**Tekniikan kandidaatintyö**

# Vaihtoehtoisten materiaalien käyttö kasvatusalustoissa

Lappeenranta 2018

Jenna Ruokonen

**TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
School of Engineering Science
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kandidaatintyö 2018
Jenna Ruokonen

**Vaihtoehtoisten materiaalien käyttö kasvatusalustoissa**

Työn ohjaajat: TkT Satu-Pia Reinikainen, TkT Eeva Jernström ja TkT Maaret Paakkunainen
40 sivua, 13 kuvaa ja 21 taulukkoa
Hakusanat: kasvatusalusta, kasvihuoneviljely, sellu, biohiili, puunkuori, salaatti

Nykyiset kasvihuoneviljelyssä käytettävät kasvatusalustat valmistetaan uusiutumattomista materiaaleista, joten uusiutuvien ja biohajoavien kasvualustojen kehittäminen on tarpeen. Tämän työn tavoitteena oli löytää sellainen pahvin, sellun, biohiilen ja puunkuoren seossuhde, jolla voidaan vähentää turpeen ja kivivillan käyttöä kasvatusalustoissa. Materiaalien seossuhteiden soveltuvuutta kasvatusalustoiksi tutkittiin kasvatuskokeiden avulla. Materiaaleista valmistettiin kahdeksan erilaista kasvualustaa, joiden lukumäärää karsittiin kokeiden edetessä. Kokeet aloitettiin esikokeella, jonka tarkoituksena oli rajata alustojen lukumäärää ennen kasvatuskokeita. Ensimmäisessä kasvatuskokeessa alustoilla kasvatettiin rairuohoa ja toisessa salaattia. Kokeissa alustojen veden- ja ravinteidenpidätyskykyä sekä kasvien kasvua vertailtiin. Kasvualustojen ravinnepitoisuudet määritettiin IC-, ICP- ja TN-analyyseilla.

Kokeissa kasvatusalusta, jossa vuorotteli selluarkki ja biohiilen ja puunkuoren seos, osoittautui lupaavimmaksi alustaksi. Kasvualustalla oli hyvä veden- ja ravinteidenpidätyskyky, minkä lisäksi sen rakenne oli kestävä. Alusta mahdollisti laajan juuriverkoston kehittymisen ja alustalla homeen kasvu oli vähäisintä. Viljelykäytössä alusta olisi kuitenkin käsiteltävä homeentorjunta-aineella sekä typpilannoitteella yleislannoitteen lisäksi. Alustasta voi siis olla mahdollista kehittää kivivillan korvaava ja turpeen käyttöä vähentävä kasvatusalusta kasvihuoneviljelyyn.

# Sisällysluettelo

KIRJALLINEN OSA ..... 3
1 JOHDANTO ..... 3
2 VILJELY KASVIHUONEISSA ..... 4
2.1 Kasvihuoneviljely Suomessa ..... 4
2.2 Salaatin viljely ..... 4
3 KASVATUSALUSTOISSA KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT ..... 6
3.1 Nykyisin käytössä olevat kasvatusalustamateriaalit ..... 6
3.1.1 Kivivilla ..... 6
3.1.2 Turve ..... 7
3.1.3 Kookoskuitu ..... 7
3.1.4 Perliitti ..... 7
3.2 Uudet kasvatusalustamateriaalit ..... 8
3.2.1 Sellu ..... 8
3.2.2 Biohiili ..... 8
3.2.3 Puunkuori ..... 8
4 KASVATUSALUSTAN OMINAISUUDET ..... 9
KOKEELLINEN OSA ..... 13
5 ESIKOE ..... 13
5.1 Kokeen kulku ..... 13
5.2 Analyysit ..... 17
5.3 Analyysien tulokset ..... 18
6 ENSIMMÄINEN KASVATUSKOE ..... 22
6.1 Kasvatuskokeen kulku ..... 23
6.2 Analyysit ..... 24
6.3 Analyysien tulokset ..... 24
7 TOINEN KASVATUSKOE ..... 29
7.1 Kasvatuskokeen kulku ..... 30
7.2 Analyysit ..... 33
7.3 Analyysien tulokset ..... 33
8 JOHTOPÄÄTÖKSET ..... 38
LÄHTEET ..... 41

# KIRJALLINEN OSA

## 1 JOHDANTO

Uusiutuvien ja kestävän kehityksen mukaisten materiaalien tarve kasvaa jatkuvasti. Nykyisin kasvatusalustoina käytetään kasvihuoneviljelyssä pääasiassa turvetta ja kivivillaa, jotka ovat uusiutumattomia materiaaleja ja joiden jatkokäyttö on rajattua. Biohajoavien ja uusiutuvista raaka-aineista valmistettujen kasvualustojen käyttö säästää luonnossa uusiutumattomia raaka-aineita. Biohajoavat materiaalit vähentävät myös kasvihuonealalla syntyvän kaatopaikkajätteen määrää. Kuitenkin uusiutuvista materiaaleista valmistettujen kasvualustojen hyödyntäminen kasvihuoneviljelyssä on toistaiseksi hyvin vähäistä.

Turve on nykyisellä käytöllä ehtyvä luonnonvara, joten sen käytön vähentäminen kasvatusalustoissa on ollut maailmanlaajuisen tutkimuksen kohteena. Tutkimuksissa turvetta on korvattu muun muassa kompostoidulla biomassalla, kasviperäisillä jätteillä sekä biohiilellä (Margenot et al., 2018; Vaughn et al., 2011; Vaughn et al., 2015; Zhong et al., 2018). Biohiiltä ja sen ominaisuuksia maanparannusaineena on myös tutkittu runsaasti. Awad et al. (2017), Schultz et al. (2013) ja Xu et al. (2012) ovat havainneet, että biohiili edesauttaa kasvien kasvua parantamalla ravinteiden saantia maa-aineksesta. Myös puunkuoren lisäämistä kasvatusalustoihin on tutkittu (Owen et al., 2014). Khasa et al. (2005) ja Tebenkova et al. (2015) ovat tutkineet sellutehtaan jätelietteiden hyödyntämistä kasvatusalustoissa, mutta sellun käytöstä ei ole juurikaan tutkimustietoa.

Tässä työssä tutkitaan pahvin, sellun, biohiilen ja puunkuoren soveltuvuutta kasvatusalustamateriaaleiksi. Työn tavoitteena on löytää uusiutuva, täysin biohajoava ja määräysten mukainen materiaalien seossuhde, jolla voidaan vähentää turpeen ja kivivillan käyttöä kasvualustoissa. Työ koostuu kirjallisesta sekä kokeellisesta osasta. Kirjallisessa osassa tarkastellaan yleisesti kasvihuoneviljelyä, erilaisia kasvualustamateriaaleja sekä kasvualustojen ominaisuuksia. Kokeellisessa osassa tutkitaan kasvatusalustojen erilaisia seossuhteita kasvatuskokeiden avulla.

# 2 VILJELY KASVIHUONEISSA

## 2.1 Kasvihuoneviljely Suomessa

Kasvihuoneella tarkoitetaan suljettua tilaa, jota käytetään muun muassa vihannesten, kasvisten, yrttien sekä koristekasvien viljelyyn. Kasvihuoneessa valon ja kasteluveden määrää sekä ilman lämpötilaa, kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta kontrolloidaan. Varsinkin kylmässä ilmastossa kasvihuoneviljely suojaa satoja haittatekijöiltä, joilta avomaaviljelyssä on vaikeampi suojautua. Näin ollen viljeltävien kasvien kasvukaudet voivat olla jopa ympärivuotisia. (Järvinen et al., 2016)

Suurissa kaupallisissa kasvihuoneissa viljely on pitkälti automatisoitua ja viljeltäviä kasvilajeja on useita (Järvinen et al., 2016). Suomessa kaupallisissa kasvihuoneissa viljellään eniten tomaatteja ja kurkkuja (Kauppapuutarhaliitto, n.d.). Kasvihuoneviljelyä harjoitetaan kaupallisen viljelyn lisäksi myös kotipuutarhoissa.

## 2.2 Salaatin viljely

Tämän työn kokeellisessa osassa alustamateriaalien soveltuvuutta kasvatusalustoiksi tutkittiin tarkastelemalla lehtisalaatin kasvua alustoilla. Kasvatuskokeessa päätettiin käyttää salaattia, sillä sen itämiseen ja viljelyyn kuluva aika on lyhyt. Esimerkiksi tomaatin tai kurkun viljelyajat ovat useita kuukausia, jolloin niiden kasvualustojen rakenteen on oltava paljon kestävämpi. Tässä kappaleessa esitellään salaatin kasvihuoneviljelyn vaiheet sekä kasvuolojen vaikutukset salaatin kasvuun.

