

**Kalanjalostuslaitoksen kiertovedellä imeytetyn biohiilen vaikutus  
vihanneskrassin itävyyteen ja juurenpituuteen**

**OPINNÄYTETYÖ**



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Puutarhatalous

2023

Joonatan Anttila

Puutarhatalous  
Joonatan Anttila

Tiivistelmä  
Kevät 2023

Kalanjalostuslaitoksen kiertovedellä imeytetyn biohiilen vaikutus vihanneskrassin itävyyteen ja juurenpituuteen.  
Teo Kanniainen

---

Tutkimuksessa haluttiin selvittää, onko kalanjalostamon kiertovedellä imeytetyllä biohiilellä vaikutusta vihanneskrassin itävyyteen ja juurenpituuteen. Kokeessa oli mukana hanavedellä imeytetyt biohiilinäytteet. Verrannenäytteinä käytettiin peruskalkittua lannoittamatonta turvetta ja etikkahapolla käsiteltyä turvetta. Kokeessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja itävyyssprosentissa, mutta hyvin pieniä merkitseviä eroja havaittiin juurenpituudessa. Juurenpituudessa huomattavat erot eivät vaikuta kasvualustan toimivuuteen. Työn tilaajana oli pieni pohjoissuomalainen puutarha-alan yritys.

Avainsanat Biohiili, Juurenpituus, Itävyyssprosentti  
Sivut 13 sivua ja liitteitä 2 sivua

Name of Degree Program Horticulture

Author Joonatan Anttila

Subject The effect of biochar absorbed in the circulating water of a fish processing plant on the germination and root length of watercress.

Supervisors Teo Kanninen

Abstract

Spring 2023

---

The aim of the study was to find out whether biochar absorbed by the circulating water of a fish processing plant influences the germination and root length of watercress. Biochar samples soaked in tap water were included in the experiment. Basic limed unfertilized peat and peat treated with acetic acid were used as reference samples. In the experiment, no statistically significant differences were observed in the germination percentage, but very small significant differences were observed in the root length. The observed differences in root length do not affect the functionality of the growing medium. The client for the work was a small northern Finnish horticultural company.

Keywords Biochar, Root length, Germination

Pages 13 pages and appendices 2 pages

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	1
1.1	Biohiili absorbenttina .....	1
1.2	Biohiilen vaikutus maaperään .....	2
1.3	Tutkimuskysymykset .....	2
2	Aineisto ja menetelmät.....	3
2.1	Koejärjestelyt.....	3
2.2	Kokeen toteutus .....	4
2.3	Mittaukset ja laskut .....	4
3	Tulokset.....	6
3.1	Itävyysprosentti ja juurenpituus.....	6
4	Pohdinta.....	10
5	Johtopäätökset .....	10
	Lähteet .....	11
	Liitteet.....	12

## Kuvat, taulukot ja kaavat

Kaava 1	Keskimääräinen itävyysprosentti. ....	4
Kaava 2	Itävyysprosentin variaatiokerroin. ....	4
Kaava 3	Keskimääräinen kasvikohtainen juurenpituus. ....	5
Kaava 4	Juurenpituuden variaatiokerroin. ....	5
Kaava 5	Juurenpituus indeksi. ....	5
Kaava 6	Munoo-Liisa-elinvoimaisuusindeksi. ....	5
Kuva 1	Itävyysprosentin ja kasvualustakäsittelyn yhden muuttujan varianssianalyysin boxplot-kaavio. ....	8
Kuva 2	Keskimääräisen juurenpituuden ja kasvualustakäsittelyn yhden muuttujan varianssianalyysin boxplot-kaavio. ....	9
Kuva 3	Keskimääräinen itävyysprosentti kasvualustakäsittelyittäin. ....	10
Kuva 4	Keskimääräinen juurenpituus kasvualustakäsittelyittäin. ....	10

Taulukko 1 Kaavojen 1–6 tulokset. ....	6
Taulukko 2 Kasvualustakäsittelyn ja itävyysprosentin yhden muuttujan varianssianalyysi. .....	8
Taulukko 3 Itävyysprosenttien keskiarvojen luokittelu. ....	9
Taulukko 4 Keskimääräisen juurenpituuden ja kasvualustakäsittelyn yhden muuttujan varianssianalyysin boxplot-kaavio. ....	9
Taulukko 5 Keskimääräisten juurenpituuksien luokittelu. ....	9

