Lisäksi tehtiin havaintoja biohiilen vaikutuksista muihin viheriön kasvualustan ominaisuuksiin. Kasvualustaan lisätynä biohiili toimisi myös hiilinieluna ilmastonmuutosta vastaan sitomalla itseensä hiilidioksidia ilmasta.

Koe suoritettiin Hattulassa Lepaan golfkentällä kesän ja syksyn 2019 aikana. Kokeessa oli käytössä neljä koeluetta golfkentän viheriöllä. Testialueille laitettiin uudet kasvualustat, joista kolmeen oli lisätty biohiiltä kasvukerroksen alapuolelle. Testialueita kasteltiin kerran viikossa ja niistä otettiin vesinäytteet analyysejä varten. Vesinäytteistä analysoitiin sähköjohtavuus sekä ravinnepitoisuudet ravinteidenpidätyskyvyn määrittämiseksi. Lisäksi vesinäytteistä määritettiin pH ja suspendoituneen kiintoaineen määrä. Vedenpidätyskykyä mitattiin kasvualustoihin asetetuilla kosteusantureilla. Laboratoriossa määritettiin kasvualustojen todellinen kosteusprosentti kosteusanturilukemien tulkitsemista varten.

Kasvualustan läpi suotautuneiden vesien ravinnepitoisuuksissa ei havaittu eroja. Biohiiltä eniten sisältäneen kasvualustan läpi suotautunut vesi oli kuitenkin selkeästi muita kirkkaampaa. Laboratoriossa tehdyt kosteusmitaustulokset osoittavat, että biohiili pidättää vettä paremmin kuin tavallisesti golfviheriöllä käytetty USGA-kasvualusta. Kokeessa ei havaittu, että biohiilellä olisi haittavaikutuksia kasvualustan ominaisuuksiin, joten sitä voidaan turvallisesti käyttää golfkentän viheriön kasvualustassa.

Avainsanat Biohiili, kasvualusta, ravinteidenpidätyskyky, vedenpidätyskyky

Sivut 30 sivua, joista liitteitä 1 sivu

Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering
Hämeenlinna University Centre

Author	lina Lahti	Year 2020
Subject	Effect of Biochar on the Golf Course Soil	
Supervisor	Maritta Kymäläinen	

ABSTRACT

A commissioner of the thesis was “Biohiilestä bisnestä Hämeeseen” project run by Häme University of Applied Sciences (HAMK). First, the aim was to study the effect of biochar on the leachate water from the golf course and whether it could improve the physical properties of the soil. Second, the aim was to test its effects on the nutrient concentration and water retention capacity of soil and if the amount of biochar was of any significance. Besides the effects on soil and water, biochar could be utilized as a carbon sink by binding carbon dioxide from air against climate change.

The experiment was carried out on a golf course in Lepaa, Hattula in 2019. There were four test areas on the putting greens added with the test soil mixtures of which three of them included biochar added under the growth layer. Once a week, the test areas were watered and water samples for analyses were collected. Electrical conductivity and nutrient analysis were used to measure the nutrient concentration of water samples. Also pH and total suspended solids in the water samples were assayed. The soil water retention capacity was measured by the humidity sensors on the field and the results were verified by assaying the actual soil humidity in the laboratory.

As a result, there were no differences between the test plots by the amount of the nutrients in the runoff water. However, the color of the leachate water from the most biochar amended golf soil was visibly the clearest. Biochar had better water retention capacity than the conventional golf course substrate “USGA” according to the humidity measurements in the laboratory. No potential harmful effects caused by biochar were detected, so it seems that biochar is safe to use in the golf course soil.

Keywords Biochar, substrate, fertility concentration, water retention capacity

Pages 30 pages including appendix 1 page

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	GOLFKENTÄN KASVUALUSTA	2
2.1	Golfviheriön rakenne.....	2
2.2	Kasvualustavaatimukset.....	2
2.2.1	Kasvualustan tasalaatuisuus.....	3
2.2.2	Kasvualustan orgaaninen aines	3
2.2.3	Hiekan raekoko ja rakeiden muoto	3
2.2.4	Vedenläpäisy- ja pidätyskyky.....	4
2.2.5	Vesi- ja ilmahuokokset	5
2.2.6	Ominaispinta-ala.....	5
2.2.7	Happamuus.....	5
2.2.8	Ravinteet.....	5
2.3	Lepaan golfkenttä.....	6
3	BIOHIILEN KÄYTTÖ GOLFKENTILLÄ	7
3.1	Biohiili.....	7
3.2	Tutkimustuloksia biohiilen käytöstä golfnurmialustoilla	8
3.2.1	Tutkimuksia hallituissa olosuhteissa	8
3.2.2	Kenttäkokeita	9
4	MATERIAALIT JA KOEJÄRJESTELYT.....	9
4.1	Biohiili.....	10
4.2	Kasvualusta ja biohiili-kasvualusta –seokset.....	10
4.3	Koejärjestelyt Lepaan golfkentällä	12
4.3.1	Testiviheriöt ja lysimetrit.....	12
4.3.2	Viheriöiden lannoitukset	14
4.3.3	Kosteusmittaukset.....	15
4.3.4	Säähavainnot	16
4.4	Testialueiden kastelu ja näytteenotto	16
5	ANALYYSIT.....	17
5.1	Suspendoitunut kiintoaine (TSS)	17
5.2	Sähkönjohtokyky ja pH.....	17
5.3	Ravinneanalyysi.....	18
5.4	Kosteusmittausmenetelmän kalibrointi laboratoriossa	18
6	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	18
6.1	Suspendoitunut kiintoaine (TSS)	19
6.2	Veden valuma.....	20
6.3	Vedenpidätyskyky	20
6.3.1	Kosteusmittaustulokset kentällä	21
6.3.2	Kosteusmittausmenetelmän kalibrointi laboratoriossa.....	21
6.4	Happamuus (pH)	23

6.5	Ravinnevaluma	24
6.5.1	Sähkönjohtavuus	24
6.5.2	Ravinneanalyysi	24
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	25
	LÄHTEET	27

Liitteet

Liite 1	Mittalaitteen lukemat ja todellinen kosteusprosentti laboratoriossa tehdyistä kosteusmittauksista.
---------	--

1 JOHDANTO

Biohiili on hiiltynyttä orgaanista ainesta. Biohiiltä syntyy, kun biomassaa, esimerkiksi puuhaketta, pyrolysoidaan eli kuumennetaan hapettomissa olosuhteissa. (Dinelli, 2019) Biohiili on hiilinielu, joka jo sen valmistusvaiheessa pidättää hiiltä, joka voisi muuten vapautua ilmaan hiilidioksidina (Laurila, 2019, s. 16). Biohiili ei maadu ja se voi sitoa itseensä 3,5-kertaisesti oman painonsa verran hiilidioksidia (Carbofex, 2019). Hiilidioksidipäästöt ovat kasvihuonekaasupäästöjä ja eniten ilmastoa kuormittava tekijä. Biohiiltä käyttämällä pyritään ehkäisemään ilmastomuutosta ja saavuttamaan hiilineutraalimpi tulevaisuus.

Biohiilellä on kymmeniä eri käyttökohteita. Biohiili soveltuu kasvualustaan maanparannusaineeksi, hulevesien tai ravinnepitoisten vesien suodatukseen, viherrakentamiseen tai sitä voidaan lisätä esimerkiksi ihovoiteisiin tai saippuaan. (Schmidt & Wilson, 2014; Suomen biohiiliyhdistys, n.d.)

Yksi potentiaalisista biohiilen käyttökohteista on biohiilen lisääminen golfkentän kasvualustaan. Käyttötestauksissa on tutkittu mm. biohiilen vaikutuksia kentän nurmen kasvuun ja kasvualustan veden- ja ravinteiden pidätyskykyyn, jolla pyritään vähentämään mahdollisten ylijäämävainteiden päätyminen luonnon vesistöihin. Biohiili sitoo myös vettä tehokkaasti itseensä. Maahan lisättynä biohiili sitoo rankkasateista johtuvaa ylimääräistä vettä itseensä, jotta vesi ei päätyisi hulevesinä viemäriverkostoon. (Suomen biohiiliyhdistys, 2019) Biohiilen kyky pidättää vettä vähentää myös kastelun tarvetta golfkentillä (Ruuskanen, 2019).

Tässä työssä käytettiin biohiiltä osana golfkentän kasvualustaa erilaisina pitoisuuksina ja selvitettiin, vaikuttaako se kasvualustan veden- ja ravinteidenpidätyskykyyn sekä onko biohiilen käytöllä muita vaikutuksia kasvualustaan. Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Miten biohiili vaikuttaa kasvualustan ravinteidenpidätyskykyyn?
- Miten biohiili vaikuttaa kasvualustan vedenpidätyskykyyn?
- Onko biohiilen määrällä vaikutusta ravinteiden- ja vedenpidätyskykyyn?
- Mitä muita vaikutuksia biohiilen käytöllä voidaan havaita?

Työ tehtiin osana Hämeen ammattikorkeakoulun EAKR-rahoitteista ”Biohiilestä bisnestä Hämeeseen” -hanketta, joka on käynnissä vuoden 2020 loppuun asti (2018–2020). Hankkeen yhtenä tavoitteena on löytää biohiilille mahdollisia käyttösovelluksia Kanta-Hämeen alueella ja testata biohiilen käyttöä näissä kohteissa. Koe suoritettiin Lepaan golfkentällä Hattulassa.

2 GOLFKENTÄN KASVUALUSTA

Golfkentän kasvualustan pitää olla kestävä: sillä pelataan, sitä leikataan ja hoidetaan jatkuvasti. Ajan saatossa kasvualusta tiivistyy, mutta se ei saa menettää ilmapuuttaan tai vedenläpäisykykyään. Kasvualustan tulee myös pidättää vettä ja ravinteita hyvin, koska kentän nurmi on lyhyt, jolloin sillä on myös matala juuristo. (Laukkanen & Walden, 2010, s. 33)

2.1 Golfviheriön rakenne

Viheriön kasvualustakerroksen paksuuden suositellaan olemaan 300 mm. Kasvualustakerroksen alla on salaojakerros, joka on vähintään 100 mm:n paksuinen. Salaojakerroksessa sijaitsevat viheriöiden sadetinputket. Kuva 1 on leikkauskuva normaalista golfkentän viheriön rakenteesta.