Suomessa salaatti on eniten viljelty ruukkuvihannes. Vuonna 2015 ruukkusalaatteja tuotettiin 82,1 miljoonaa ruukkua (Kauppapuutarhaliitto, n.d.). Salaattien viljely on ympärivuotista ja se koostuu useasta vaiheesta. Viljelyn ensimmäisessä vaiheessa salaatin siemenet kylvetään ja idätetään. Itämisen jälkeen taimet siirretään taimikasvatusvaiheeseen kasvatuspöydille noin

kahdeksi viikoksi. Lopuksi taimet siirretään kasvatuskouruihin 4-7 viikoksi. (Järvinen et al., 2016) Kuvassa 1 on esitetty salaatintaimet kourukasvatusvaiheessa (Ryynänen, n.d.).

Kuva 1 Salaatintaimet kourukasvatusvaiheessa Kauppapuutarha A. Ryynänen ky:n tiloissa Raumalla (Ryynänen, n.d.).

Taimikasvatusvaiheessa taimia kastellaan ramppikastelulla. Menetelmässä taimia kastellaan leveän puomin avulla, joka liikkuu kasvatuspöydän yläpuolella lohkon päästä päähän. Puomissa on useita suuttimia, jotka jakavat kasteluveden pieniksi pisaroiksi. Ramppikastelulla saavutetaan tasainen kastelutulos sekä suuri kasteluteho. (Myllys et al., 2009) Kouruviljely on puolestaan vesiviljelyn muoto, jossa ravinnepitoinen kasteluvesi virtaa jatkuvasti kouruissa. Salaattien juuret ovat tällöin suoraan kosketuksissa matalaan vesivirtaan. (Practical Hydroponics & Greenhouses, 2014) Kastelu toteutetaan yleensä suljetulla kastelujärjestelmällä, jossa kasteluvettä ja ravinteita kierrätetään (Engideniz & Gül, 2009).

Taimia valaistaan lisävalolla taimikasvatuksen aikana. Kaupallisessa viljelyssä taimia valaistaan pöytäkasvatuksessa vuorokauden ympäri ja kourukasvatuksessa 20 tuntia vuorokaudessa (Järvinen et al., 2016). Petersenin (1981) mukaan riittävä valaisu kotipuutarhan kasvihuoneessa on 8-10 tuntia vuorokaudessa koko taimikasvatuksen ajan.

Salaatin viljelyssä sopiva lämpötila riippuu valon määrästä. Lämpötilan tulisi olla matalampi, kun luonnonvaloa on vähän saatavilla ja korkeampi valoisaan vuodenaikaan. (Petersen, 1981) Ympärivuotisesti valaistuissa kasvihuoneissa salaatin viljelyyn sopiva lämpötila on noin 18 °C. Jos kasvihuoneen lämpötila on alle 16 °C, siementen itäminen hidastuu. Yli 24 °C lämpötilassa itäminen voi puolestaan estyä kokonaan. Korkea lämpötila saa myös taimien varret kasvamaan runsaasti. (Järvinen et al., 2016)

# 3 KASVATUSALUSTOISSA KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT

Kasvatusalustoissa käytettävät materiaalit voidaan jaotella aktiivisiin ja inertteihin niiden ravinteidenpidätyskyvyn perusteella. Pidätyskyvyllä tarkoitetaan materiaalin kykyä sitoa itseensä vettä tai ravinteita hetkellisesti siten, että ne ovat kasvin hyödynnettävissä. Aktiiviset materiaalit sitovat itseensä ravinteita, mutta eivät luovuta kaikkia sitomiaan ravinteita kasvien käyttöön. Näin ollen osa ravinteista jää materiaaliin. Aktiiviset materiaalit sisältävät myös runsaasti yhdisteitä, jotka voivat liueta alustaan tai kasteluveteen. Inertit materiaalit eivät puolestaan sido pysyvästi itseensä viljelykasvin kannalta tärkeitä aineita eikä niissä ole vesiliukoisia yhdisteitä. (Järvinen et al., 2016) Tässä työssä tarkasteltavista materiaaleista aktiivisiin materiaaleihin luokitellaan orgaaniset materiaalit eli turve, kookoskuitu, biohiili, puunkuori ja sellu. Inerttejä materiaaleja ovat puolestaan epäorgaanisista mineraaleista koostuvat kivivilla ja perliitti.

## 3.1 Nykyisin käytössä olevat kasvatusalustamateriaalit

### 3.1.1 Kivivilla

Kivivillaa valmistetaan sulattamalla luonnossa esiintyvää vulkaanisista kivimateriaalia 1500 °C lämpötilassa. Kivivillan kuitumainen rakenne muodostuu, kun sulatettua materiaalia jäähdytetään. (Paroc, 2017, Bunt, 2012) Huokoinen kivivilla on varsin inerttiä ja sitä voidaan

käyttää viljelyssä uudelleen useita kertoja (Farmit, n.d.). Kivivillan hävittäminen on kuitenkin vaikeaa ja sen kierrätys on toistaiseksi vähäistä. Käytettyä kivivillaa voidaan kuitenkin hyödyntää tienrakennusaineena (Yle Teksti-TV, 2014).

### 3.1.2 Turve

Turve on orgaanista ainesta, jota muodostuu suokasvien hajoamisessa kylmissä ilmasto-olosuhteissa. Turve on suosittu kasvatusalusta ja maanparannusaine, koska se on ilmavaa ja sillä on hyvä vedenpidätyskyky (Lumme, 2014). Maatuessaan turve tummuu ja sen rakenne tiivistyy, jolloin turvealustan ilmavuus heikkenee. Kasvatusalustaksi sopii parhaiten mahdollisimman vähän maatunut, vaalea turve. (Petersen, 1981)

Turpeen käytöllä on kuitenkin haitallisia ympäristövaikutuksia. Turvesuot ovat suuria hiilivarastoja, jotka sitovat noin kolmasosan maaperän hiilestä. Tällöin turpeennosto muuttaa suon kykyä toimia hiilinieluna. Turvetta ei myöskään voida luokitella uusiutuvaksi luonnonvaraksi, sillä sen uusiutumiseen kuluu jopa tuhansia vuosia. (Crill et al., 2000) Yksittäistä suota ei siten voida hyödyntää uudelleen turpeennostossa.

### 3.1.3 Kookoskuitu

Kookoskuitu on kookospähkinöiden kuoresta valmistettua materiaalia. Kuitu on kasvipohjaisen alkuperänsä ansiosta uusiutuvaa ja biohajoavaa, joten sillä voidaan korvata uusiutumattomia kasvatusalustamateriaaleja. Kookospalmuja esiintyy kuitenkin trooppisilla ja subtrooppisilla alueilla (Chan & Elevitch, 2006), jolloin kookoskuidun kuljettaminen esimerkiksi Eurooppaan aiheuttaa merkittäviä kustannuksia ja hiilidioksidipäästöjä.

### 3.1.4 Perliitti

Perliitti on pääosin pii- ja alumiinioksideista koostuvaa vulkaanista mineraalia, jota käytetään maanparannukseen viljelyssä. Perliittiä valmistetaan lämmittämällä mineraalia 1000 °C lämpötilaan, jolloin materiaalin rakenteesta tulee huokoinen. (Bunt, 1976) Huokoisuuden

ansiosta perliittiä käytetään parantamaan kasvualustan ilmavuutta. Vesimolekyylit pääsevät kuitenkin sitoutumaan ainoastaan perliittipartikkelien pinnalle, joten perliitin vedenpidätyskyky on varsin huono. (Backman, 2007; Bunt, 1976) Drakes et al. (2001) mukaan perliitti on myös steriiliä eli se ei sisällä taudinaiheuttajia tai rikkakasvien siemeniä.

## 3.2 Uudet kasvatusalustamateriaalit

### 3.2.1 Sellu

Sellu on kemiallisesti puuaineksesta valmistettua paperimassaa, joka on paperiteollisuuden välituote. Selluloosamolekyylien muodostama verkkomainen rakenne tekee sellusta huokoisen materiaalin, joten sellu pidättää hyvin vettä. Sellu on myös edullista ja sitä on hyvin saatavilla teollisuudesta etenkin Euroopassa.