## **Liitteet**

- Liite 1.** Juuren pituuden JMP analyysi
- Liite 2.** Itävyysprosentin JMP analyysi

## 1 Johdanto

Kalankasvatus voidaan toteuttaa suljetussa vedenkierrossa tai luonnonvesissä meressä tai sisävesissä. Suljettua vedenkiertoa kutsutaan kiertovesiviljelyksi. Luonnonvesissä tapahtuva kalankasvatus kuormittaa enemmän ympäristöä, kuin kiertovesiviljelyssä toteutettu kalankasvatus. (Ympäristöministeriö 2020) Kiertovesiviljelystä liete saadaan pois kierrosta saostamalla poistettavaa vettä. Saostus tapahtuu kemiallisesti kahdessa osassa: goakulointi ja flokulointi. Goakulointi ja flokulointi kasvattavat lietteen partikkelikoon tarpeeksi suureksi, että liete voidaan erottaa vedestä nauhasuodattimella. (Forsman)

Kiertovesiviljelystä poistuvassa lietteessä kuiva-ainepitoisuus on 4–5 %. Liette soveltuu biokaasun valmistukseen ja kompostointiin. Lietteen kompostoinnissa on otettava huomioon lietteen sisältämä alumiini ja rauta. (Forsman)

### 1.1 Biohiili absorbenttina

Biohiiltä valmistetaan pääasiassa kuivapyrolyysillä. Pyrolyysit voidaan jakaa kolmella tavalla viipymääjan ja lämpötilan mukaan: hidas, keskinopea ja nopea pyrolyysi. Biohiilen saannon kannalta paras pyrolyysiprosessi on hidas pyrolyysi. Pyrolyysiprosessi vaikuttaa biohiilen ominaisuuksiin. Mitä korkeampi pyrolyysin lämpötila, sitä isompi biohiilen ominaispinta-ala. Mitä isompi ominaispinta-ala sitä parempi absorptiokyky. (Niemi 2018, Strands 2012, Soikkonen 2022)

Jasmin Niemi 2018 tutki biohiilen ja aktiivihiilen kykyä absorboida hulevesissä olevia ravinteita ja metalleja. Kokeessa huomattiin, että aktiivihiili ei absorboinut typen tai fosforin yhdisteitä juuri lainkaan, fosforin kohdalla hienoksijauhettu biohiili nosti fosforipitoisuutta suodatetussa vedessä. Metallit kuten kupari, sinkki ja rauta absorboituvat hyvin biohiileen. (Niemi 2018)

Biohiiltä on kokeiltu kiertovesiviljelyn poistoveden suodatuksessa, mutta biohiilen kemiallinen kuluminen aiheuttaa epätasaisia tuloksia, eikä siksi sovellu suoraan kiertovesiviljelyyn. (Vielma 2020)

## 1.2 Biohiilen vaikutus maaperään

Biohiilen valmistaminen korkeissa lämpötiloissa. Tämä neutraloi orgaaniset toksiinit ja patogeenit, joten niiden läsnäolo ei haittaa biohiilen valmistusta (Strands 2012).

Biohiili vaikuttaa maaperän toimintaan monin tavoin: suoraan maan happamuuteen ja kasveille käyttökelpoisen veden ja ravinteiden määrään. Biohiilen lisäys vaikuttaa maaperän mikrobiologisiin oloihin, ja voi häiritä mikrobitoimintaa. Mikrobeilla on rooli ravinteiden muokkaamisessa kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Tämä saattaa heikentää juuren pituutta ja ravinnetaloutta, ja tämän takia kasvin kasvu saattaa hidastua. (Fagernäs, L. ym. 2014)