Kuva 1. Poikkileikkauskuva viheriön rakenteesta. (Jokinen Jari, 2012)

2.2 Kasvualustavaatimukset

Golfkentän kasvualustalle ja siinä käytettäville maa-aineksille on asetettu tietyt suositusarvot, joissa pitäisi pysyä. Koska nurmikko kasvaa ja kasvualusta tiivistyy ajan kuluessa, sen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet muuttuvat. Säännöllisten analyysien ottaminen on tärkeää, jotta voidaan arvioida kentän kuntoa ja mahdollisen peruskorjauksen tarvetta. Kasvualustasta tehtäviä analyysejä ovat mm. vedenläpäisy- ja pidätyskyvyn mittaust, eloperäisen eli orgaanisen aineksen määrän mittaus sekä raekokoja-kauman mittaus. (Laukkanen & Walden, 2010, ss. 34–35)

2.2.1 Kasvualustan tasalaatuisuus

Kasvualustan tasalaatuisuus jokaisella viheriöllä on tärkeää, koska rakeiden koko ja muoto vaikuttavat kasvualustan ominaisuksiin. Kasvualustan on oltava myös tasaisesti sekoitettu jo ennen rakennuspaikalle tuontia. Hiekan ja turpeen sekoittaminen keskenään rakentamisen aikana ei tee kasvualustasta tarpeeksi laadukasta ja se saattaa alkaa painua ajan mittaan. Myös liian paksu kerros turvetta estää mm. veden ja ravinteiden kulkeutumista normaalisti. Viheriöiden hoitaminenkin on helpompaa, kun maan rakennekerrokset ovat tasalaatuisia. (Laukkanen & Walden, 2010, s. 34)

2.2.2 Kasvualustan orgaaninen aines

Kasvualusta koostuu yleensä hiekasta ja orgaanisesta aineksesta. Urheilunurmilla käytetään orgaanisena aineksena lähes poikkeuksetta turvetta, koska sillä on parempi vedenläpäisykyky kuin kompostoiduilla materiaaleilla. Eloperäistä ainesta käytetään, koska se parantaa kasvualustan veden- ja ravinteidenpidätyskykyä sekä lisää mikrobitoimintaa. Kasvualustassa käytettävä turve on tasalaatuista, pitkälle maatunutta (maatumisaste 5–6), jyrstettyä ja lyhytkuituista. (Laukkanen & Walden, 2010, s. 34, ss. 39–40)

Hiekan osuus kasvualustasta on 80–90 tilavuus-% ja turpeen vastaavasti 10–20 tilavuus-%. Orgaanisen aineksen määrä riippuu siitä, kuinka hienojakoista kivennäisaines on: mitä hienojakoisempaa, sitä vähemmän käytetään eloperäistä ainesta. Tilavuusprosentti on kuitenkin vain ohjeellinen. Todellinen pitoisuus ilmoitetaan painoprosentteina, koska siihen vaikuttaa useita muuttujia, ja se mitataan hehkuttamalla. Hehkutushäviö mitataan kuivaamalla kasvualusta uunissa ja punnitsemalla se, jonka jälkeen orgaaninen aines poltetaan pois ja näyte punnitaan uudestaan. Käyttökelpoisen turpeen hehkutushäviö on vähintään 85 %. Sopiva määrä eloperäiselle ainekselle käytettäväksi golfkentällä on 1–3 paino-%. Jos eloperäistä ainesta joudutaan käyttämään yli 3 paino-% haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi, kivennäisaines on liian isorakeista käytettäväksi. (Laukkanen & Walden, 2010, ss. 39–40)

2.2.3 Hiekan raekoko ja rakeiden muoto

Kiviaineksen raekokojakauma on tärkeä olla oikeanlainen ja noudattaa sille annettua rakeisuuskäyrää (Laukkanen & Walden, 2010, s. 35). Rakeisuuskäyrä kertoo kunkin raekoon kohdalla, miten suuri osuus prosenttia on pienempi kuin vastaava raekoko, eli mikä on tätä raekokoa vastaavan seulan läpäisyprosentti (Leivo & Rantala, 2001 s. 4). Liian karkearakeinen kasvualusta ei pidä kosteutta tai ravinteita riittävästi, kun taas liian hienojakoinen pidättää liikaa vettä, mistä seuraa mm. pelialustan huono kantavuus (Laukkanen & Walden, 2010, ss. 35–36).

Viheriöalueella kiviaineksen raekokojakauma voi olla esimerkiksi taulukon 1 mukainen. Hiekan raekoko tulisi sijoittua 0–4 mm:n välille, josta vähintään 90 % on yli 0,125 mm ja 70 % yli 0,25 mm:n kokoisia. Vähintään 60 % tulisi sijoittua 0,25–1 mm:n välille ja yli 2 mm:n kokoisia rakeita saisi olla enintään 3 %. (Laukkanen & Walden, 2010, s. 36)

Taulukko 1. Hiekan suositeltava raekokojakauma golfkentän viheriöalueella

Rakeiden koko (mm)	Läpäisy max (%)
4	100
2	97
1	70
0,25	30
0,15	10
0,125	6

Hiekan rakeiden muodolla on merkitystä kasvualustan vedenläpäisykykyyn ja tiivistymiseen. Paras muoto olisi pyöreähkö. Liian pyöreät rakeet kuitenkin liikkuvat kasvualustan kuormittuessa. Litteät rakeet tiivistyvät ja terävien rakeiden väliin ei jää veden ja ilman kulkeutumiseen tarvittavaa huokostilaa. Rakeiden pinnan muoto voi olla joko terävä tai sileä. Molemmissa on hyviä ja huonoja puolia. Lisäämällä hiekan joukkoon hieno- ja orgaanista ainesta sidotaan hiekkarakeet toisiinsa. Hiekan ja orgaanisen aineen yhteensopivuus on määritettävä erikseen. (Laukkanen & Walden, 2010, s. 37)

2.2.4 Vedenläpäisy- ja pidätyskyky

Kasvualusta, jolla on hyvä vedenläpäisykyky, kuljettaa tarpeeksi vettä ja ravinteita nurmen juuristolle. Golfkentän kasvualustan vedenläpäisy nopeudeksi suositellaan vähintään $K_{\text{sat}} = 15 \text{ cm/h}$. Vedenläpäisy nopeutta voidaan tutkia esimerkiksi kyllästävä tiettä määrä kasvualustaa vedellä ja mitaamalla läpi tulevan veden määrä. (Laukkanen & Walden, 2010, s. 38)

Vedenpidätyskykyyn taas tulisi olla viheriöllä 12–16 painoprosenttia. Vettä pidättyy kasvualustan huokosiin ja sen hiukkasten pinnalle Vedenpidätyskyky voidaan mitata 30 cm:n vesijännityksessä. (Laukkanen & Walden, 2010, s. 38) Testausolosuhteissa tämä tarkoittaa sitä, että testattavaa kasvualustaa laitetaan putkeen 30 cm:n kerros ja kasvualustakerroksen pinnan alapuolelle synnytetään alipaine. Alipaineen avulla vettä imetään ja otetaan aikaa niin kauan, että kaikki vesi on tullut läpi. (Relander, 2010, s. 21)

2.2.5 Vesi- ja ilmahuokokset

Hyvässä kasvualustassa on 15–25 % vesihuokosia ja 15–30 % ilmahuokosia, jolloin kokonaishuokoisuus on 35–55 %. Huokoisuus mitataan kasvualustasta, kun sen on annettu läpäistä vettä 24 tunnin ajan ja mittaus tapahtuu 30 cm:n vesijännityksessä. Kasvualustan huokosjakauman ollessa oikeanlainen kasvutekijöiden säätelyminen on mahdollista. (Laukkanen & Walden, 2010, ss. 37–38)

Kasvit tarvitsevat huokosia veden ja ilman saantiin. Vesi kulkeutuu niin pienemmissä kuin isommissakin huokosissa. Ilma kulkeutuu isoissa huokosissa. Kasvin juuret tarvitsevat happea soluhengitykseen ja ravinteidenottoon. Hapettomissa olosuhteissa kasvi hengittää anaerobisesti, jolloin maassa syntyy metaania ja muita myrkyllisiä aineita. Kasvualusta tarvitsee happea myös mikrobitoiminnan takaamiseksi. (Laukkanen & Walden, 2010, s. 37)

2.2.6 Ominaispinta-ala

Ominaispinta-ala tarkoittaa kasvualustan rakeiden pinta-alaa massayksikköä kohti (m^2/kg). Mitä suurempi kasvualustan ominaispinta-ala on, sitä paremmin se pidättää vettä ja ravinteita. Rakeiden koko ja pinnan muoto vaikuttaa kasvualustan ominaispinta-alaan. Hienojakoisella ja karheapinnaisella kasvualustalla on suurempi ominaispinta-ala kuin suurijakoisella. Eloperäisen aineksen lisääminen myös kasvattaa kasvualustan ominaispinta-alaa. (Laukkanen & Walden, 2010, s. 37)

2.2.7 Happamuus

Kasvualustan happamuuteen vaikuttaa esimerkiksi mikrobitoiminta ja kasvien elintoiminnat. Happamuus mitataan asteikolla pH 0–14. Maa on hapan, jos sen pH on alle 7 eli siinä on enemmän happamia H^+ -ioneja kuin emäksisiä OH^- -ioneja. Jokaisella nurmikasvilla on oma optimi-pH -alue. Esimerkiksi golfkentällä yleensä käytettävällä rönsyröllillä se on 5,5–6,5. (Laukkanen & Walden, 2010, s. 38)

2.2.8 Ravinteet

Nurmi tarvitsee kasvaakseen 16:ta eri ravinnetta. Ravinteita tulee olla riittävästi ja tietyssä suhteessa. Maan ravinteiden määrää voidaan selvittää viljavuusanalyysillä tai sähkönjohtokyky mittauksella. Maan ravinnepitoisuutta lisätään lannoittamalla. Vastaavasti, jos ravinteita on liikaa, laimennetaan sitä vähäravinteisella seoksella. Ainoastaan typen määrää maassa ei pystytä mekaanisesti vähentämään, vaan se haihtuu ilmakehään tai huuhtoutuu pois. (Laukkanen & Walden, 2010, s. 39; Yara, 2019)

Ravinteet voidaan jakaa pää-, sivu-, ja hivenravinteisiin. Pääravinteita ovat typpi, fosfori sekä kalium. Sivuravinteita ovat kalsium, magnesium ja seleeni. Hivenravinteita ovat rauta, mangaani, sinkki, kupari, boori, kloori sekä molybdeeni. (Yara, 2019). Pääravinteiden tarve nurmella on suurempi kuin muiden ravinteiden. Typpeä käytetään kenttäalueella vuodessa keskimäärin 25–60 kg ja fosforia 4–14 kg hehtaaria kohden. Golfviheriöllä lannoitustarve on korkeampi kuin muilla alueilla kenttää. Viheriöllä typen käyttö vuodessa voi olla jopa 100–220 kg/ha. (Laukkanen, Saarinen & Walden, 2009, ss. 52–53)

2.3 Lepaan golfkenttä

Lepaan golfkenttä sijaitsee Hattulassa. Kentällä on yhdeksän väylää sekä harjoituslyöntipaikka. Väylät näkyvät kuvassa 2. Kenttä on Hämeen ammattikorkeakoulun omistuksessa ja sitä käytetään myös golfkentänhoidon opetuksessa.



Kuva 2. Kartta Lepaan golfkentän väylistä. (Lepaa Golf, n.d.)

Lepaan golfkentän viheriöt on rakennettu suurin piirtein kuvan 1 (s. 2) mukaisesti. Kasvualustakerroksen paksuus kuitenkin vaihtelee Lepaan golfkentällä ainakin 220–400 mm:n välillä.