### 3.2.2 Biohiili

Biohiilellä tarkoitetaan orgaanista ainesta, jota tuotetaan biomassan pyrolyysillä. Pyrolyysissä biomassaa kuumennetaan typpi-ilmakehässä, jolloin haihtuvat yhdisteet poistuvat biomassasta. Prosessin tuotteiksi saadaan biokaasua ja -hiiltä. Pyrolyysin seurauksena biomassan hiili sitoutuu biohiileen, joten biohiilen käyttö maanparannusaineena vähentää ilman hiilidioksidipäästöjä (Lehmann, 2007). Biohiilen on todettu parantavan maa-aineksen ravinteidenpidätyskykyä sekä suodattavan veden epäpuhtauksia (Kinney et al., 2012; Pajupojat, 2017). Vaughn et al. (2013) mukaan biohiiltä voidaan myös käyttää korvaamaan turvetta kasvatusalustoissa.

### 3.2.3 Puunkuori

Puunkuorijätettä muodostuu metsäteollisuuden kuorimoilta ja se on teollisuuden merkittävä sivuvirta. Havupuiden ja koivun kuoresta valmistettua haketta ja kuoriketta käytetään

puutarhoissa suojaamaan kasvatusalustoja ja torjumaan rikkakasveja (Suomalainen Taimi, 2013). Owen et al. (2014) mukaan männyn kuorta voidaan myös käyttää perliitin tavoin parantamaan kasvualustan ilmavuutta.

# 4 KASVATUSALUSTAN OMINAISUUDET

Kasvatusalusta toimii väliaineena kasvin juurten ja sen tarvitsemien ravinteiden ja veden välillä. Kasvatusalustan ominaisuudet vaikuttavat voimakkaasti kasvin kasvuun, joten alustan on oltava kasvun kannalta sopiva. Kasvualustan ominaisuudet riippuvat käytettävistä materiaaleista sekä niiden seossuhteista. Taulukossa I on esitetty kasvualustan vaaditut ja toivotut ominaisuudet.

Taulukko I Kasvatusalustan vaaditut ja toivotut ominaisuudet (Järvinen et al., 2016, soveltuvin osin).

| **Vaaditut ominaisuudet** | **Toivotut ominaisuudet** |
|---|---|
| Huokoinen ja kestävä rakenne | Edullinen |
| Hyvä veden- ja ravinteidenpidätyskyky | Helposti saatava |
| Sopiva pH | Helposti hävitettävä |
| Riittävän alhainen johtokyky | Valmistettu uusiutuvista materiaaleista |
| Ei sisällä haitallisia aineita | Biohajoava |

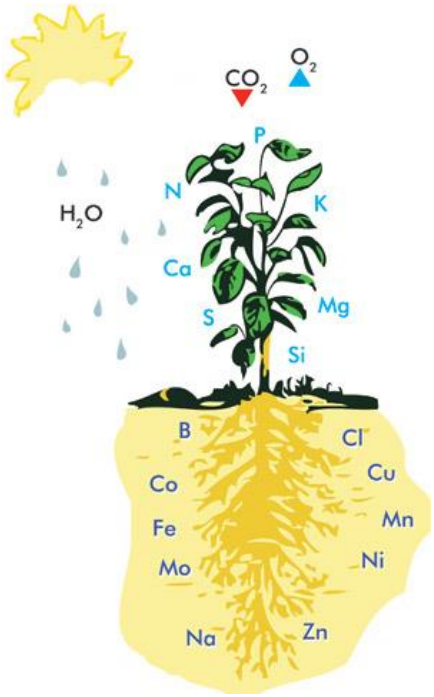
Kasvin on pystyttävä juurtumaan kasvatusalustaan ja alustan on oltava riittävän huokoinen. Huokoinen rakenne mahdollistaa veden ja ravinteiden lisäksi ilman sitoutumisen materiaaliin. (Soini, 2003) Ilmalla täyttyneet huokoset ovat juurten hapensaannin kannalta välttämättömiä (Backman, 2007). Alusta ei saa homehtua eikä hajota ennen kasvukauden loppua.

Kasvihuonekasveille kasvualustan sopiva pH-arvo on 5,5-6,5 (Järvinen et al., 2016). Turpeen ja puunkuoren pH on luonnostaan hieman hapan, joten materiaalit täytyy kalkita ennen viljelykäyttöä (Petersen, 1981; Suomalainen Taimi, 2013). Kivivillalla ja perliitillä on puolestaan huono puskurointikyky pH-arvon muutoksia vastaan (Järvinen et al., 2016). Sopivan pH:n lisäksi kasvatusalustan johtokyvyn, joka ilmaisee alustan suola- eli ravinnepitoisuuden,

tulisi olla alle 3000 µS/cm. Liian suureksi kohonnut suolapitoisuus heikentää kasvien kasvua. (Backman, 2007)

Kasvatusalustan hintaan vaikuttavia tekijöitä on useita. Kasvualustan raaka-aineista ja kokoamisesta aiheutuvat kustannukset lienevät näistä suurimpia. Alustojen valmistus olisi tehokkainta ja edullisinta automatisoituna. Kasvualustan käytönaikaiset kulut määräytyvät kastelun ja etenkin lannoituksen tarpeen mukaan. Mikäli alusta sitoo itseensä runsaasti ravinteita, mutta ei luovuta niitä kasvien käyttöön, tarvittavan lannoitteen määrä ja siten siitä aiheutuvat kulut kasvavat. Täten materiaali, joka sitoo hyvin ravinteita sekä luovuttaa niitä hitaasti ja riittävästi kasvin käyttöön, on lannoitekustannusten kannalta edullisin. Lisäksi hyvin vettä pidättävä kasvatusalusta vähentää tarvittavan kasteluveden kulutusta ja kastelusta aiheutuvia kuluja.

Tärkeimpiä kasviravinteita ovat typpi, fosfori ja kalium. Lisäksi kasvit tarvitsevat kalsiumia, magnesiumia ja rikkiä sekä hivenaineita kuten booria, mangaania, kuparia, rautaa, sinkkiä ja molybdeenia. Kuvassa 2 on esitetty kaaviokuva kasvien tarvitsemista ravinteista (Cantin, 2008).




Kuva 2 Kaaviokuva kasvien tarvitsemista ravinteista (Cantin, 2008).

Kasvatusalustan ravinteet voidaan annostella joko kasteluveden mukana tai ne voidaan sekoittaa alustamateriaaliin. Suomalaisessa kasvihuoneviljelyssä ravinteet annostellaan yleensä kasteluveden mukana juurien kautta lehtien kastelun sijaan (Järvinen et al., 2016). Kasvatusalustat, joihin on lisätty ravinteita, määritellään lannoitevalmistelaissa 539/2006 lannoitevalmisteiksi ja alustojen on täytettävä maa- ja metsätalousministeriön asettamat ehdot (Finlex, 2006; Maa- ja metsätalousministeriö, 2011). Maa- ja metsätalousministeriön lannoitevalmisteita käsittelevä asetus 24/11 määrittelee myös kasvatusalustojen suurimmat sallitut arvot raskasmetalleille, taudinaiheuttajille ja epäpuhtauksille.

Suomessa noudatetaan kasvien luonnonmukaisesta viljelystä annettua Euroopan komission asetusta 889/2008. Asetuksen mukaan luonnonmukaisiksi kasvatusalustamateriaaleiksi luokitellaan sellaiset puuperäiset tuotteet, joita ei ole käsitelty kemiallisesti puun kaatamisen jälkeen. Näin ollen tässä työssä käsiteltävistä materiaaleista puunkuori lukeutuu luomumateriaaleihin, sillä sellua valmistetaan kemiallisella puunkäsittelyprosessilla. Lisäksi

Euroopan komission luomutuotannon asiantuntijaryhmä edellyttää biohiilen tarkempaa tutkimusta ennen kuin materiaali voidaan luokitella luonnonmukaiseksi (Beck et al., 2013).

Taulukossa II on vertailtu eri kasvatusalustamateriaalien ominaisuuksia. Johtokykyä ja pH:ta ei otettu tarkasteluun mukaan, sillä niitä voidaan säädellä muita ominaisuuksia helpommin.