Biohiilen vaikutukset ovat voimakkaampia vähän hiiltä sisältävillä kivennäismailla. Hiekkaisilla huonosti vettä pidättävillä mailla biohiilen lisäys maaperään on kasvin vesitalouden kannalta hyödyllistä, koska biohiili pidättää vettä hyvin huokoisen rakenteensa vuoksi. (Fagernäs, L. ym. 2014) Biohiilen lisäys maaperään karkeilla vähähiilisillä mailla vilkastuttaa maan mikrobitoimintaa. Lisääntynyt mikrobitoiminta lisää kasville käyttökelpoisten ravinteiden määrää maaperässä. (Jeffery, S. ym. 2011)

## 1.3 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko kalankasvatuslaitosten vedensuodatuksessa käytetyn biohiilen lisäämisellä kasvualustaan vaikutusta kasvien itämisprosenttiin tai juuren pituuteen ja onko kalankasvatuslaitosten vedensuodatuksessa käytetty biohiili kasveille fytotoksista.

Kokeessa tutkimuskysymyksiä oli neljä. Onko kasvualustakäsittelyjen itävyysvasteiden välillä eroja? Onko näytteiden juurten kasvussa määrällisiä tai laadullisia eroja? Jos eroja havaitaan, missä näytteissä ne havaitaan, kuinka suuria erot ovat ja ovatko erot tilastollisesti merkittäviä? Onko kalankasvatuksessa käytetyn biohiilen lisääminen kasvualustaan kasvin kasvuun lähdön kannalta haitallista? Kasvualustoihin lisättävien aineiden fytotoksisuus on tärkeä tarkistaa ennen kasvualustojen valmistusta.

## 2 Aineisto ja menetelmät

Koe toteutettiin SFN-EN-16082-2 standardin kontaktimenetelmää mukaillen. Kokeen aineisto koostui kahdeksasta kasvualustakäsittelystä. Kokeessa oli kaksi verrannenäytettä.

- Ensimmäinen verrannenäyte (Kasvualustakäsittely 1) oli lannoittamaton VHM 420 -turve.
- Toinen verrannenäyte oli VHM 420 -turve, johon oli sekoitettu väkiviinaetikkaa (Kasvualustakäsittely 2), jossa etikkahappoa (10 %) 5 g/dm<sup>3</sup> eli 500 mg/l, tämä poikkeaa standardin 350 mg/l huomattavasti.
- Ensimmäinen annostelunäyte oli VHM 420 -turve, johon oli lisätty 50 l/m<sup>3</sup> kalankasvatusvedessä imeytettyä biohiiltä (Kasvualustakäsittely 3).
- Toinen annostelunäyte oli VHM 420 -turve, johon oli lisätty 100 l/m<sup>3</sup> kalankasvatusvedessä imeytettyä biohiiltä (Kasvualustakäsittely 4).
- Kolmas annostelunäyte oli VHM 420 -turve, johon oli lisätty 200 l/m<sup>3</sup> kalankasvatusvedessä imeytettyä biohiiltä (Kasvualustakäsittely 5).
- Neljänteen annostelunäytteeseen lisättiin 50 l/m<sup>3</sup> vedessä imeytettyä biohiiltä (Kasvualustakäsittely 6).
- Viidennessä annostelunäytteeseen lisättiin 100 l/m<sup>3</sup> vedessä imeytettyä biohiiltä (Kasvualustakäsittely 7).
- Kuudennessa annostelunäytteeseen lisättiin 200 l/m<sup>3</sup> pelkässä vedessä imeytettyä biohiiltä (Kasvualustakäsittely 8).

Koe toteutettiin kahdessa osassa. Kaikkia näytteitä oli mukana molemmissa osissa, jotta mahdolliset lämpötilavaihtelut ja kosteuserot saadaan mitätöityä.

### 2.1 Koejärjestelyt

Koe toteutettiin standardista poiketen kotiolosuhteissa. Jokaiseen petrimaljaan, joita oli kahdeksankymmentä, kylvettiin kymmenen vihanneskrassin siementä. Kokeessa oli kymmenen toistoa. Biohiiliä imeytettiin kalankasvatusvedessä 16 vuorokautta ja tavallisessa vedessä 3 vuorokautta. Toistojen välissä biohiiltä säilytettiin suljetussa muovipussissa jääkaapissa 7–8°C.