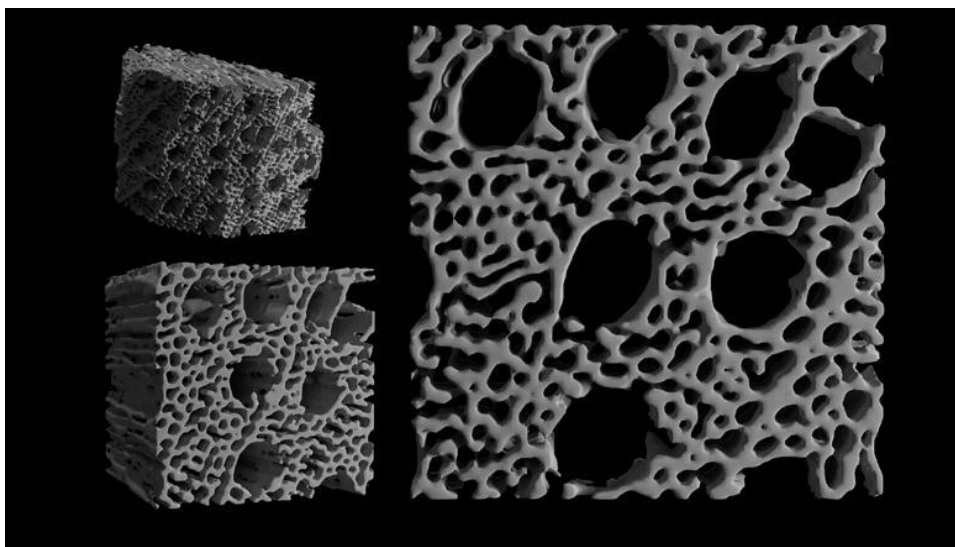
3 BIOHIILEN KÄYTTÖ GOLFKENTILLÄ

Biohiiltä ja sen ominaisuuksia on tutkittu vuosikymmeniä. Biohiilellä on todettu olevan parantavia vaikutuksia kasvualustassa, joten sitä on alettu käyttää myös golfnurmialustoilla. Erilaisia tutkimuksia ja kokeita on tehty niin ulkomailla kuin Suomessakin. Suomessa tutkimus on kuitenkin vasta hyvin vähäistä. Ensimmäiset kokeet Suomessa kentillä aloitettiin tietävästi vuoden 2019 aikana. Aiemmin testauksia on tehty ainoastaan laboratorioissa.

3.1 Biohiili

Biohiilen valmistamiseen käytettäviä pyrolyysimenetelmiä on kaksi: nopea ja hidas. Hidas pyrolyysi on kannattavampi biohiilen tuottamiseen, sillä siinä biohiiltä syntyy 20–50 % prosessin lopputuotteista. Lämpötila pyrolyysissä nostetaan 300–700 °C:n välille. Prosessissa syntyy sivutuotteena öljyä, kaasuja ja tisleitä. Nämä voidaan hyödyntää esimerkiksi lannoitteina, lämmitykseen tai polttoaineina. (Joseph & Lehmann, 2015, s. 66; Kangas & Vuori, 2017)

Biohiilellä on erinomainen kyky sitoa vettä ja ravinteita. Huokoisen rakenteensa ansiosta (Kuva 3) sillä on paljon pinta-alaa, joten se pystyy sitomaan itseensä jopa viisinkertaisen määrän vettä omaan painoonsa nähden. Huokokset antavat myös oivan elinympäristön kasvualustan mikro-organismille. Ne ovat siellä suojassa ja saavat siitä välttämättömiä ravinteita. Tämä mahdollistaa aktiivisen mikrobitoiminnan kasvualustassa. (Dinelli, 2019; International Biochar Initiative, 2018)



Kuva 3. Biohiilellä on erittäin huokoinen rakenne. (Elo, 2017)

Biohiili ei maadu yhtä helposti, kuin muut hiiltä sisältävät maanparannusaineet, mikä on positiivista sen käytettävyyden kannalta, sillä se saattaa kestää maaperässä käyttökelpoisena useita satoja vuosia. (Dinelli, 2019)

3.2 Tutkimustuloksia biohiilen käytöstä golfnurmialustoilla

Biohiilen käyttö nurmen kasvualustassa ei ole uusi asia. Jo 1929 golfkentänhoitaja John Morley sekoitti biohiiltä kompostiin ja käytti sitä golfkentällä. Samana vuonna Professori M. H. Cubbon kirjoitti orgaanisen aineksen parantavista vaikutuksista kasveille. (Dinelli, 2019)

Uudempia tutkimuksia biohiilen käytöstä golfnurmialustoilla on tehty niin hallituissa olosuhteissa kasvihuoneissa kuin luonnossa kentälläkin. Tavoitteena on ollut mm. tehdä kasvualustasta ravinteikkaampaa sekä tutkia biohiilen vaikutusta nurmen juurten syvyyteen ja kasvualustan vedenpidätyskykyyn.

3.2.1 Tutkimuksia hallituissa olosuhteissa

Vuonna 2010 Iowan yliopistossa kasvatettiin rönsyrölliä (*Agrostis stolonifera* L.) kasvualustassa, johon oli lisätty biohiiltä. Työssä tutkittiin biohiilen vaikutusta kasvualustan vedenpidätys- ja läpäisykykyyn, nurmen juurten syvyyteen sekä ravinteiden pidätyskykyyn. Hiekan sekaan lisättiin biohiiltä tilavuussuhteilla 0, 5, 10, 15, 20 ja 25 %. Tutkimus toteutettiin PVC-putkissa kasvihuoneessa. (Brockhoff, 2010)

Iowan yliopiston tutkimuksessa todettiin, että vedenpidätyskyky kasvoi biohiilen määrän lisääntyessä. Optimaalinen vedenpidätyskyky sekä juurien syvyys saavutettiin 10 %:n biohiilimäärällä. Suurempi biohiilimäärä vaikutti heikentävästi nurmen juuriston laatuun. Vedenläpäisykyky puolestaan oli golfkentälle soveltuva eli K_{sat} 15–30 cm/h kasvualustoilla, joissa oli 15 % ja 20 % biohiiltä. Näytteistä suodattamalla tehdyissä kokeissa todettiin, että kaliumin, natriumin ja fosforin määrä suodoksessa oli sitä isompi, mitä enemmän biohiiltä kasvualusta oli sisältänyt. Ravinnepitoisuuden verrattavissa oleva sähkönjohtokyky kasvoi myös biohiilimäärän kasvaessa. Nitraatti- ja ammoniumtyyppipitoisuudet taas olivat pienempiä isomilla biohiilimäärillä. (Brockhoff, 2010)

Vuonna 2015 tehtiin koe, jossa vertailtiin viiniköynnöksestä, keisaripuusta sekä kaupallisesta nopealla pyrolyysillä valmistettuja biohiiliseoksia toisiinsa. Jokaisesta biohiililaadusta tehtiin 1, 5 ja 10 %:n seokset hiekan kanssa. Seoksien verrokkeina käytettiin kasvualustoja, joista toinen sisälsi 85 % hiekkaa + 15 % turvetta ja toinen 100 % hiekkaa. Kokeessa vertailtiin eri biohiililaatujen tiheyttä sekä ravinteiden- ja vedenpidätyskykyä ja lisäksi nurmen kasvua eri kasvualustoilla. Todettiin, että nurmi kasvatti pisimmät juuret ja pisimmän verson 10 % viiniköynnösbiohiiltä sisältävässä kasvu-

alustassa. Kasvustolla oli myös alhaisin kuivapaino, ja kasvualustalla kaikista biohiiliseoksista suurin ravinteiden- ja vedenpidätyskyky. (Vaughn, Dinelli, Tisserat, Joshee, Vaughan & Peterson, 2015)

3.2.2 Kenttäkokeita

Useilla golfkentillä on kokeiltu lisätä biohiiltä kentän pinnalle. Okehamptonin golfkentällä harjattiin Carbon Goldin tuottamaa, kasvualustoille tarkoitettua biohiiliparannetta reilun 100 neliömetrin kokoisille alueille kahdelle viheriölle. Kokeessa haluttiin testata biohiililisäyksen vaikutusta kentän lannoitustarpeeseen ja sienitauteihin. Kokeilulla huomattiin, että lannoituksen tarve alueella väheni 20 %. Golfkentällä aiemmin käytetyn sienimyrkyn käyttö osoittautui alueella kokonaan tarpeettomaksi. Viheriöiden huomattiin lisäksi pidättävän vettä aiempaa paremmin. (Carbon Gold, 2017) Samankaltaisia tuloksia saatiin Broken Sound Clubilla, jossa lisättiin jauhettua biohiiltä pintalevityksenä kentälle. Lannoitteen tarve väheni 40 % ja sienimyrkyn käyttö 60 %. Lisäksi nurmi oli terveempää ja pidätti vettä sekä ravinteita aiempaa paremmin. (Whitten, 2019)

Randpark Club kertoi 2018 vuosiraportissaan vaihtaneensa golfkenttensä päälannoitteen orgaaniseen lannoitteeseen, joka sisältää biohiiltä ja humusta. Tämän seurauksena typen käyttö kentällä vähentyi huomattavasti: sitä tarvittiin ainoastaan 80 kg aikaisemman 180 kg:n sijaista. Tämä on vähentänyt myös veden kulutusta noin 20 %, sillä pehmeä nurmi, mikä aiheuttaa korkean typen määräästä, on vähentynyt. (Randpark Club, 2018 s. 28)

Yksi esimerkki Suomessa tehdyistä kokeista on Joroisten Kartanogolfkentällä keväällä 2019 aloitettu koe. Golfkentälle rakennettiin täysin uusi viheriö, jossa muilla viheriöillä käytetyn kasvualustamateriaalin turve korvataan biohiilellä ja kompostilla. Kokeella testattiin, miten uusi kasvualustamateriaali vaikuttaa lannoitteiden ja kastelun tarpeeseen. Myös viheriölle kylvetyn heinän kasvun seuraamista jatkettiin talven yli ja sen kuntoa verrattiin muiden viheriöiden nurmen kuntoon. Jos uusi kasvualustamateriaali osoittautuu toimivaksi, sillä korvataan muiden viheriöiden vanha kasvualustamateriaali aina sitä mukaa, kun viheriöitä uudistetaan. Kokeesta ei löytynyt toistaiseksi julkaistuja tuloksia. (Ruuskanen, 2019)

4 MATERIAALIT JA KOEJÄRJESTELYT

Kokeen suorittamiseksi tarvittiin ylimääräistä kasvualustaa ja biohiiltä, jotka tilattiin Lepaan golfkentälle kevään 2019 aikana. Tässä luvussa kerrotaan työssä käytetyistä materiaaleista sekä kuvataan koejärjestelyt.

4.1 Biohiili

Tässä kokeessa käytettiin Carbofex Oy:n valmistamaa biohiiltä, joka on tuotettu PEFC-sertifioidusta kuusipuuhakkeesta. Biohiiltä käytettiin vesikäsiteltynä ja se saatiin Carbofexiltä 1 000 litran säkeissä (Kuva 4) sekä hienoksi jauhettuna (rakeiden koko halkaisijaltaan alle 2 mm), jotta se saatiin hyvin sekoittumaan hienojakoisen USGA-aineksen kanssa.