Taulukko II Kasvatusalustamateriaalien vertailua ominaisuuksien perusteella.

| **Ominaisuus** | **Kivivilla** | **Turve** | **Kookos-kuitu** | **Perliitti** | **Sellu** | **Biohiili** | **Puun-kuori** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Huokoinen ja kestävä rakenne | x | x | x | x | x | x | x |
| Hyvä veden- ja ravinteidenpidätyskyky | x | x | x | - | x | x | ? |
| Ei sisällä haitallisia aineita | x | x* | x* | x | x | ? | - |
| Edullinen | x | x | x | - | x | - | x** |
| Helposti saatava | x | x | - | x | x | - | x |
| Helposti hävitettävä | - | x | x | - | x | x | x |
| Valmistettu uusiutuvista materiaaleista | - | - | x | - | x | x | x |
| Biohajoava | - | x | x | - | x | x | x |

* Materiaalit voivat sisältää haitallisia aineita, mutta niiden pitoisuudet ovat kasvatusalustoille hyväksyttävissä rajoissa.
** Metsäteollisuuden kuorimoilla syntyvä kuorijäte hyödynnetään usein voimalaitoksen lämmöksi ja energiaksi kuoren myymisen sijaan. Kuorikkeeksi ja hakkeeksi myytävä kuori on kuitenkin edullista.
? Ominaisuudesta ei ole varmaa tutkimustietoa.

Taulukon II perusteella turpeella on nykyisin käytössä olevista materiaaleista eniten suotuisia kasvatusalustan ominaisuuksia. Uusista materiaaleista sellu täyttää puolestaan kaikki kasvualustan kriteerit.

# KOKEELLINEN OSA

## 5 ESIKOE

Esikokeen tarkoituksena oli kartoittaa kasvatusalustojen ominaisuuksia sekä rajata alustavaihtoehtojen lukumäärää ennen kasvatuskokeita. Esikokeessa vertailtiin erilaisten alustakokoonpanojen veden- ja ravinteidenpidätyskykyä. Kasvualustojen verrokeiksi valittiin turve- ja kivivilla-alustat. Jokaisesta alustatyypistä tehtiin neljä rinnakkaista alustaa. Taulukossa III on esitetty testatut kokoonpanot sekä niiden toistuvuus alustoissa.

Taulukko III Esikokeessa käytettyjen kasvatusalustojen eri kokoonpanot sekä niiden toistuvuus alustoissa. Kokoonpanot toistuivat kasvualustoissa siten, että alustat 1-7 päättyivät aina pahviin ja alusta 8 selluarkkiin.

| Kasvatusalusta | Kokoonpano | Kokoonpanon toistuvuus |
|---|---|---|
| 1 | pahvi – selluarkki – biohiili – selluarkki | 2 |
| 2 | pahvi – selluseos – biohiili – selluseos | 2 |
| 3 | pahvi – sellu (nenäliina) – biohiili | 2 |
| 4 | pahvi – selluseos – biohiili | 3 |
| 5 | pahvi – biohiili – selluarkki – biohiili | 2 |
| 6 | pahvi – biohiili – selluseos – biohiili | 2 |
| 7 | pahvi – biohiili – pahvi – selluseos | 1,5 |
| 8 | selluarkki – biohiili – kuori | 6 |

### 5.1 Kokeen kulku

Kokeessa käytettiin BC-aaltopahvia, koivusellua, kolmikerroksisia nenäliinoja, sekalehtipuubiohiiltä sekä kuusen kuorta. Sellun rakenteen vaikutusta vertailtiin käyttämällä sellua kolmessa eri muodossa – arkkina, nenäliinana sekä sellun ja veden seoksena. Alustassa 3 nenäliinakerros vastasi painoltaan yhtä selluarkin palaa. Lisäksi alustassa 8 aaltopahvi korvattiin puunkuorella. Ennen kokeen aloittamista kuori ilmakuivattiin kosteuden ja haihtuvien yhdisteiden poistamiseksi. Kuorta kuivattiin vetokaapissa neljä vuorokautta. Kuivattu kuori

hienonnettiin kuulamyllyllä (Retsch S1). Jauhatuksessa käytettiin viittä keskenään samankokoista kuulaa, joiden halkaisija oli 30 mm. Kuorta jauhettiin 15 minuuttia 90 % teholla. Jauhatuksen jälkeen osa kuoresta oli hyvin hienojakoista, mutta seassa oli myös osittain jauhautumattomia kuorenpaloja. Kuvassa 3 on esitetty kuori jauhatuksen jälkeen.

Kuva 3 Puunkuori jauhatuksen jälkeen.

Myös sekalehtipuubiohiiltä hienonnettiin ennen kokeita. Biohiili jauhettiin huhmareessa silmämääräisesti hienoksi rouheeksi. Kuvassa 4 on esitetty biohiili jauhamisen jälkeen.

Kuva 4 Biohiili jauhatuksen jälkeen.

Esikokeessa kasvatusalustat koottiin muovisiin istutusruukkuihin, joiden ulkomitat olivat 4,5 cm x 4,5 cm x 5,5 cm. Ruukkujen seinät kaventuivat pohjaa kohti, joten pahvien, selluarkkien ja nenäliinojen palat leikattiin 3,1 cm x 3,1 cm kokoon. Kivivillakuutiot leikattiin vastaavasti kokoon 3,1 cm x 3,1 cm x 3,1 cm. Ruukkujen pohjalle laitettiin 1 cm kerros Kekkilän ruukkusoraa ja pinnalle vastaavan paksuinen kerros GreenCaren luonnonturvetta. Turve oli kalkitsematonta ja lannoittamatonta, joten turve kalkittiin ensin Plantagenin puutarhakalkilla. Turvetta punnittiin 212,5 g ja siihen sekoitettiin 67,6 g kalkkia.

Kasvualustojen väliaineiksi tulevat seokset valmistettiin ionivaihdettuun veteen. Selluseos valmistettiin siten, että sellun suhde veteen oli 1:10. Sellun annettiin vettyä vedessä yön yli, jonka jälkeen seos sekoitettiin tasaiseksi tehosekoittimella. Biohiiliseoksessa biohiilen suhde veteen oli puolestaan 1:1. Biohiilen ja puunkuoren seoksessa kuorella korvattiin 50 % biohiilestä, joten kuivien aineiden suhde veteen oli 1:1:4. Kuvassa 5 on esitetty esikoetta varten valmistetut seokset.

Kuva 5 Esikoetta varten valmistetut seokset. Kuvassa vasemmalla on biohiiliseos, keskellä selluseos ja oikealla biohiilen ja puunkuoren seos.

Kasvatusalustat koottiin ruukkuihin taulukon III mukaisissa kokoonpanoissa siten, että seoskerroksista pyrittiin saamaan mahdollisimman tasaiset ja yhtä paksut. Taulukossa IV on esitetty kasvatusalustojen komponenttien massaosuudet kootuissa alustoissa.

Taulukko IV Kasvatusalustojen komponenttien massaosuudet kootuissa alustoissa.

| Kasvatusalusta | Pahvi | Selluarkki | Selluseos | Nenäliina | Biohiiliseos | Biohiilen ja kuoren seos |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 % | 31 % | - | - | 49 % | - |
| 2 | 12 % | - | 58 % | - | 30 % | - |
| 3 | 23 % | - | - | 18 % | 58 % | - |
| 4 | 15 % | - | 42 % | - | 43 % | - |
| 5 | 15 % | 12 % | - | - | 74 % | - |
| 6 | 12 % | - | 29 % | - | 59 % | - |
| 7 | 36 % | - | 33 % | - | 67 % | - |
| 8 | - | 26 % | - | - | - | 74 % |

Ruukkujen alle laitettiin 0,3 litran pakastusrasiat kasteluveden keräämisen ja kierrättämisen helpottamiseksi. Kasvualustat 1-8 rinnakkaisineen laitettiin yhteen vetokaappiin ja kivivilla- ja turveverrokit viereiseen vetokaappiin. Vetokaappien ilmakierrot sammutettiin ja kaappien luukut jätettiin raolleen. Alustat 1-8 on kuvattu kuvassa 6.

Kuva 6 Kootut kasvatusalustat 1-8 rinnakkaisineen vetokaapissa.