## 2.2 Kokeen toteutus

Kokeessa käytettyyn turpeeseen lisättiin 2 dl vettä/l turvetta. Näytteet valmistettiin sekoittamalla kalankasvatusvedessä ja tavallisessa vedessä imeytettyä biohiiltä 0.5 dl/l, 1 dl/l ja 2 dl/l VHM 420 -turpeeseen. Sekoitettut näytteet laitettiin numeroituihin petrimaljoihin, jonka jälkeen jokaiseen petrimaljaan kylvettiin kymmenen vihanneskrassin siementä. Kokeessa jouduttiin käyttämään standardista (95 %) poiketen itävyyssprosentiltaan 80 % itävää siementä. Siementen kosketus kasvualustaan varmistettiin tiputtamalla tippa vettä jokaisen siemenen päälle pipetillä. Petrimaljat suljettiin kannella, ja peitettiin foliolla, ja ne laitettiin kaappiin, jotta täysi pimeys varmistuu. Petrimaljat asetettiin kaappiin noin 70 asteen kulmaan. Lämpötila oli kokeen aikana 28°C. Petrimaljoja pidettiin pimeässä kaapissa folioon käärittyinä 72 tuntia. Näytteiden idettyä 72 tuntia näytteet mitattiin petrimaljoissaan rullamitalla.

## 2.3 Mittaukset ja laskut

Kokeessa mitattiin standardin mukaan näytteiden juurenpituus, ja laskettiin itävyyssprosentti. Näytteiden juurenpituuden ja itävyyssprosentin perusteella laskettiin näytteiden keskimääräinen itävyyssprosentti, itävyyssprosentin variaatiokerroin, keskimääräinen kasvikohtainen juurenpituus, juurenpituuden variaatiokerroin, juurenpituusindeksi ja MLV-elinvoimaisuusindeksi. Kaavoissa 1–6 oletuksena oli kolme tai kaksi toistoa, mikä näkyi kaavoissa numeroilla 2 ja 3. Toteutetussa kokeessa toistoja oli kymmenen.

Keskimääräinen itävyyssprosentti laskettiin kaavalla 1, jossa AGR on keskimääräinen juurenpituus ja GR on itävyyssprosentti.

$$AGR = \frac{GR(\text{dish 1}) + GR(\text{dish 2}) + GR(\text{dish 3})}{3} \quad \text{Kaava 1}$$

Itävyyssprosentin variaatiokerroin lasketaan kaavalla 2, jossa CVG on itävyyssprosentin variaatiokerroin.

$$CVG = \sqrt{\frac{\sum (GR - AGR)^2}{2}} \cdot \frac{100}{AGR} \quad \text{Kaava 2}$$

==

Keskimääräinen kasvikohtainen juurenpituus lasketaan kaavalla 3, jossa ARLP on keskimääräinen kasvikohtainen juurenpituus, ja RLP on kasvikohtainen juurenpituus.

$$ARLP = \frac{RLP(\text{dish 1}) + RLP(\text{dish 2}) + RLP(\text{dish 3})}{3}$$

Kaava 3

Juurenpituuden variaatiokerroin lasketaan kaavalla 4, jossa CVR on Juurenpituuden variaatiokerroin.

$$CVR = \sqrt{\frac{\sum (RLP - ARLP)^2}{2 \cdot ARLP}} \cdot 100$$

Kaava 4

Juurenpituusindeksi lasketaan kaavalla 5, jossa RI on juurenpituusindeksi. Juurenpituusindeksi ilmoitetaan testimateriaalissa itäneiden krassinsiemementen juurenpituuden ja kaikkien vertailunäytteiden keskimääräisen juurenpituuden prosenttieroituksena.

$$RI (\%) = \frac{\left( \frac{RL_{s1}}{RL_c} + \frac{RL_{s2}}{RL_c} + \frac{RL_{s3}}{RL_c} \right)}{3} \cdot 100$$

Kaava 5

Munoo-Liisa-elinvoimaisuusindeksi lasketaan kaavalla 6, jossa MLV on Munoo-Liisa-indeksi. Munoo-Liisa-elinvoimaisuusindeksi vertaa testimateriaalissa itäneiden siementen määrää vertailumateriaalissa itäneisiin (%) sekä testi- ja vertailunäytteissä itäneiden juurten keskimääräistä pituutta.

$$MLV (\%) = \left( \frac{(GR_{s1} \cdot RL_{s1}) + (GR_{s2} \cdot RL_{s2}) + (GR_{s3} \cdot RL_{s3})}{3 \cdot (GR_c \cdot RL_c)} \right) \cdot 100$$

Kaava 6

Juurenpituudesta ja itävyysprosentista tehdään yhden muuttujan varianssianalyysi JMPpro analysointiohjelmalla.