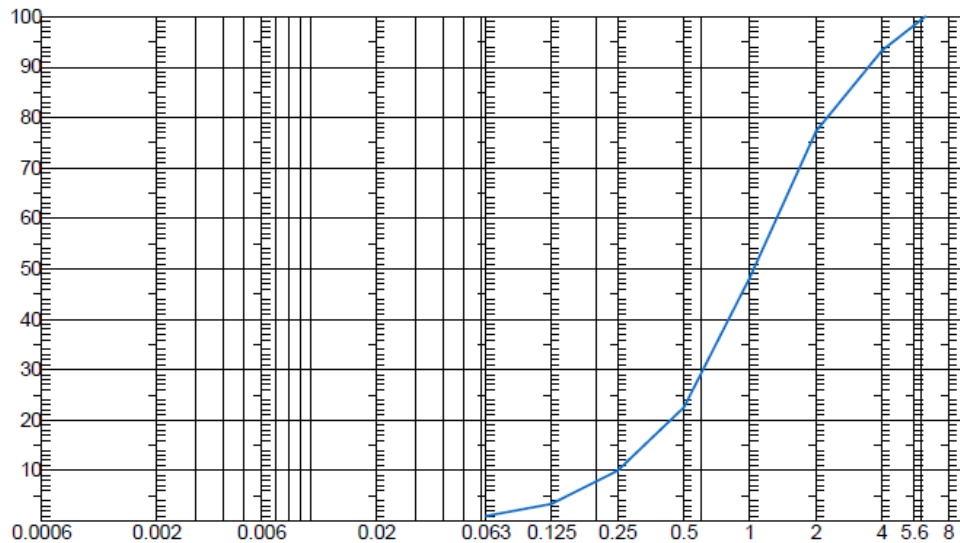
Kuva 4. Kasvualustassa käytetty biohiili. (Kuva: Iina Lahti, 2019)

4.2 Kasvualusta ja biohiili-kasvualusta –seokset

Golfkentän viheriöillä käytetään tavallisesti USGA:n (United States Golf Association) määrittelemää kasvualustaa, joka koostuu hiekasta ja turpeesta. Tässä kokeessa käytetty kasvualusta on peräisin Niemisen Soralta. Kasvualusta sisältää hiekkaa 80 tilavuusprosenttia ja turvetta 20 tilavuusprosenttia.

Kasvualustassa käytetyn hiekan rakeisuuskäyrä on kuvan 5 (s. 11) mukainen. Rakeisuuskäyrä kertoo kunkin raekoon kohdalla, mikä on tätä raekoa vastaavan seulan läpäisyprosentti. Taulukossa 2 (s. 11) on esitetty seulasarja, jonka läpi hiekka on seulottu ja hiekan läpäisyprosentti kustakin seulan osasta. Rakeisuuskäyrästä ja taulukosta nähdään, että hiekan rakeet ovat 0–6 mm kokoisia. Niistä 93,3 % on alle 4 mm ja 89,9 % sijoittuu

välille 0,125–4 mm. 3,4 % on alle 0,125 mm ja 1 % on alle 0,063 mm:n kokoisia. Raekokojakauma ei ole täysin niiden standardien mukainen, millainen sen olisi suositeltavaa olla viheriöllä, vaan siinä on paljon isokokoisia rakeita sekä myös todella hienojakoista hiukkasta.



Kuva 5. Lepaan golfkentän viheriöllä käytetyn kasvialustan hiekan rakeisuuskäyrä. (Kuva: Pouttu, 2019)

Taulukko 2. Lepaan golfkentän viheriöllä käytetyn kasvialustan hiekan seulasarja

Seula (mm)	Läpäisy (%)
8	100
6,3	100
4	93,3
2	77,3
1	48,3
0,5	22,5
0,25	10
0,125	3,4
0,063	1

Biohiili sekoitettiin kasvialustaan kuvan 6 (s. 12) betonimyllyssä. Sekoittaminen toimi hyvin eli biohiili sekoittui tasaisesti kasvialustan kanssa. Taulukossa 3 (s. 12) esitetään kokeessa käytetyt kasvialustaseokset. Sekoituksia tehtiin kahta erilaista, joista toinen sisälsi biohiiltä 20 tilavuusprosenttia ja toinen 50 tilavuusprosenttia. Kasvialustat laitettiin testialueille, jotka sijaitsevat viheriöllä 0, 1, 5 ja 8. 20 tilavuusprosenttia biohiiltä sisältävää

seosta laitettiin viheriöille 5 ja 8 (luomulannoitettu viheriö). 50 tilavuusprosenttia biohiiltä sisältävää seosta tuli viheriölle 0. Viheriölle 1 laitettiin pelkkää USGA-kasvualustaa.

Taulukko 3. Kokeessa käytetyt kasvualustaseokset

Viheriö	Kasvualustaseokset
Viheriö 0	USGA 50 % + biohiili 50 %
Viheriö 5	USGA 80 % + biohiili 20 %
Viheriö 8 (luomu)	USGA 80 % + biohiili 20 %
Viheriö 1	USGA 100 %



Kuva 6. Biohiilen ja kasvualustan sekoituksessa käytetty betonimylly. (Kuva: Annakaisa Elo, 2019)

4.3 Koejärjestelyt Lepaan golfkentällä

Tässä luvussa esitetään kokeessa käytetyt testialueet sekä kokeen suorittamisen vaiheet Lepaan golfkentällä.

4.3.1 Testiviheriöt ja lysimetrit

Lepaan golfkentällä on yhdeksän viheriötä ja lisäksi harjoitusviheriö (viheriö 0). Kokeessa käytetyt testialueet sijaitsevat viheriöillä 0, 1, 5 sekä 8. Näille viheriöille oli rakennettu vettä keräävät lysimetrirakenteet jo kentän perustamisvaiheessa.

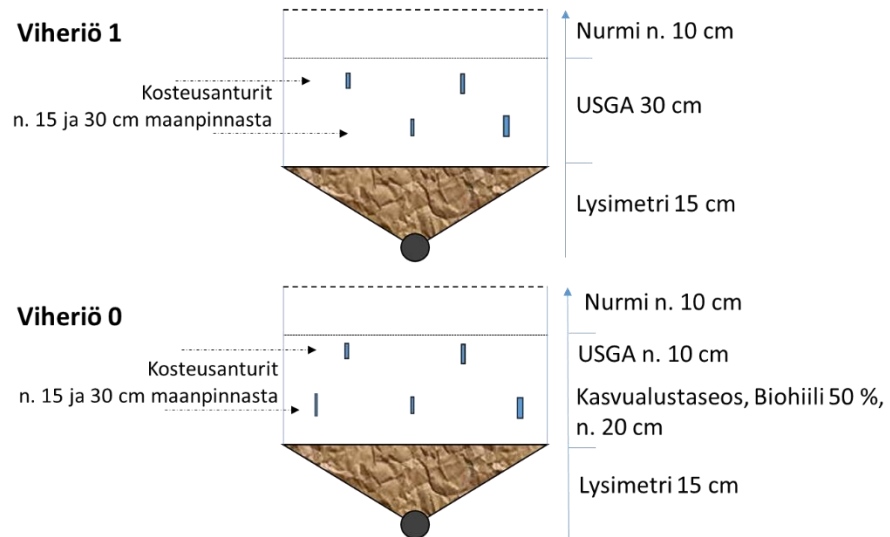
Ennen varsinaisen kokeen aloittamista vanhat kasvualustat piti kaivaa pois ja uudet laittaa tilalle maahan viheriöiden testialueille eli lysimetreille. Lysimetrit ovat muovisia kartionmuotoisia kappaleita, joiden pohjasta lähtee putki, jota pitkin vesi pääsee valumaan. Putki kulkee maan alla kaivoon, jossa vesi kerääntyy ämpäriin. Lysimetrit sijaitsevat golfkentän salaojakerroksessa. Kuvassa 7 on kasvualustakerroksen alta esiin kaivettu lysimetri.



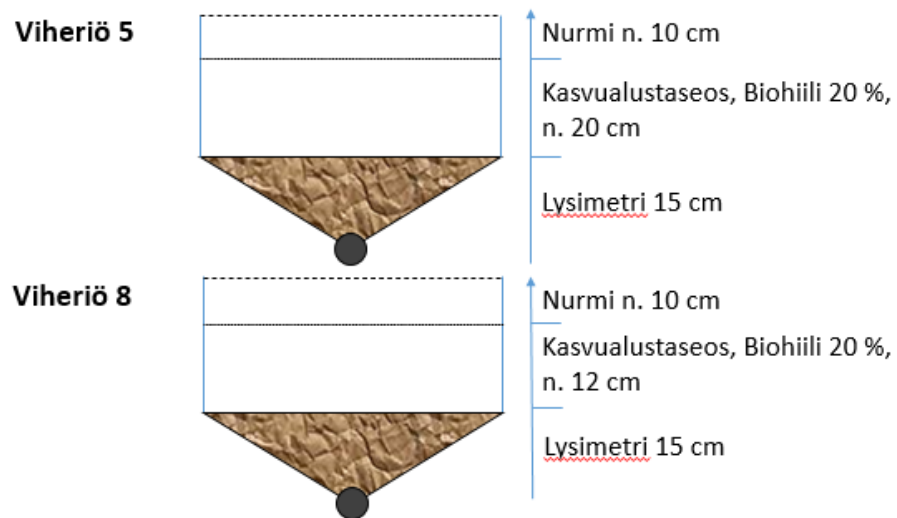
Kuva 7. Lysimetri ylhäältä päin kuvattuna. (Kuva: Iina Lahti, 2019)

Lysimetrien tarkat sijainnit eivät olleet tiedossa, joten ne paikannettiin Leican IGICAT550i-laitteen avulla. Laite toimi niin, että maadoitettua kaapelia työnnettiin sisään kaivosta maan alla olevaa putkea pitkin lysimetrille asti. Laite antaa signaalin kaapelin sijainnista, jonka avulla määritettiin lysimetrin sijainti. Lysimetrin päällä oleva maa lapioitiin pois niin, että lysimetrin reunat saatiin näkyviin. Lysimetrin kulmista otettiin mitat läheisiin sadettiin, jotta niiden paikantaminen olisi jatkossa helpompaa.

Lysimetrit sijaitsevat eri syvyyksissä (22–40 cm) maanpinnan alapuolella, joten myös kasvualustakerroksen paksuus vaihteli sen mukaan. Lysimetrin kaltevan pinnan täyttävä salaojakerroksen sora jätettiin maahan ja tasotettiin mahdollisimman tasaiseksi. Soran päälle laitettiin kasvualusta. Kuvissa 8 ja 9 (s.14) ovat piirrokset testialueiden poikkileikkauksesta. Testialueille 0 ja 1 laitettiin kosteusanturit mittaamaan kasvualustan kosteutta.