Kasvualustojen kastelu aloitettiin 29.1.2018 ja alustat kasteltiin kaksi kertaa päivässä. Alustat kasteltiin aluksi 40 ml:lla ravinnepitoista kasteluvettä, joka valmistettiin kastelulannoitteen pakkauksen ohjeen mukaisesti. Viiteen litraan ionivaihdettua vettä punnittiin 1,59 g lannoitetta. Kasvilannoitteena käytettiin GreenCaren Puutarhan kesä -lannoitetta. Ensimmäisellä

kastelukerralla alustat läpäissyt vesi kerättiin talteen ja käytettiin kasteluun toisella kastelukerralla. Järjestelyn tarkoituksena oli jäljitellä kasvihuoneissa yleisesti käytettyä suljettua vesi- ja ravinnekiertoa. Kasteluveden määrää lisättiin toisella 40 ml annoksella kokeen toisena päivänä, joten kasteluveden kokonaismäärä yhtä alustaa kohden oli 80 ml. Koe lopetettiin kolmantena päivänä 31.1.2018.

## 5.2 Analyysit

Kasvatusalustojen vedenpidätyskykyä mitattiin tarkastelemalla alustan sitomaa vesimäärää. Viimeisen kastelukerran jälkeen alustat purettiin ja niistä puristettiin mahdollisimman paljon vettä 10 ml näytepulloihin. Puristevedet suodatettiin 0,45 µm läpäisykoon Phenex-RC –ruiskusuodattimilla ennen näytteiden ravinnepitoisuuksien määrittämistä. Puristevesien kloridi-, nitriitti-, nitraatti-, fosfaatti- ja sulfaattipitoisuudet mitattiin ionikromatografilla (Thermo Scientific Dionex ICS-1100, Dionex IonPac AS22 -kolonni). Laite kalibroitiin pitoisuusalueelle 0,1–30 ppm. Kokeissa käytettiin eluenttina liuosta, jossa natriumkarbonaatin konsentraatio oli 4,5 mM ja natriumbikarbonaatin 1,4 mM. Alustoihin sitoutunut kokonaistyppi mitattiin TN:llä (total nitrogen, Shimadzu TOC-L). Alustojen sisältämät ravinteet ja hivenaineet analysoitiin ICP-MS-mittauksilla (inductively coupled plasma mass spectrometry, Agilent 7900 ICP-MS). Rikin kalibrointiliuokset valmistettiin pitoisuusvälille 2–20 ppm ja muiden analysoitavien aineiden kalibrointiliuokset välille 1–500 ppb. Kierrättämättömästä kasteluvedestä tehtiin vastaavat analyysit puristevesien ravinnepitoisuuksien vertailemiseksi.

Kierrätetystä kasteluvedestä mitattiin pH ja johtokyky huoneen lämpötilassa. Ennen mittauksia suodosvesinäytteet esikäsiteltiin standardin EPA 9045C mukaisesti. Näytteitä sekoitettiin 5 minuuttia GFL 3005 -sekoittimella 300 rpm sekoitusnopeudella. Sekoituksen jälkeen näytteissä olevan kiintoaineen annettiin laskeutua tunnin ajan. pH-arvot mitattiin Mettler Toledon Education line –pH-mittarilla, joka kalibroitiin AVS TITRINORM -puskureilla 4 ja 7. Suodosvesien johtokyvyt mitattiin Consort C3040 -mittarilla.

## 5.3 Analyysien tulokset

Taulukossa V on esitetty kasvatusalustoista puristetun veden määrä sekä suodosvesien pH-lukemat ja johtokyvyt huoneen lämpötilassa. Kokeessa käytetyn turpeen johtokyvyksi ilmoitettiin 500 µS/cm. Kivivilla-alustat olivat sitoneet vettä enemmän kuin 10 ml, joten puristevesimäärät olivat todellisuudessa suurempia. Taulukon merkittävimmät tulokset on lihavoitu.

Taulukko V Kasvatusalustoista puristetun veden määrä sekä suodosvesien pH-lukemat ja johtokyvyt huoneen lämpötilassa.

| Kasvatusalusta | Puristevesi, ml | pH | Johtokyky, µS/cm |
|---|---|---|---|
| 1 | **4,5** | 6,87 | **773** |
| 2 | **7,0** | 7,11 | 661 |
| 3 | **8,8** | 6,89 | 733 |
| 4 | 5,1 | 7,16 | **780** |
| 5 | **3,1** | 7,16 | **832** |
| 6 | 5,5 | 7,20 | 738 |
| 7 | **4,1** | 7,15 | 750 |
| 8 | 5,6 | 7,03 | 664 |
| Kivivilla | 10,0 | 7,43 | 657 |
| Turve | 9,5 | 7,54 | 623 |
| Kasteluvesi | - | 5,44 | 414 |

Taulukon V perusteella alustat 2 ja 3 pidättivät vettä huomattavasti muita alustoja enemmän. Alustat 1, 5 ja 7 puolestaan pidättivät vettä heikoiten. Taulukosta nähdään myös, että pH-arvot olivat varsin korkeita kaikissa kasvualustoissa. Lukema oli korkein turvealustassa, joten turve todennäköisesti kalkittiin liian voimakkaasti. Johtokykyjen perusteella kaikista alustoista huuhtoutui ravinteita suodosveteen, sillä johtokyvyt olivat kasteluveden arvoa suurempia. Alustojen 1, 4 ja 5 johtokyvyt olivat korkeimpia, joten alustat pidättivät ravinteita heikoiten.

Taulukossa VI on esitetty Viherympäristöliitto ry:n suosittamia vesiliukoisten ravinteiden tavoitearvoja rajoitetuille kasvatusalustoille (Soini, 2003). Saatuja mittaustuloksia tullaan vertaamaan taulukossa esitettyihin arvoihin.

Taulukko VI Vesiliukoisten ravinteiden tavoitearvoja sekä ala- ja ylärajat rajoitetuille kasvatusalustoille yksikössä mg/l (Soini, 2003).

| Ravinne | Alaraja | Tavoitearvo | Yläraja |
|---|---|---|---|
| N | 15 | 20 | 40 |
| Ca | 2500 | 3500 | 5500 |
| P | 15 | 20 | 30 |
| K | 200 | 300 | 450 |
| Mg | 250 | 350 | 500 |
| S | 10 | 30 | 200 |
| B | 0,4 | 0,6 | 1,5 |
| Cu | 2 | 3 | 20 |
| Mn | 10 | 30 | 500 |
| Zn | 2 | 3 | 20 |

Taulukossa VII on esitetty kasvatusalustojen puristevesien sekä käytetyn kasteluveden ravinnepitoisuudet IC-analyysissa. Taulukon merkittävimmät tulokset on lihavoitu.

Taulukko VII Kasvatusalustojen puristevesien sekä kierrättämättömän kasteluveden ravinnepitoisuudet yksikössä mg/l.

| Kasvatusalusta | Kloridi | Fosfaatti | Sulfaatti | Nitraatti | Nitriitti |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **42,75** | 31,45 | 126,95 | 497,55 | **8,10** |
| 2 | 33,53 | 27,68 | 113,15 | 445,78 | 0,00 |
| 3 | 35,65 | 37,48 | 129,98 | 282,80 | **25,73** |
| 4 | **59,08** | 23,13 | 189,18 | 398,75 | 0,00 |
| 5 | 33,50 | 23,05 | 141,95 | 537,00 | 0,00 |
| 6 | 35,20 | 22,60 | 134,63 | 370,00 | 0,00 |
| 7 | **47,20** | 17,28 | 156,93 | 572,75 | 0,00 |
| 8 | 32,43 | 27,48 | **80,83** | 387,30 | 0,00 |
| Kivivilla | 3,05 | 39,00 | 78,23 | 240,63 | 0,00 |
| Turve | 5,80 | 10,93 | 66,85 | 394,85 | 0,00 |
| Kasteluvesi | 12,60 | **51,20** | **47,10** | **133,00** | 0,00 |

Nitraatti, fosfaatti ja sulfaatti ovat tärkeitä kasviravinteita, mutta kloridi on suurissa pitoisuuksissa kasveille haitallista. Myrkyllisyyden lisäksi kloridi heikentää nitraatin imeytymistä kasvatusalustaan (Zrig et al., 2016, Grattana & Grieveb, 1998).