### 3 Tulokset

Kaavojen 1–6 tulokset on esitelty taulukossa 1. Yhden muuttujan varianssianalyysin tulokset on esitelty kuvissa 1–4.

Käytettyjä tilastollisen merkitsevyyden tasoja, kun F-luku on  $< 0,05$  on havaittavissa tilastollisesti melkein merkitsevä ero, F-luvun ollessa  $< 0,01$  on tilastollisesti merkitsevä ero havaittavissa ja F-luvun ollessa  $< 0,001$  on tilastollisesti erittäin merkitsevä ero havaittavissa. (Holopainen 1999)

Taulukosta 1 ja kuvasta 1 on havaittavissa, että kasvualustakäsittelyiden 3–8 välillä ei ole suuria eroja itävyysprosentissa. Suurin ja tilastollisesti merkitsevä ero on havaittavissa verrannäytteessä 2. Kasvualustakäsittely 1 verrattuna itävyysprosentti laski kasvualustakäsittelyissä 3–8, mutta itävyysprosentin lasku ei ole tilastollisesti merkitsevä. Kuvasta 2 nähdään, että F-luku on  $< 0,0001$ , mikä tarkoittaa, että tilastollisia eroja on aineistossa.

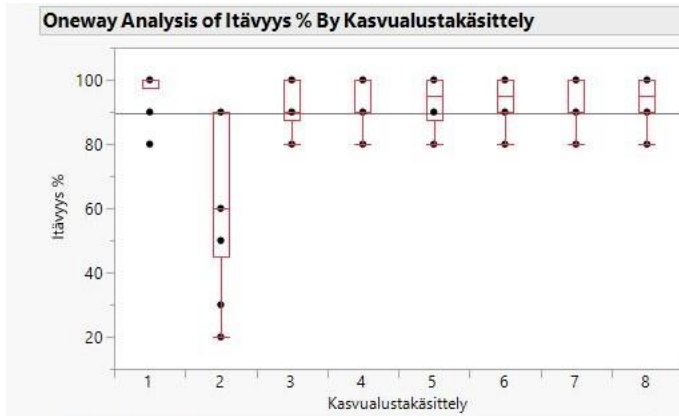
Kuvassa 4 F-luku on  $< 0,0001$ , juurenpituuden ja kasvualustan välisessä analyysissä on tilastollisesti merkitseviä eroja. Taulukosta 1 ja kuvasta 3 on havaittavissa, että verrattaessa kasvualustakäsittelyä 1 kasvualustakäsittelyihin 3–8 suuria eroja juurenpituuksissa ei havaita. Suurin ja tilastollisesti merkittävin ero havaitaan kasvualustakäsittelyiden 1 ja 2 välillä.

#### 3.1 Itävyysprosentti ja juurenpituus

Taulukko 1: Tulokset on pyöristetty yhden desimaalin tarkkuuteen.

Kasvualustakäsittely	GR%	AGR%	CVG	RLP mm	ARLP mm	CVR	RI%	MLV%
1 Turve	97	97	7,0	58,1	58,1	13,8	100,4	100
2 Etikka	60	60	40,8	2,9	2,4	78,0	83,0	3,1
3 Annostelunäyte 1	91	91	8,1	54,2	54,2	10,0	100,2	87,5
4 Annostelunäyte 2	95	95	7,4	47,6	47,6	13,2	100,2	80,3
5 Annostelunäyte 3	93	93	8,9	51,9	51,9	13,7	99,8	85,6
6 Annostelunäyte 4	94	94	7,4	48,8	48,8	21,4	99,5	81,4
7 Annostelunäyte 5	93	93	7,3	50,7	50,7	19,0	99,4	83,7
8 Annostelunäyte 6	94	94	7,4	48,1	48,1	18,9	100,4	80,3

Kuva 1 Itävyyssprosentin ja kasvualustakäsittelyn yhden muuttujan varianssianalyysin boxplot-kaavio.