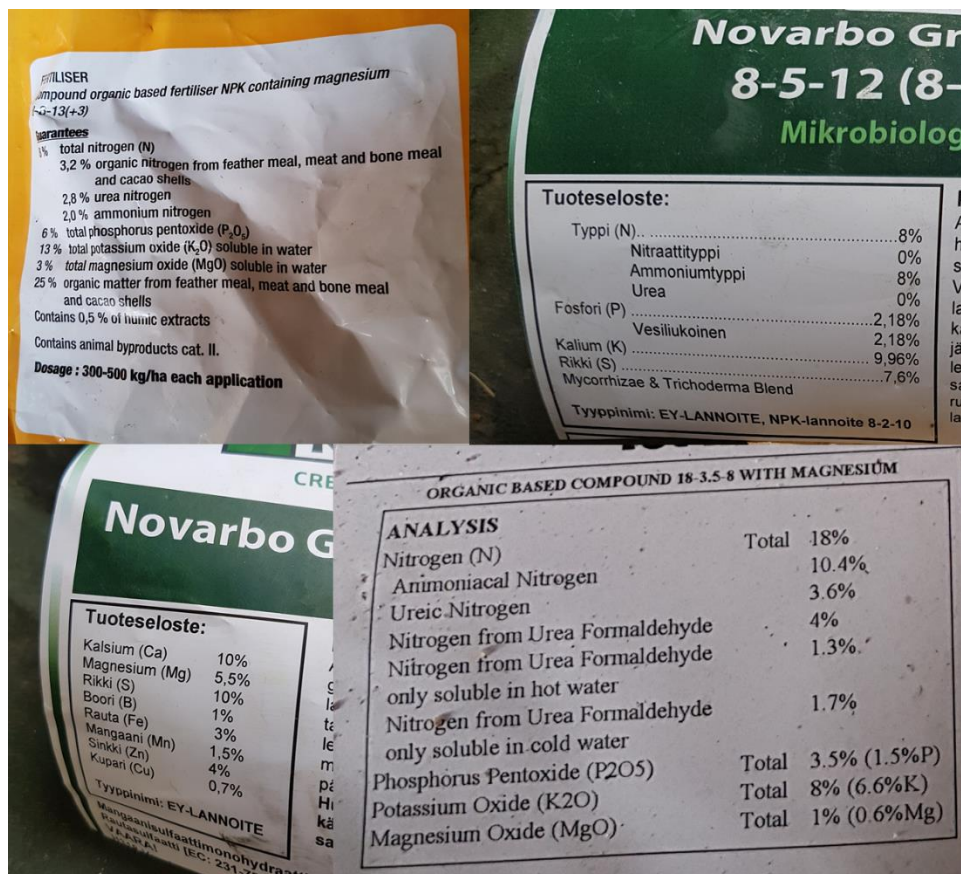
Kuva 8. Testialueiden leikkauskuvat viheriöillä 1 ja 0.



Kuva 9. Testialueiden leikkauskuvat viheriöillä 5 ja 8.

4.3.2 Viheriöiden lannoitukset

Golfkentän viheriöitä lannoitettiin 1–2 viikon välein. Käytettyjen lannoitteiden ravinnesisältöjä esitetään kuvassa 10.



Kuva 10. Lepaan golfkentän viheriöllä käytettyjen lannoitteiden ravinnesisältöjä. (Kuva: Iina Lahti, 2019)

4.3.3 Kosteusmittaukset

Kasvualustan kosteutta verrattiin viheriöllä 0 (50 til-% biohiiltä) sekä viheriöllä 1 (0 til-% biohiiltä). Näille viheriöille asennettiin kosteusanturit mittaamaan maan kosteutta ja ottamaan tuloksen 10 minuutin välein. Viheriöllä 0 osa antureista oli biohiiltä sisältävässä kasvualustassa ja osa sen päällä olevassa USGA-kasvualustakerroksessa. Viheriöllä 1 anturit asetettiin eri syvyyksiin. Kosteusanturit mittaavat kosteutta noin 5 cm:n etäisyydeltä ympäriltään ja antavat tulokseksi keskiarvon siltä alueelta. Anturit laitettiin kasvualustoihin noin 30 ja 15 cm:n syvyyteen maanpinnasta. Kuvassa 11 (s. 16) näkyvät anturit viheriöllä 0. Antureista kolme on tässä vaiheessa jo laitettu biohiiltä sisältävän kasvualustan sekaan.

Anturit oli ensin suunniteltu laitettavaksi viheriöille 0 ja 8, jotta olisi saatu tuloksia 50 til-% ja 20 til-% biohiiltä sisältävistä kasvualustoista. Antureita ei kuitenkaan saatu laitettua viheriölle 8, koska sinne tuleva kasvualustakerros on ainoastaan 12 cm:n paksuinen. Viheriöllä 0 ja 1 kasvualustakerroksen paksuus on 30 cm, joten anturit sopivat niille hyvin.



Kuva 11. Biohiiltä sisältävä kasvualustakerros lysimetrin päällä ja kosteusanturit viheriöllä 0. (Kuva: Petri Nykänen, 2019)

4.3.4 Säähavainnot

Jokaisella näytteenotokerralla kirjattiin ylös sademäärät. Sade oli hyvin vähäistä, eikä näin ollen vaikuttanut tarvittavan kasteluveden määrään.

4.4 Testialueiden kastelu ja näytteenotto

Testialueet kasteltiin ja näytteet otettiin kesä-elokuussa kerran viikossa ja syyskuussa kahden viikon välein. Ennen kastelun aloittamista tyhjennettiin lysimetrin poistoputken päähän sijoitettu ämpäri, johon edellisen viikon aikana testialueelta läpi tullut vesi on valunut ja kirjattiin ylös veden määrä. Läpi valuneen veden määrä oli kuitenkin välillä vaikea arvioida, koska vettä oli valunut useimmiten niin paljon, että kaikki vesi ei mahtunut ämpäriin. Ämpäriin valuneesta vedestä ja testialueen läpi kastelun jälkeen valuneesta vedestä yhdistetään näyte, jota kerätään muovipulloon noin 500 ml

jokaista testialuetta kohden. Kastelun aikana kirjataan ylös kasteluun käytetty aika, kasteluveden määrä, ensimmäisen läpi tulleen pisaran aika sekä läpi tulleen veden määrä.

Kastelu tapahtui säiliöautolla, jolla sai kuljetettua noin 500 litraa vettä kerralla. Auton sai ajettua aina viheriön vierelle. Auton säiliöstä vesi pumpattiin letkua pitkin testialueille.

Koejärjestelyä muutettiin 13.8.–26.9.2019 välisenä aikana niin, että veden valumista seurattiin 25 minuutin ajan. Tällä tavalla saatiin selville veden valumisnopeus kullakin viheriöllä. Tämä suoritettiin niin, että testialue kasteltiin 100 litralla vettä, jonka jälkeen odotettiin, että vesi alkaa valumaan. Viiden minuutin välein mitattiin ämpäriin valunut vesimäärä aina 25 minuuttiin asti.

5 ANALYYSIT

Valumavesistä analysoitiin kiintoaine, sähkönjohtokyky ja pH Hämeen ammattikorkeakoulun bio- ja elintarviketekniikan kemian laboratoriossa. Laboratoriossa sekä ravinneanalyysi ulkopuolisessa palvelulaboratoriossa (Viljavuuspalvelu, Eurofins). Lisäksi biohiilestä ja kasvualustaseoksista tehtiin kosteusmittaustestauksia sekä kentällä että laboratoriossa.

5.1 Suspendoitunut kiintoaine (TSS)

Suspendoituneen kiintoaineen määrittämisessä haluttiin selvittää näytevevistä erottuvan orgaanisen aineen määrä. Kiintoaineen määrittämisessä haluttu määrä näytettä suodatetaan suodattimen läpi vakuumisuodatuslaitteistossa. Työssä käytetyt suodattimet punnittiin ennen näytteen lisäämistä. Näytettä pipetoitiin suodattimen läpi 10 ml. Suodattimia kuivattiin lämpökaapissa 110 °C:ssa noin vuorokausi, jonka jälkeen ne punnittiin uudestaan. Näytteen kiintoaine lasketaan kaavalla 1.

$$TSS = \frac{m_2(g) - m_1(g)}{l} \quad (1)$$

jossa

m_2 = suodattimen paino näytteen kanssa

m_1 = suodattimen paino kuivana

5.2 Sähkönjohtokyky ja pH

Sähkönjohtokyky ja pH mitattiin näytteistä viikoittain. Joillakin viikoilla mitattiin myös kasteluveden sähkönjohtavuus ja pH. Mittauksiin käytettiin di-

gitaalista mittaria. Mittari kalibroitiin ennen jokaista mittauskertaa. pH mitataan asteikolla 0–14. Arvo 7 on neutraali. Sitä pienemmät arvot kertovat happamuudesta ja isommat emäksisyydestä. Veden sähkönjohtokyvyn kertoo EC-arvo, joka kuvaa veteen liuenneiden ravinteiden määrää. EC-arvon yksikkö on mS/m. Mitä korkeampi EC-arvo on, sitä enemmän vedessä on liuenneena ravinteita.

5.3 Ravinneanalyysi

Veteen liuenneiden ravinteiden määrä selvitettiin ulkopuolisessa palvelulaboratoriossa. Ravinteen analysoitiin neljän viikon vesinäytteiden osalta. Analysoitavat näytteet valittiin niiltä viikoilta, joiden oletettiin antavan eniten merkityksellisiä tuloksia. Vesinäytteet lähetettiin Alankomaihin, jossa ne analysoitiin Eurofinsin viljavuuspalvelun laboratoriossa.

5.4 Kosteusmittausmenetelmän kalibrointi laboratoriossa

Kosteusmittausmenetelmän kalibrointi tehtiin, koska golfkentälle sijoitetut anturit on kalibroitu niin, että ne eivät mittaa todellista kosteusprosenttia viheriöllä käytetyistä biohiilikasvualustoista. Testauksen ja siitä saatavan kalibrointikäyrän avulla saadaan laskettua todellinen kosteusprosentti kasvualustoille. Kosteusmittausmenetelmän kalibrointi suoritettiin HH2 Moisture Meter -kolmipiikkimittarin avulla.

Ennen työn aloittamista kasvualustoja kuivattiin uunissa 70 °C:ssa vuorokauden ajan. Työssä käytettiin 255 ml:n vetoista muovista kuppia, joka täytettiin testattavalla kasvualustaseoksella. Mittari asetettiin kupin keskelle niin, että sen anturit peittyvät kokonaan kasvualustaan. Kasvualustaan pipetoitiin 10 ml vettä kerralla tasaisesti kasvualustakerroksen pinnalle ja otettiin mittaustulos ylös. Veden lisäämistä jatkettiin, kunnes vesi ei enää imeytynyt kasvualustaan. Työ toistettiin seoksilla, jotka sisältävät biohiiltä 0, 50 ja 100 tilavuusprosenttia.

Työ suoritettiin ensin kaksi kertaa lisäämällä kasvualustan joukkoon pelkkää RO-vettä sekä kaksi kertaa seoksella, jossa RO-veden sekaan lisätiin etanolia suhteessa 1:9. Etanolia käytettiin testimielessä, jos neste imeytyisi tällä tavalla paremmin biohiileen. Biohiilellä on suuri pintajännitys, mikä voi estää veden imeytymistä siihen. Etanolilisäyksellä ei kuitenkaan ollut vaikutusta nesteen imeytymiseen.