Taulukon VII perusteella alustoissa 1-8 oli jopa yli kymmenkertainen määrä kloridia verrokkialustoihin verrattuna. Kloridipitoisuudet olivat suurimmat alustoissa 1, 4 ja 5. Korkeiden nitraattipitoisuuksien perusteella kloridi ei kuitenkaan vaikeuttanut nitraatin imeytymistä alustoihin. Nitraatti- ja sulfaattipitoisuudet olivat kaikissa alustoissa moninkertaisia kasteluveden pitoisuuksiin verrattuna, joten ravinteita joko liukeni runsaasti alustamateriaaleista tai ravinteet kertyivät alustoihin voimakkaasti kasteluveden kierrättämisen seurauksena. Alustassa 8 sulfaattipitoisuus oli kuitenkin huomattavasti pienempi kuin alustoissa 1-7. Puristevesien fosfaattipitoisuudet olivat puolestaan kaikissa alustoissa kasteluveden pitoisuutta pienempiä, joten fosfaattia joko sitoutui alustamateriaaleihin tai huuhtoutui suodosveteen. Alustoissa 1 ja 3 esiintyi myös nitriittiä, joka on seurausta nitrifikaatiobakteerien toiminnasta. Bakteerit muuttavat ammoniumtypen ensin nitriitiksi ja sitten kasvien hyödynnettävissä olevaksi nitraatiksi (Shammas, 1986).

Taulukossa VIII on esitetty kasvatusalustojen puristevesien sekä kasteluveden typpipitoisuudet. Nitraatin ja nitriitin typet on laskettu näytteiden IC-tuloksista. Taulukon merkittävimmät tulokset on lihavoitu.

Taulukko VIII Kasvatusalustojen puristevesien sekä kierrättämättömän kasteluveden typpipitoisuudet yksikössä mg/l.

| Kasvatusalusta | Kokonaistyppi | Nitraatin typpi | Nitriitin typpi |
|---|---|---|---|
| 1 | **93,40** | **112,41** | **2,47** |
| 2 | 131,06 | 100,71 | 0,00 |
| 3 | **73,56** | **63,89** | **7,84** |
| 4 | - | 90,09 | 0,00 |
| 5 | 149,40 | 121,33 | 0,00 |
| 6 | 88,43 | 83,59 | 0,00 |
| 7 | 129,80 | 129,40 | 0,00 |
| 8 | 108,54 | 87,50 | 0,00 |
| Kivivilla | 86,85 | 54,36 | 0,00 |
| Turve | 143,95 | 89,21 | 0,00 |
| Kasteluvesi | 44,14 | 30,05 | 0,00 |

Taulukosta VIII nähdään, että suurin osa puristevesien typestä esiintyi nitraattina. Kastelulannoite sisälsi kuitenkin nitraattitypen lisäksi ammoniumtyppeä, jotka molemmat

kuuluvat kokonaistyppeen. Kokonaistyppipitoisuudet myös ylittivät taulukossa VI esitetyn vesiliukoisen typen ylärajan, joka on 40 mg/l. Alustassa 1 nitraatin typpipitoisuus oli kokonaistyppipitoisuutta suurempi sekä alustassa 3 nitraatin ja nitriitin yhteenlasketun typen määrä oli kokonaistyppeä suurempi. Tämä johtuu todennäköisesti näytteen käsittelyssä tai -otossa tapahtuneesta virheestä.

Taulukossa IX on esitetty kasvatusalustojen puristevesien ravinnepitoisuudet ICP-analyysissa. Taulukon merkittävimmät tulokset on lihavoitu.

Taulukko IX Kasvatusalustojen puristevesien sekä kierrättämättömän kasteluveden ravinnepitoisuudet yksikössä mg/l.

| **Kasvatus-alusta** | **B** | **Mg** | **Al** | **P** | **K** | **Ca** | **Mn** | **Fe** | **Cu** | **Zn** | **Mo** | **S** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,22 | 8,38 | **0,26** | **12,95** | **60,10** | 65,49 | 0,26 | 1,07 | 0,04 | 0,35 | 0,017 | 23,85 |
| 2 | 1,36 | 6,09 | **0,22** | **12,66** | **57,84** | 45,29 | 0,23 | 0,84 | 0,06 | 0,24 | 0,016 | 34,86 |
| 3 | 1,58 | 7,14 | **0,24** | **19,64** | **73,36** | 50,53 | 0,29 | 1,05 | 0,04 | 0,26 | 0,017 | 38,55 |
| 4 | 2,14 | 7,93 | **0,35** | **12,90** | **68,26** | 60,48 | 0,34 | 1,34 | 0,05 | 0,27 | 0,021 | 55,91 |
| 5 | 1,47 | 10,96 | **0,35** | **11,59** | **83,66** | 97,32 | 0,47 | 1,79 | 0,04 | 0,33 | 0,016 | 53,31 |
| 6 | 1,44 | 7,48 | **0,27** | **13,03** | **71,18** | 56,51 | 0,32 | 1,34 | 0,04 | 0,25 | 0,017 | 24,73 |
| 7 | 1,94 | 9,42 | **0,38** | **11,98** | **67,50** | 104,56 | 0,45 | 1,35 | - | 0,98 | - | 45,37 |
| 8 | 0,16 | 8,08 | **0,42** | **15,87** | **64,45** | 65,76 | 0,59 | 1,08 | 0,02 | 0,68 | 0,003 | 6,08 |
| Kivivilla | 0,06 | 7,25 | 0,06 | 20,27 | 56,12 | 38,41 | 0,17 | 0,42 | 0,03 | 0,07 | 0,014 | 10,88 |
| Turve | 0,04 | 12,08 | 0,29 | 5,10 | 39,79 | 84,02 | 0,19 | 0,89 | 0,01 | 0,07 | 0,013 | 5,54 |
| Kasteluvesi | 0,06 | 4,20 | 0,01 | 26,91 | 78,15 | 0,45 | 0,22 | 0,29 | 0,03 | 0,03 | 0,010 | 44,48 |

Alumiini on kasveille myrkyllistä ja se heikentää kasvin juurten pituuskasvua (Matsumoto, 2003). Myrkyllisyyden lisäksi alumiini muodostaa fosforin kanssa vaikealiukoista alumiinifosfaattia, jota kasvit eivät voi hyödyntää ravinteena. Tällöin kasvit voivat kärsiä myös fosforin puutteesta. (Miyasaka et al., 1991) Alumiinin suurimmalle sallitulle pitoisuudelle ei kuitenkaan ole annettu ohjearvoa, mutta alumiinipitoisuuden olisi hyvä olla mahdollisimman pieni. Taulukon IX perusteella alumiinipitoisuudet olivat pieniä kaikissa kasvualustoissa.

Taulukosta IX nähdään myös, että puristevesien fosforipitoisuudet olivat kaikissa alustoissa kasteluveden pitoisuutta pienempiä kuten taulukon VII fosfaattipitoisuudetkin. Myös kaliumin

määrä oli alustoissa kasteluveden määrää pienempi alustaa 5 lukuun ottamatta, mutta ero oli kuitenkin pienempi kuin fosforipitoisuuksissa. Osa fosforista ja kaliumista todennäköisesti huuhtoutui alustoista veden mukana.

Taulukon IX pitoisuuksista boorin ja rikin määrät täyttivät taulukossa VI esitetyt suositukset. Kaliumin määrä alitti taulukossa VI esitetyn alarajan 200 mg/l, mutta muiden ravinteiden pitoisuudet olivat aivan liian pieniä suosituksiin verrattuna. Tämä voi johtua kokeen lyhyestä kestosta, sillä ravinteita kierrätettiin kokeen aikana vain neljä kertaa kasteluveden mukana.

# 6 ENSIMMÄINEN KASVATUSKOE

Ensimmäisessä kasvatuskokeessa kasvualustojen ominaisuuksien tutkimista jatkettiin tarkastelemalla rairuohon kasvua alustoilla. Kokeessa käytetty rairuoho oli timoteitä. Esikokeessa alustojen puristevesien ravinnepitoisuuksissa ei ollut merkittäviä eroja (taulukot VII-IX), mutta alustojen 1, 5 ja 7 sitomat vesimäärät olivat huomattavasti muita alustoja pienempiä (taulukko V). Tästä syystä kasvatusalustoja 1, 5 ja 7 ei otettu mukaan ensimmäiseen kasvatuskokeeseen. Taulukossa X on esitetty kokeeseen valitut alustat.