Taulukko 2 Kasvualustakäsittelyn ja itävyyssprosentin yhden muuttujan varianssianalyysi.

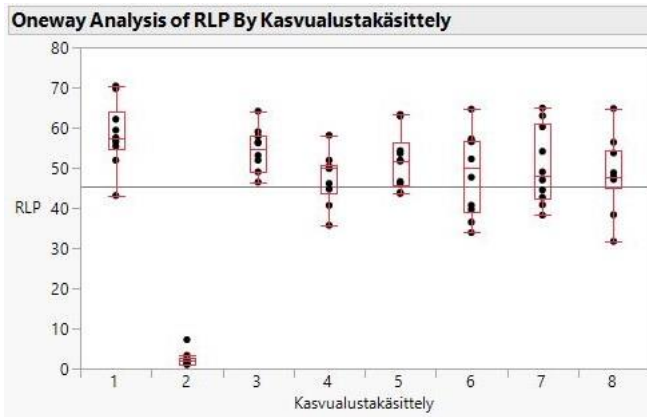
Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Kasvualustakäsittely	7	10238,750	1462,68	12,1749	<.0001*
Error	72	8650,000	120,14		
C. Total	79	18888,750			

Taulukko 3 Itävyyssprosenttien keskiarvojen luokittelu. Tilastollisesti merkitseviä eroja on, jos tasoja ei yhdistä sama kirjain.

Comparisons for each pair using Student's t		
Connecting Letters Report		
Level		Mean
1	A	97,000000
4	A	95,000000
6	A	94,000000
8	A	94,000000
5	A	93,000000
7	A	93,000000
3	A	91,000000
2	B	60,000000

Levels not connected by same letter are significantly different.

Kuva 2 Keskimääräisen juurenpituuden ja kasvualustakäsittelyn yhden muuttujan varianssianalyysin boxplot-kaavio.



Taulukko 4 Keskimääräisen juurenpituuden ja kasvualustakäsittelyn yhden muuttujan varianssianalyysi.

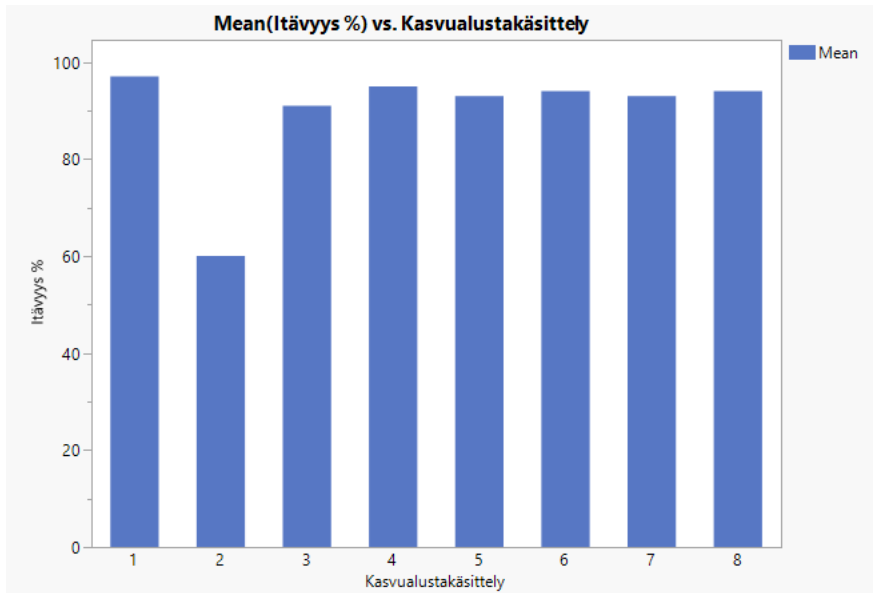
Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Kasvualustakäsittely	7	21872,905	3124,70	53,1683	<,0001*
Error	72	4231,438	58,77		
C. Total	79	26104,343			

Taulukko 5 Keskimääräisten juurenpituuksien luokittelu. Tilastollisesti merkitseviä eroja on, jos tasoja ei yhdistä sama kirjain.