6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Kokeen tarkoituksena oli selvittää, miten biohiili vaikuttaa golfviheriön kasvualustan veden- ja ravinteidenpidätyskykyyn eri määrinä lisättynä. Tässä luvussa tarkastellaan kokeiden tuloksia tarkemmin.

6.1 Suspendoitunut kiintoaine (TSS)

Kiintoaineen eli suodattamalla vedestä erottuvan orgaanisen aineen määrittäminen tehtiin näytteistä, jotka otettiin 25.6.2019, 1.7.2019 ja 8.7.2019. Kiintoainetta oli vesissä niin vähän, että analysointia ei ollut tarvetta jatkaa. Taulukoissa 4 ja 5 näkyvät kiintoaineen määrä jokaisella viheriöllä 25.6.2019 ja 8.7.2019 otetuista valumavesinäytteistä. 25.6.2019 otetuissa näytteissä ei ole huomattavia eroja eri viheriöiden välillä. 8.7.2019 otetuista näytteistä huomaa, että vähiten kiintoainetta on viheriöiden 0 (50 til-% biohiiltä) ja 8 (20 til-% biohiiltä) vesissä. Eniten kiintoainetta oli puolestaan viheriön 5 (20 til-% biohiiltä) vedessä.

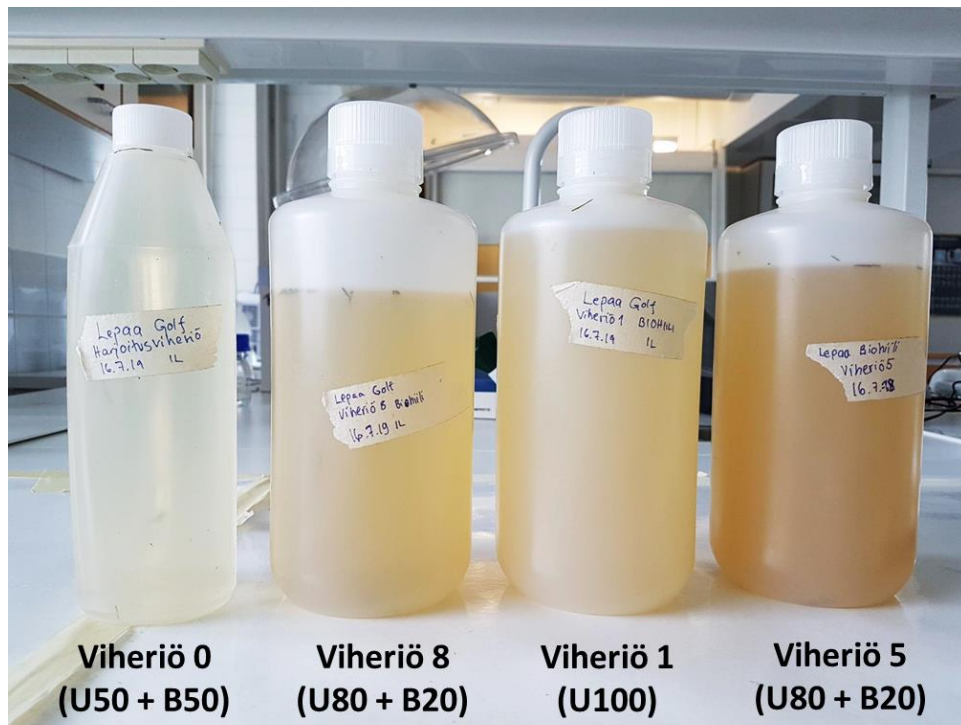
Taulukko 4. Kiintoaine 25.6.2019 valumavesissä

Viheriö	TSS (g/l)	
5 (U80 + B20)	0,30	0,22
0 (U50 + B50)	0,28	0,32
8 (U80 + B20)	0,20	0,08
1 (U100%)	0,22	0,30

Taulukko 5. Kiintoaine 8.7.2019 valumavesissä

Viheriö	TSS (g/l)	
5 (U80 + B20)	0,34	0,36
0 (U50 + B50)	0,04	0,04
8 (U80 + B20)	0,03	0,03
1 (U100)	0,13	0,10

Näytevesien värieroa vertailtaessa (Kuva 12, s. 20) huomaa, että viheriön 0 valumavesi oli kirkkainta, ja viheriön 5 sameinta.



Kuva 12. Valumavesinäytteet 16.7.2019. (Kuva: Iina Lahti, 2019)

6.2 Veden valuma

Veden valumaa mitattiin seuraamalla veden valumista lysimetrin poistoputkesta 25 minuutin ajan aina testialueiden kastelun jälkeen aikavälillä 13.8.–26.9.2019. Veden valumaa määrittäessä piti huomioida se, että jokainen testialue oli tilavuudeltaan eri kokoinen. Tästä syystä läpivalunut nestemäärä suhteutettiin testialueen tilavuuteen. Testialueiden lysimetreiltä tulevat putket ovat eripituisia ja eri kaltevuudella, joka vaikuttaa myös veden valumisnopeuteen. Tätä ei kuitenkaan pystytty huomioimaan määrittämisessä.

Vesien valumanopeudet olivat hyvin vaihtelevia. Esimerkiksi viheriöllä 5 valuma oli yhtenä päivänä 14,5 litraa mutta toisena ainoastaan litran. Eroja valumisnopeuksissa eri viheriöiden välillä ei havaittu.

6.3 Vedenpidätyskyky

Biohiilen ja kasvualustojen vedenpidätyskykyä mitattiin niin kentällä kuin laboratorioissa kosteusmittareilla.

6.3.1 Kosteusmittaustulokset kentällä

Taulukossa 6 on golfkentällä sijainneiden mittalaitteiden tuloksista koottuja arvoja. Tuloksista näkee, että 50 tilavuusprosenttia biohiiltä sisältävän kasvualustan kosteus viheriöllä 0 oli kokeen ajan keskimäärin 4,1 tilavuusprosenttia, kun taas USGA-kasvualustassa olleet anturit mittasivat samalla viheriöllä keskimääräiseksi kosteudeksi 6,2 tilavuusprosenttia. Viheriöllä 1 kasvualustan kosteusprosentit olivat keskimäärin 6,2–7,3 tilavuusprosenttia.

Taulukko 6. Keskimääräiset tilavuusprosentit kosteusmittaustuloksista

Viheriö		Keskimääräinen til-%
Viheriö 1	U100 (30 cm)	6,2
	U100 (15 cm)	7,3
Viheriö 0	U50+B50 (30 cm)	4,1
	U100 (15 cm)	6,2

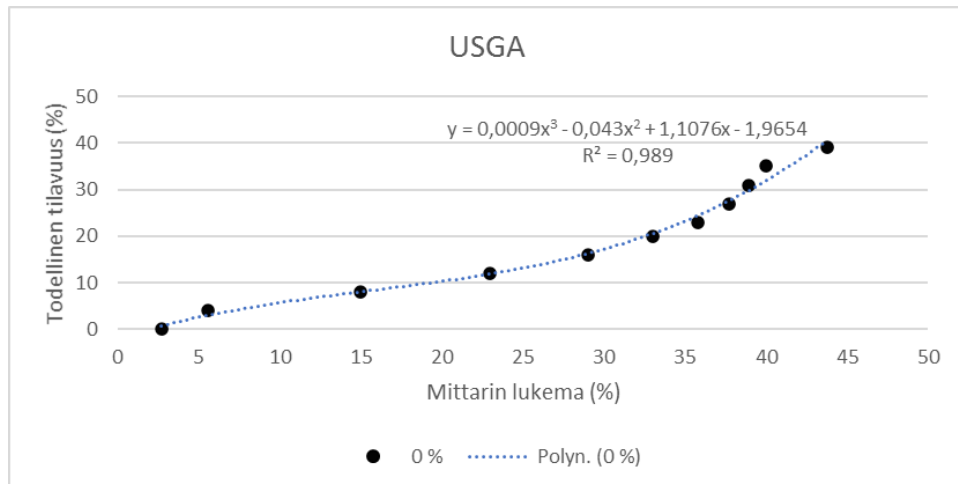
6.3.2 Kosteusmittausmenetelmän kalibrointi laboratoriossa

Laboratoriossa tehtyjen kosteusmittausten tulosten perustella (liite 1, s. 30) havaittiin, että puhdas biohiili sitoi vettä itseensä eniten. 255 ml biohiiltä sisältävään astiaan mahtui 155 ml vettä, kun koko biohiilimäärä oli kyllästetty vedellä. Vastaava määrä 50 tilavuusprosenttia biohiiltä sisältävää kasvualustaa sitoi itseensä 130 ml vettä ja pelkkä USGA-kasvualusta ainoastaan 100 ml.

Kalibrointi tehtiin, koska golfkentällä olleiden antureiden mittaustulokset eivät ole todenmukaisia biohiiltä sisältävällä kasvualustalla, koska anturit on kalibroitu mittaamaan hiekan kosteutta. Tämän takia kasvualustoille laskettiin todellinen tilavuusprosentti. Todellinen tilavuus saadaan jakamalla testatun kasvualustan tilavuus siihen lisätyn veden määrällä.

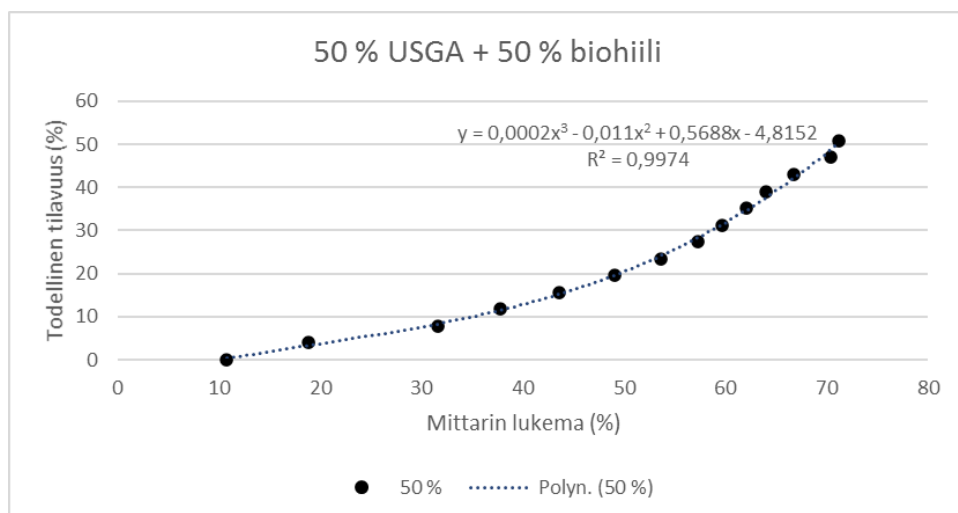
Todellisen tilavuusprosentin avulla piirretään kuvaajat kullekin kasvualustalle. Kuvaajassa X-akselille tulee mittarin antama kosteusprosentti ja Y-akselille mittaustulosta vastaava todellinen veden tilavuusprosentti. Saatuaan käyrään sovitetaan yhtälöt, jota kuvaajat noudattavat. Näiden yhtälöiden avulla kentältä saaduille mittaustuloksille voidaan laskea todelliset kosteuden tilavuusprosentit.