Taulukko X Ensimmäiseen kasvatuskokeeseen valitut kasvatusalustat. Kokoonpanot toistuivat kasvualustoissa siten, että alustat 2-6 päättyivät aina pahviin ja alusta 8 selluarkkiin.

| **Kasvatusalusta** | **Kokoonpano** | **Kokoonpanon toistuvuus** |
|---|---|---|
| 2 | pahvi – selluseos – biohiili – selluseos | 2 |
| 3 | pahvi – sellu (nenäliina) – biohiili | 2 |
| 4 | pahvi – selluseos – biohiili | 3 |
| 6 | pahvi – biohiili – selluseos – biohiili | 2 |
| 8 | selluarkki – biohiili – kuori | 6 |

## 6.1 Kasvatuskokeen kulku

Ensimmäisessä kasvatuskokeessa kasvualustoista tehtiin samankokoiset kuin esikokeessa. Jokaisesta alustasta tehtiin myös neljä rinnakkaista. Alustojen väliaineiksi tulevat seokset valmistettiin kuten esikokeessa, mutta kalkin määrää vähennettiin turpeen kalkitsemisen yhteydessä. 162,5 g:aan turvetta sekoitettiin 40,0 g kalkkia. Kasvualustat koottiin samoin kuin esikokeessa ja kokoamisen jälkeen jokaiselle alustalle kylvettiin 0,1 g rairuohon siemeniä. Alustat kasteltiin 80 ml:lla kasteluvettä, joka valmistettiin kuten esikokeessa. Kasvatusalustojen kastelu aloitettiin 6.2.2018 ja ne kasteltiin kokeen ensimmäisenä päivänä kaksi kertaa kasteluvettä kierrättäen. Kokeen toisesta päivästä alkaen alustat kasteltiin kerran päivässä. Kasteluveden määrää lisättiin 40 ml:lla kokeen viidentenä sekä seitsemäntenä päivänä. Kasteluveden kokonaismäärä oli kokeessa siten 160 ml yhtä alustaa kohden.

Kasteluveden kierrättämisen lisäksi kasvatuskokeessa käytettiin kasvatuslamppua kasvihuoneolosuhteiden jäljittelemiseksi. Kasvualustoja valaistiin kasvatuskokeen toisesta päivästä alkaen Growlight Duo -LED-valaisimella. Lisävaloa annettiin Petersenin (1981) suosituksen mukaan 10 tuntia vuorokaudessa täydellä teholla. Lamppu säädettiin noin 60 cm kasvualustojen yläpuolelle, jotta kaikki alustat saivat saman määrän valoa.

Kasvatuskokeen neljäntenä päivänä rairuohon siemenet eivät olleet vielä kasvattaneet versoja kasvualustan pinnalle. Kasvien juuriston tila kuitenkin tarkastettiin jokaisen alustan yhdestä rinnakkaisesta. Yhdessäkään alustassa ei havaittu juuriston kasvua kokeen tässä vaiheessa. Avatut alustat poistettiin kokeesta juuriston tarkastamisen jälkeen. Kokeen kuudentena päivänä jokaisen ruukun siemenistä osa oli itänyt. Itävyys oli runsainta turve- ja kivivilla-alustoissa. Kuva 7 on otettu kasvatuskokeen kahdeksantena päivänä ja siinä on kuvattu kokeen järjestelyt.

Kuva 7 Ensimmäisen kasvatuskokeen järjestelyt. Kuva on otettu kokeen kahdeksantena päivänä. Jokaisen alustan yksi rinnakkainen poistettiin juuriston tilan tarkastuksen yhteydessä.

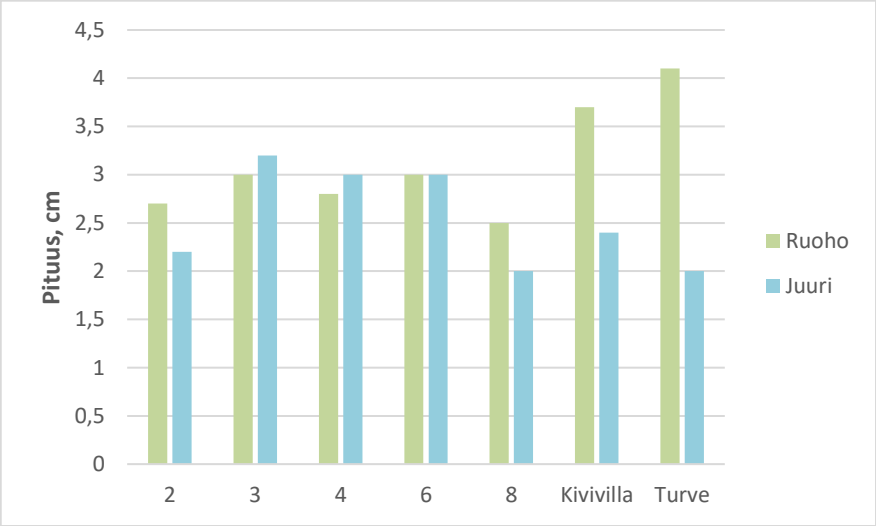
Ensimmäinen kasvatuskoe lopetettiin ja alustat purettiin kokeen yhdeksäntenä päivänä eli 14.2.2018.

## 6.2 Analyysit

Kasvatusalustojen rinnakkaisia vertailtiin itäneen ruohon ja juurten pituuden perusteella. Jokaisesta alustasta mitattiin ruohon ja juurten keskimääräinen pituus. Puristevesien ravinnepitoisuudet analysoitiin suodatuksen jälkeen TN-, IC- ja ICP-mittauksilla samoin kuin esikokeessa. Lisäksi suodosvesien ja kierrättämättömän kasteluveden pH ja johtokyky mitattiin huoneen lämpötilassa.

## 6.3 Analyysien tulokset

Ruohonkorsien ja juurten keskimääräiset pituudet on esitetty kuvassa 8.




Kuva 8 Ruohonkorsien ja juurten keskimääräiset pituudet ensimmäisen kasvatuskokeen lopussa.

Kuvasta 8 nähdään, että alustoissa 3 ja 4 juuret olivat ruohonkorsia pidempiä. Pitkät juuret ovat merkki siitä, että kasvin on täytynyt ulottua syvälle kasvatusalustaan saadakseen vettä. Näin ollen ne alustat, joissa juuret olivat pitkiä, olivat myös kuivempia. Turve- ja kivivilla-alustat olivat hyvin kosteita, jolloin myös juurten pituuskasvu oli vähäisempää ruohon kasvuun verrattuna. Toisaalta lyhyet juuret voivat olla merkki siitä, että alusta ei ole ollut tarpeeksi ilmava ja juuret ovat saattaneet kärsiä hapenpuutteesta. Kivivilla-alustoissa juuret olivat kuitenkin kasvaneet kuutioiden sisään, joten ne katkesivat helposti irrotettaessa. Näin ollen juuret saattoivat olla kivivilla-alustoissa pidempiä kuin ne, jotka pystyttiin mittaamaan.

Taulukossa XI on esitetty kasvatusalustoista puristetun veden määrä sekä suodosvesien pH-lukemat ja johtokyvyt huoneen lämpötilassa. Taulukon merkittävimmät tulokset on lihavoitu.

Taulukko XI Kasvatusalustoista puristetun veden määrä sekä suodosvesien pH-lukemat ja johtokyvyt huoneen lämpötilassa.

| **Kasvatusalusta** | **Puristevesi, ml** | **pH** | **Johtokyky, µS/cm** |
|---|---|---|---|
| 2 | 5,5 | 7,62 | 942 |
| 3 | 4,6 | 7,51 | 932 |
| 4 | **2,6** | 7,47 | 942 |
| 6 | **2,7** | 7,55 | 902 |
| 8 | 3,2 | 7,51 | **852** |
| Kivivilla | 10,0 | 7,26 | 1209 |
| Turve | 4,1 | 7,72 | 1131 |
| Kasteluvesi | - | 5,80 | 433 |

Taulukosta XI nähdään, että alustojen 4 ja 6 vesimäärät olivat pienimpiä. Puristevesien määrät olivat myös kokonaisuudessaan huomattavasti pienempiä kuin esikokeessa (taulukko V). Tämä johtuu suurimmaksi osaksi suodatuksessa tapahtuneesta näytehäviöstä. Ruiskusuodattimeen jäi aina hieman näytettä ja jokaisen näytteen suodattamiseen tarvittiin useita suodattimia. Lisäksi taulukon V puristevesimäärät kirjattiin heti puristelun jälkeen, ennen kuin näytteet suodatettiin.

Taulukosta XI nähdään myös, että suodosvesien pH-lukemat olivat jälleen varsin korkeita. pH oli korkein turvealustassa, joten turpeen kalkitus oli vieläkin liian voimakasta. Lukemat olivat suurempia kuin esikokeessa, mikä voi johtua siitä, että esikokeessa kasvualustoja kasteltiin vain kahden vuorokauden ajan. Näin ollen ensimmäisen kasvatuskokeen aikana alustoista saattoi huuhtoutua enemmän emäksisiä kationeja, kuten $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ ja $K^{+}$ (Schulz & Glaser, 2012), jotka nostivat suodosveden pH-lukemaa. Korkea pH saattoi myös hidastaa rairuohon itävyyttä ja kasvua alustoilla.