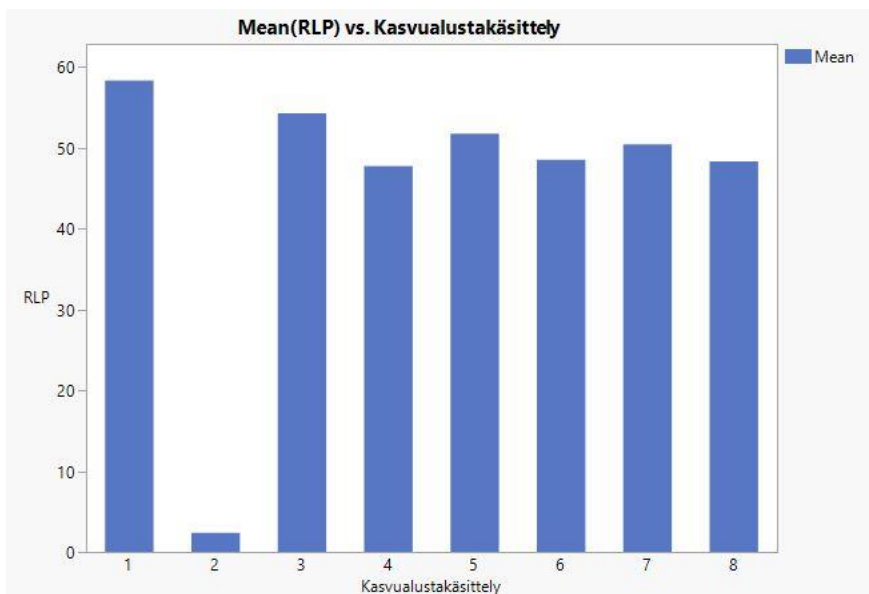
Means Comparisons		
Comparisons for each pair using Student's t		
Connecting Letters Report		
Level		Mean
1	A	58,327222
3	A B	54,301667
5	A B	51,786667
7	B	50,441111
6	B	48,562500
8	B	48,343056
4	B	47,758611
2	C	2,380000

Levels not connected by same letter are significantly different.

Kuva 3 Keskimääräinen itävyyso prosentti kasvualustakäsittelyittäin.



Kuva 4 Keskimääräinen juurenpituus kasvualustakäsittelyittäin.



## 4 Pohdinta

Kokeen perusteella voidaan todeta, että molemmat biohiilet heikensivät kasvin itävyyttä, mutta vaikutus ei ole tilastollisesti merkitsevä. Juurenpituuteen molemmilla biohiilityypeillä oli pieni negatiivinen vaikutus, joka on osittain tilastollisesti merkitsevä.

Itävyyteen biohiili ja imeytetty biohiili vaikuttivat vähemmän kuin juuren pituuteen. On mahdollista, että nitraatilla ( $\text{NO}_3^-$ ) oli vaikutusta keskimääräisiin juurenpituuksiin kasvualustakäsittelyissä 3–5 verrattuna kasvualustakäsittelyyn 1. Liiallinen nitraatti polttaa helposti nuorten kasvien juuria ja hidastaa juurten kasvua. Kuitenkaan juurten palamista ei havaittu koetta tehtäessä kasvualustakäsittelyissä 3–5.

Kasvualustakäsittelyjen 3–5 keskimääräiset juurenpituudet olivat hieman suuremmat kuin kasvualustakäsittelyiden 6–8 keskimääräiset juurenpituudet. Kasvualustakäsittelyiden 6–8 keskimääräisiin juurenpituuksiin voi vaikuttaa biohiilen ominaisuus sitoa ravinteita, mikä hidastaa juuren kasvua kasvun alkuvaiheessa.

## 5 Johtopäätökset

Kalavedellä imeytetty biohiili toimi hieman paremmin kasvualustassa kuin pelkkä biohiili. Kalavedellä saatiin pieni luokitteluero kasvualustakäsittelyihin 3 ja 5. Vaikka imeytetty biohiili toimi kasvualustassa hieman paremmin kuin pelkkä biohiili, kummallakaan biohiilikäsittelyllä ei saatu aikaan juurenpituuteen tai itävyysprosenttiin positiivisia vaikutuksia verrattuna ensimmäiseen verrannenäytteeseen.