Kuvassa 13 (s. 22) näkyy USGA-kasvualustan veden tilavuusprosentin kuvaaja ja yhtälö. Kuvaaja noudattaa yhtälöä $y = 0,0009x^3 - 0,043x^2 + 1,1076x - 1,9654$ korrelaatiokertoimella $R^2=0,989$.



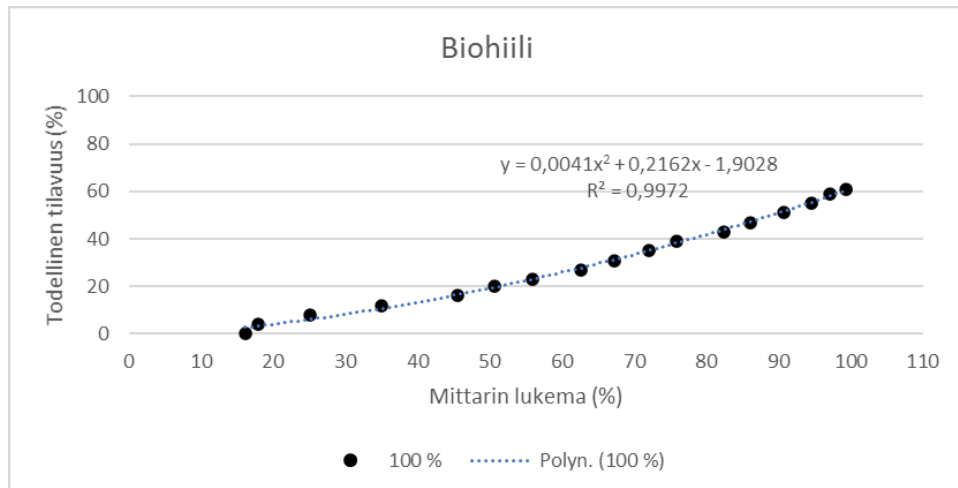
Kuva 13. Veden tilavuusprosentin kuvaaja USGA-kasvualustalla.

Kuvassa 14 on 50 til-% biohiiltä ja 50 til-% USGA-kasvualustaa sisältävän seoksen veden tilavuusprosentin kuvaaja ja yhtälö. Kuvaaja noudattaa yhtälöä $y = 0,0002x^3 - 0,011x^2 + 0,5688x - 4,8152$ korrelaatiokertoimella $R^2 = 0,9974$.



Kuva 14. 50 til-% biohiiltä sisältävän kasvualustaseoksen veden tilavuusprosentin kuvaaja.

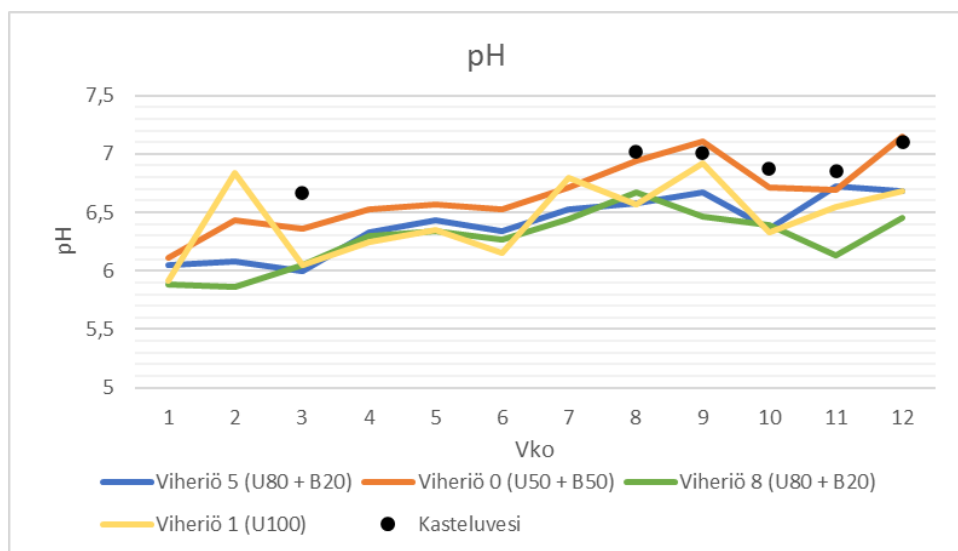
Kuvassa 15 (s. 23) on biohiilen veden tilavuusprosentin kuvaaja ja yhtälö. Kuvaaja noudattaa yhtälöä $y = 0,0041x^2 + 0,2162x - 1,9028$ korrelaatiokertoimella $R^2 = 0,9972$.



Kuva 15. Biohiilen veden tilavuusprosentin kuvaaja.

6.4 Happamuus (pH)

Kuvassa 16 esitetään näytevesien pH:n mittaustulokset. Tuloksista nähdään, että yleisesti pH oli hieman korkeampi viheriön 0 testialueella eli siinä, jossa oli eniten biohiiltä. Tämän kasvualustan pH oli myös jokaisella mittauskerralla lähimpänä kasteluveden pH-arvoa. Golfkentän nurmen eli rönsyröllin pH-optimalue on 5,5–6,5. Viheriöiden 5 ja 8 tulokset pysyivät kutakuinkin tällä välillä koko kokeen ajan. Erot pH-arvojen mittaustuloksissa ovat kuitenkin hyvin pieniä.



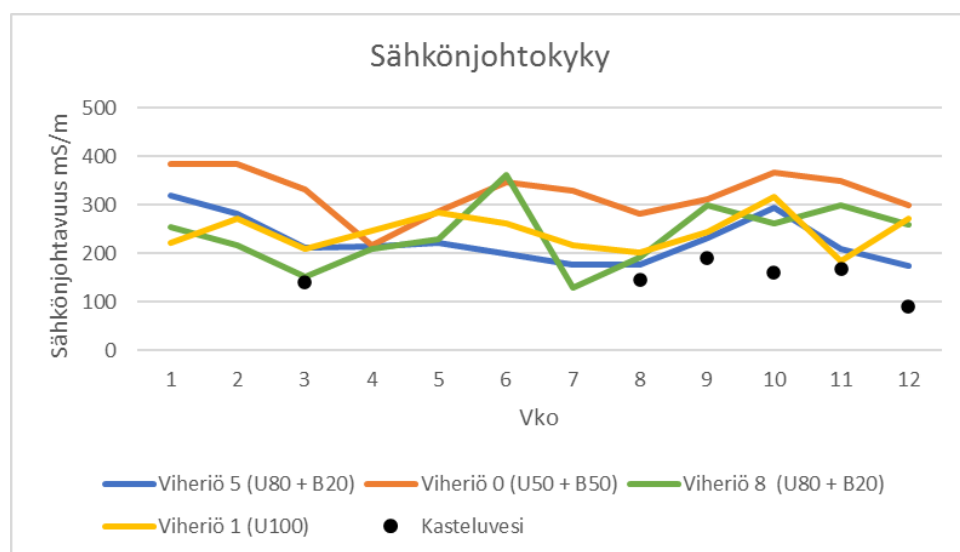
Kuva 16. Valumavesien pH:n mittaustulokset.

6.5 Ravinnevaluma

Golfviheriön kasvualustasta veteen liukenevien ravinteiden määrä voidaan määrittää mm. sähkönjohtokyky mittauksella ja kokonaisravinneanalyysillä.

6.5.1 Sähkönjohtavuus

Sähkönjohtokyvyn mittaustulokset ovat vaihtelevia. Erot eri viheriöiden välillä ei ole suuria, mutta voidaan huomata, että yleisesti viheriön 0 kasvualustassa (50 til-% biohiiltä) EC-arvo oli korkein. Kuvasta 17 huomataan, että esimerkiksi viikolla 10 sähkönjohtokyky oli 50 til-% sisältävästä kasvualustasta otetulla näytteellä yli 350 mS/m, kun muilla näytteillä se oli 250–320 välillä. Tulokset ovat kuitenkin hyvin vaihtelevia, joten selkeitä eroja eri kasvualustojen välillä ei ole havaittavissa.



Kuva 17. Valumavesien sähkönjohtokyvyn mittaustulokset.

6.5.2 Ravinneanalyysi

Veteen liuenneiden ravinteiden pitoisuudet olivat kaikissa näytteissä varsin alhaisia eikä eroja eri testialueiden tai mittauskertojen välillä juurikaan havaittu. Tuloksista huomataan, että ainoastaan kaliumin (K) ja vetykarbonaatin (HCO_3) pitoisuudet olivat suurempia viheriöllä 0 (50 til-% biohiiltä) kuin muissa. Biohiili itsessään sisältää kaliumia, joka näyttäisi liukenevan veteen. Vetykarbonaatin suurelle pitoisuudelle ei löydy selitystä. Taulukossa 7 (s. 25) esitetään ravinnepitoisuudet 29.8.2019 otetuista valumavesi- ja kasteluvesinäytteistä.

Taulukko 7. Ravinne- ja hivenainepitoisuudet 29.8.2019 otetuissa valumavesi- ja kasteluvesinäytteissä

Näytteenottopvm. 29.8.		Ravinne- ja hivenaineanalyysi				
Ravinne- tai hivenaine	Viheriö 0 (U50 + B50)	Viheriö 5 (U80 + B20)	Viheriö 8 (U80 + B20)	Viheriö 1 (U100)	Kasteluvesi	Yksikkö
NH ₄ ⁺	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	mg/l
K	39,1	19,6	15,6	11,7	3,9	mg/l
Na	9,2	11,5	11,5	11,5	9,2	mg/l
Ca	28,1	20,0	20,0	28,1	16,0	mg/l
Mg	9,7	7,3	7,3	9,7	4,9	mg/l
NO ₃ ⁻	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	mg/l
Cl	3,5	3,5	10,6	17,7	10,6	mg/l
S	25,7	25,7	16,0	22,4	6,4	mg/l
HCO ₃ ⁻	115,9	48,8	61,0	42,7	42,7	mg/l
P	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	mg/l
Fe	128,5	139,6	340,7	106,1	27,9	µg/l
Mn	16,5	54,9	22,0	33,0	5,5	µg/l
Zn	26,2	91,6	19,6	32,7	26,2	µg/l
B	18,4	14,1	48,6	35,7	16,2	µg/l
Cu	25,4	19,1	19,1	12,7	12,7	µg/l
Mo	38,4	9,6	9,6	9,6	9,6	µg/l
Si	3,7	2,8	2,8	7,0	0,3	mg/l

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Kentällä tehtävissä kokeissa pitää ottaa huomioon, että olosuhteet ovat vaihtelevia ja muuttujia on paljon. Tässä kokeessa muuttujiin törmättiin jo heti alkuvaiheessa, kun golfkentän testialueilla sijaitsevat lysimetrit kaivettiin esiin. Huomattiin, mm. että lysimetrit sijaitsevat eri syvyydellä maanpinnasta. Vastaavia kokeita on aikaisemmin tehty hyvin vähän, joten koeolosuhteita ei voitu optimoida kirjallisuuden perusteella. Koejärjestelyjä jouduttiinkin muuttamaan kesken kokeen, kun etsittiin parasta tapaa saada mahdollisimman paljon tuloksia irti kokeesta.