## Lähteet

Fagnäs, L., Kuoppala, E., Ranta, J., Arpiainen, V., Tiilikkala, K., Kemppainen, R., ... & Setälä, H. (2014). *Hidaspyrolyysituotteiden hyödyntäminen ja tuotannon kannattavuus: Biohiili ja tisle*. VTT Technical Research Centre of Finland.

Forsman, A. Euroopan meri- ja kalatalousrahasto, Suomen toimintaohjelma 2014-2020.

<https://peda.net/id/36ae1f9ea1d>

Holopainen, Martti & Pulkkinen, Pekka: Tilastolliset menetelmät, s. 91. WSOY 1999.

Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 144(1), 175-187.

Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation*. Taylor & Francis Group.

Niemi, J. (2018). *Biohiilen käyttö suodattimissa*. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Strand, T. (2012). *Biohiilen tekeminen jätemateriaalista maanparannuskäyttöön*. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Soikkonen, O. (2022) *Biohiilen valmistusprosessit*. Tampereen yliopisto.

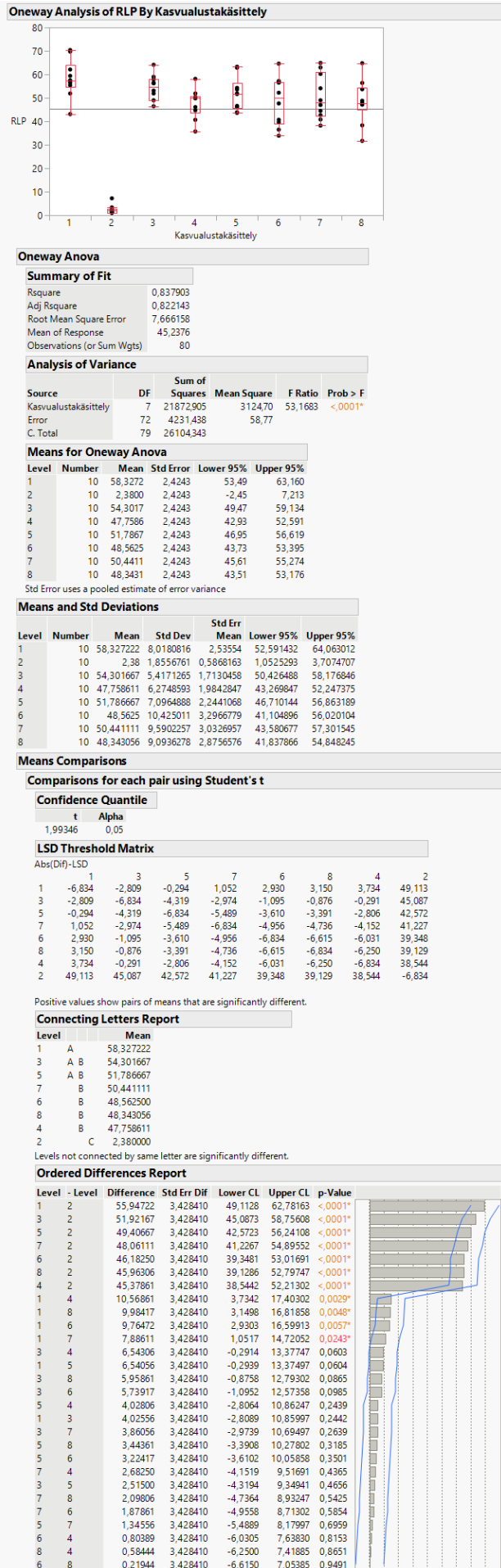
Vielma, J., Naukkarinen, M., Myyrä, R., Pulkkinen, J., & Kiuru, T. (2020). *Läpivirtauslaitosten ravinnekuormituksen vähentäminen*.

Ympäristöministeriö. (2020). *Kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohje 2020*.

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-252-5>

# Liitteet

## Liite 1 JMP analyysi Itävyyssprosentti



Liite 2 JMP analyysi juuren pituus