50 tilavuusprosenttia biohiiltä sisältävän kasvualustan läpi kulkeutunut vesi on hyvin kirkasta verrattuna muihin vesinäytteisiin. Tämän sekä suspendoituneen kiintoaineen tuloksien perusteella voidaan todeta, että biohiilestä ei liukene veteen juurikaan orgaanista ainetta. Biohiili myös näyttää puhdistavan kasvualustan läpi suotautuvaa vettä, etenkin värillisten yhdisteiden osalta. Nämä voivat olla esimerkiksi kasvualustan turpeesta irtoavia aineita. Biohiiltä voidaan tämän perusteella käyttää hyvin golfkentällä, sillä orgaanista ainetta ei juurikaan päädy vesistöön kastelueden

mukana. Biohiili voisi soveltua muidenkin alueiden valumavesien suodattukseen sillä maaperästä irtoava väri pilaa vesistöjä, kuten esimerkiksi turvevaluma-alueilla.

Laboratoriossa tehdyistä kosteusmittaustuloksista huomaa, että puhdas biohiili pidättää vettä paremmin, kuin golfviheriöllä tavallisesti käytetty USGA-kasvualusta. Myös biohiiltä osittain sisältävä kasvualusta pidättää vettä paremmin, kuin tavallinen USGA-alusta. Golfkentälle sijoitetut mittarit kuitenkin mittasivat USGA-kasvualustalle keskimäärin suurempia kosteuspitoisuuksia, kuin biohiiltä sisältävälle alustalle. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että biohiiltä sisältävä kasvualustakerros oli syvemmillä maan alla, kuin USGA-kasvualusta. Sadevedestä ja kasteluista tuleva vesi ei välttämättä imeydy biohiilikerrokseen asti vaan jää pintaan. Ainoastaan silloin, kun testialueita käytiin kastelemassa suuremmalla vesimäärällä, vesi suotautui varmasti myös biohiiltä sisältävään kasvualustakerrokseen.

Biohiili on luonnostaan emäksistä, sen pH on noin 10. Biohiilen emäksisyys ei kokeessa käytetyillä 20 ja 50 tilavuusprosentin osuuksina lisättyä vaikuta liikaa kasvualustan emäksisyyteen, eli biohiiltä voidaan pH:n kannalta käyttää turvallisesti viheriön kasvualustassa. 20 tilavuusprosenttia biohiiltä sisältävä kasvualusta on kokeessa käytetyistä kasvualustoista pH:n kannalta kaikista optimaalisin Lepaan golfviheriöllä käytetylle nurmikasville.

Työssä ei saatu selkeitä tuloksia biohiilen vaikutuksista ravinteidenpidätyskykyyn. Biohiili on sähkönjohtavampaa kuin USGA-kasvualusta, joten pieni määrä veteen liuennutta biohiiltä saattoi nostaa 50 tilavuusprosenttia biohiiltä sisältävän kasvualustan sähkönjohtavuutta. Erot eri kasvualustojen välillä eivät kuitenkaan ole suuria, joten biohiiltä voidaan myös sähkönjohtavuuden kannalta käyttää turvallisesti viheriön kasvualustassa Ravinneanalyysin tulokset eivät ole vertailukelpoisia, koska valumavesi oli erittäin laimeaa suuren kasteluvesimäärän takia ja ravinnepitoisuudet kaikissa näytteissä lähellä mittauksen raja-arvoja. Testialueita jouduttiin kastelemaan suurella vesimäärällä (100 litraa), jotta vettä saatiin tulemaan niistä läpi tarpeeksi.

Aiheesta on vielä tehtävä jatkotutkimuksia. Koetta on määrä jatkaa Hämeenlinnan ammattikorkeakoulussa osana Biohiilestä Bisnestä Hämeeseen -hanketta vielä vuoden 2020 aikana. Biohiilen vaikutuksista kasvualustan ravinteidenpidätyskykyyn voidaan kokeilla saada mitattavampia tuloksia lisäämällä koeluontoisesti kasteluveteen kerralla enemmän ravinteita, jotta varmistetaan, etteivät suotautuva näytevedet olisi niin laimeita. Koalueille voidaan tehdä myös maakairauksia, jotta nähdään, onko maakerrokseen sitoutunut ravinteita kasvukauden aikana.

LÄHTEET

Brockhoff, S. R. (2010). Sand-based turfgrass root-zone modification with biochar. Graduate Theses. Horticulture. Iowa State University. Haettu 4.9.2019 osoitteesta <https://lib.dr.iastate.edu/etd/11520/>

Carbofex Oy. (2019). Biohiili. Mitä biohiili on? Haettu 8.10.2019 osoitteesta <https://www.carbofex.fi/mitae-biohiili-on>

Carbon Gold. (2017). Biochar trials hit a hole in one at Okehampton Golf Club. Haettu 14.1.2020 osoitteesta <https://www.carbongold.com/okehampton-golf-club-case-study/>

Dinelli, D. (2019). IBI Webinar - Biochar Use on Golf Courses. International Biochar. Haettu 3.6.2019 osoitteesta <https://www.youtube.com/watch?v=7syfrpE16iE&feature=youtu.be>

Elo, A. (2017). Biohiilen monet mahdollisuudet. Uusiutuvien energiamuotojen -päivä 9.3.2017 Mustiala. Jari Hyväluoman kuva biohiilen rakenteesta. Haettu 17.10.2019 osoitteesta <https://docplayer.fi/47071102-Biohiilen-monet-mahdollisuudet.html>

International Biochar Initiative. (2018). FAQs. Haettu 13.1.2020 osoitteesta <https://biochar-international.org/faqs/>

Jokinen, J. (2012). Golfpiste. Viheriön kunto ratkaisee vierumäellä. Tilander Designin tekemä poikkileikkauskuva normaalista golfkentän viheriön rakenteesta. Haettu 16.1.2020 osoitteesta <https://golfpiste.com/golfkentat/viherion-kunto-ratkaisee-vierumaella/>

Joseph, S. & Lehmann, J. (Toim.). (2015). *Biochar for Environmental Management : Science, Technology and Implementation*. Routledge. Haettu 13.1.2020 Ebook Central -tietokanta.

Kangas, N. & Vuori, E. (2017). Ihmeaine BIOHIILI. Puutarha & Kauppa. Haettu 13.1.2020 osoitteesta <https://www.puutarhakauppa.fi/index.php/uusin-juttu/79-ihmeaine-biohiili>

Laukkanen, K., Saarinen, O. & Walden, H. (2009). *Golfkentän ympäristökäsikirja*. 2. painos. Taitto: GreenIT Oy. Haettu 24.3.2020 osoitteesta: <https://fgma.eu/wp-content/uploads/sites/43/2017/06/Ymp%C3%A4rist%C3%B6-SGL-ymp%C3%A4rist%C3%B6k%C3%A4sikirja-2009.pdf>

Laukkanen, K. & Walden, H. (2008). *Urheilunurmikoiden perustaminen ja hoito*. Helsinki: Rakennustieto.

Laurila N. (Ed.), (2019). Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savo. , Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savo., In: Xamk Kehittää 74, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Haettu 7.10.2019 osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-165-1>

Leivo, V. & Rantala, J. (2001). Maavaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Haettu 4.3.2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-2011112914922>

Lepaa Golf. (n.d.). Kenttäesittely. Haettu 9.4.2020 osoitteesta: https://www.lepaagolf.fi/kenttaesittely#gal_auto

Pouttu, P. (2019). HAMK:in Lepaan golfkentällä käytetyn kasvualustan koostumus. Sähköpostiviesti tekijälle 26.11.2019

Randpark Golf Club. (2018). Annual report. Haettu 9.1.2020 osoitteesta <https://www.randpark.co.za/2018-agm-report/>

Relander, V. (2010). Etelä-Saimaa golfkentän viheriöiden kuntotutkimus. Saimaan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Haettu 12.3.2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201004297236>

Ruuskanen, P. (2019). Biohiili-kompostiseos golfkentän rankennemateriaalina. Haettu 12.3.2020 osoitteesta <https://www.kokeilunpaikka.fi/fi/kokeilu/biohiili-kompostiseos-golfkentan-rankennemateriaalina>

Schmidt, H.-P. & Wilson, K. (2014.). The Biochar Journal. The 55 uses of biochar. Haettu 14.2.2020 osoitteesta <https://www.biochar-journal.org/en/ct/2>

Suomen biohiiliyhdistys. (2019). Biohiili hallitusohjelmassa. Haettu 10.1.2020 osoitteesta <https://www.suomenbiohiili.fi/ajankohtaisia-uutisia/biohiili-mukaan-hallitusohjelmaan>

Suomen biohiiliyhdistys. (n.d.). Mitä biohiili on? Haettu 14.2.2020 osoitteesta <https://www.suomenbiohiili.fi/biohiili/>

Vaughn, S.F., Dinelli, D., Tisserat, B., Joshee, N., Vaughan, M. & Peterson, S.C. (2015). Creeping bentgrass growth in sand-based root zones with or without biochar. *Scientia Horticulturae*. s. 593–595. Haettu 16.1.2020 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/284075899_Creeping_bentgrass_growth_in_sand-based_root_zones_with_or_without_biochar

Whitten, R. (2019). GolfDigest. BROKEN SOUND CLUB AMONG WINNERS OF 2018 ENVIRONMENTAL LEADERS OF GOLF AWARD. Haettu 16.1.2020 osoitteesta <https://www.golfdigest.com/story/broken-sound-club-site->

[of-next-weeks-pga-tour-champions-event-among-winners-of-2018-environmental-leaders-of-golf-award](#)

Yara. (2019). Lannoitus. Ravinteet. Haettu 29.8.2019 osoitteesta <https://www.yara.fi/lannoitus/ravinteet/>

MITTALAITTEEN LUKEMAT JA TODELLINEN KOSTEUSPROSENTTI LABORATORIOSSA
TEHDYISTÄ KOSTEUSMITTAUKSISTA

Lisätty vesimäärä (ml)	Mittalaitteen lukema (%)			Todellinen kosteus (%)
	USGA	U50 + B50	Biohiili	
0	2,7	10,8	16,1	0
10	5,6	18,9	17,9	4
20	15	31,6	25,1	8
30	23	37,8	35	12
40	29	43,6	45,5	16
50	33	49,1	50,7	20
60	35,8	53,6	55,9	23
70	37,7	57,3	62,6	27
80	38,9	59,7	67,3	31
90	40	62,1	72	35
100	43,8	64	75,9	39
110		66,7	82,5	43
120		70,4	86,1	47
130		71,2	90,7	51
140			94,6	55
150			97,1	59
155			99,4	61