Taulukon perusteella alustojen 2-6 johtokyvyissä ei ollut merkittäviä eroja. Alustan 8 johtokyky oli kuitenkin noin 80 µS/cm pienempi kuin alustojen 2-6 johtokyvyt keskimäärin. Alusta 8 sitoi siten enemmän ravinteita kuin alustat 2-6.

Taulukossa XII on esitetty kasvatusalustojen puristevesien sekä kasteluveden ravinnepitoisuudet IC-analyysissa. Taulukon merkittävimmät tulokset on lihavoitu.

Taulukko XII Kasvatusalustojen puristevesien sekä kierrättämättömän kasteluveden ravinnepitoisuudet yksikössä mg/l.

| Kasvatusalusta | Kloridi | Fosfaatti | Sulfaatti | Nitraatti | Nitriitti |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | **13,09** | 30,46 | 75,74 | **6,70** | 0,00 |
| 3 | **11,08** | 36,17 | 83,25 | **3,75** | 0,00 |
| 4 | **16,09** | 26,51 | 81,04 | **0,00** | 0,00 |
| 6 | **10,31** | 28,67 | 79,64 | **5,02** | 0,00 |
| 8 | **21,92** | **62,49** | 70,09 | 27,92 | 0,00 |
| Kivivilla | 0,07 | 61,07 | 53,69 | 142,71 | 6,28 |
| Turve | 2,23 | 16,05 | 45,24 | 158,02 | 0,00 |
| Kasteluvesi | 13,57 | 58,16 | 26,56 | 115,17 | 0,00 |

Taulukosta XII nähdään, että kasvatusalustoissa 2, 3, 4 ja 6 nitraattipitoisuudet olivat hyvin pieniä kasteluveden pitoisuuteen verrattuna. Typpi on merkittävä ravinne kasvin elintoimintojen kannalta ja typen puutos ilmenee kasvissa kasvun hidastumisena sekä värin kellastumisena. Nitraatti huuhtoutuu myös helposti kasteluveden mukana. (Soini, 2003) Näin ollen nitraatti saattoi huuhtoutua alustoista suodosvesiin. Kuvan 8 perusteella rairuoho ei kuitenkaan kärsinyt typen puutteesta, sillä ruohon kasvu oli näissä alustoissa voimakkaampaa kuin alustassa 8, jossa nitraattipitoisuus oli suurempi. Rairuohossa ei myöskään havaittu värin muutosta kasvatuskokeen aikana.

Taulukossa XII kasvualustojen kloridipitoisuudet olivat huomattavasti pienempiä kuin esikokeessa (taulukko VII). Täten rairuoho saattoi sitoa kloridia itseensä. Kivivillaverrokin kloridipitoisuus oli kuitenkin hyvin alhainen, joten kloridi todennäköisesti huuhtoutui suurimmaksi osaksi suodosveteen. Lisäksi alustan 8 fosfaattipitoisuus oli noin kaksi kertaa suurempi kuin alustoissa 2-6. Fosfaatin määrä oli myös suurempi alustassa kuin kasteluvedessä toisin kuin esikokeessa. Tästä voidaan päätellä, että fosfaattia sitoutuu alustaan enemmän, kun kastelujakso on pidempi.

Taulukossa XIII on esitetty kasvualustojen puristevesien sekä kasteluveden typpipitoisuudet. Nitraatin ja nitriitin sisältämät typet on laskettu näytteiden IC-tuloksista. Taulukon merkittävimmät tulokset on lihavoitu.

Taulukko XIII Kasvatusalustojen puristevesien sekä kierrättämättömän kasteluveden typpipitoisuudet yksikössä mg/l.

| Kasvatusalusta | Kokonaistyppi | Nitraatin typpi | Nitriitin typpi |
|---|---|---|---|
| 2 | 14,50 | 1,51 | 0,00 |
| 3 | 14,62 | 0,85 | 0,00 |
| 4 | 12,70 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 15,11 | 1,13 | 0,00 |
| 8 | 14,87 | 6,31 | 0,00 |
| Kivivilla | 53,03 | 32,24 | 1,91 |
| Turve | 61,71 | 35,70 | 0,00 |
| Kasteluvesi | **41,41** | **26,02** | 0,00 |

Taulukosta nähdään, että kokonaistyppipitoisuudet olivat alustoissa 2-8 pienempiä kuin kasteluveden pitoisuus. Runsaammasta kastelusta huolimatta kaikkien alustojen typpipitoisuudet olivat huomattavasti pienempiä kuin taulukossa VIII. Kokonaistypen määrä oli myös hyvin lähellä taulukossa VI esitettyä 15 mg/l alarajaa alustoissa 2, 3, 6 ja 8. Alustan 4 typpipitoisuus oli sen sijaan suositeltua pienempi. Typen vähäinen määrä voi johtua alustojen heikosta typensitomiskyvystä, jolloin typpi huuhtoutuu herkästi alustasta.

Taulukossa XIV on esitetty kasvualustojen puristevesien sekä kasteluveden ravinnepitoisuudet ICP-analyysissa. Taulukon merkittävimmät tulokset on lihavoitu.

Taulukko XIV Kasvatusalustojen puristevesien sekä kierrättämättömän kasteluveden ravinnepitoisuudet yksikössä mg/l.

| Kasvatus-alusta | B | Mg | Al | P | K | Ca | Mn | Fe | Cu | Zn | Mo | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1,19 | 3,41 | 0,23 | **7,53** | **83,49** | 18,85 | 0,39 | 1,49 | 0,04 | 0,39 | 0,013 | **187,21** |
| 3 | 1,20 | 4,18 | 0,19 | **12,87** | **107,38** | 21,04 | 0,42 | 1,44 | 0,04 | 0,37 | 0,015 | **208,57** |
| 4 | 1,39 | 4,65 | 0,24 | **9,34** | **106,16** | 23,71 | 0,46 | 1,45 | 0,07 | 0,45 | 0,015 | **190,95** |
| 6 | 1,02 | 6,31 | 0,25 | **9,91** | **105,14** | 25,74 | 0,40 | 1,69 | 0,08 | 0,40 | 0,013 | **135,75** |
| 8 | 0,17 | 7,00 | 0,38 | **16,75** | **107,65** | 27,60 | 1,01 | 0,97 | 0,04 | 1,64 | 0,002 | **119,15** |
| Kivivilla | 0,09 | 6,84 | 0,05 | 18,55 | 88,38 | 28,69 | 0,17 | 0,78 | 0,04 | 0,07 | 0,007 | 87,54 |
| Turve | 0,06 | 14,04 | 0,16 | 5,51 | 80,27 | 63,69 | 0,29 | 1,35 | 0,01 | 0,10 | 0,008 | 92,88 |
| Kasteluvesi | 0,07 | 2,91 | 0,01 | 18,43 | 103,27 | 1,14 | 0,37 | 0,42 | 0,07 | 0,04 | 0,005 | 48,93 |

Taulukosta nähdään, että ravinnepitoisuudet olivat lähes yhtä suuria taulukon VIII pitoisuuksiin verrattuna. Kuitenkin kalium- ja rikkipitoisuudet olivat huomattavasti taulukon VIII pitoisuuksia suurempia. Suurempi rikkipitoisuus ei kuitenkaan ollut verrannollinen suurempaan sulfaattipitoisuuteen, sillä puristevesien sulfaattipitoisuudet ovat jopa puolet pienempiä kuin esikokeessa (taulukot VII ja XII). Rikkiä saattoi siten esiintyä esimerkiksi sulfideina $S^{2-}$. Kokeissa käytetty lannoite sisälsi runsaasti kaliumia, joten suuremmat kaliumpitoisuudet saattoivat olla seurausta pidemmästä kastelujaksosta ja annetun kasteluveden suuremmasta määrästä.

Taulukon XIV ravinnepitoisuuksista boori ja rikki osuivat taulukossa VI esitetylle pitoisuusvälille kuten esikokeessakin (taulukko IX). Muut taulukon XIV pitoisuudet jäivät jälleen suositeltua alhaisemmiksi.

# 7 TOINEN KASVATUSKOE

Toisessa kasvatuskokeessa alustojen sopivuutta kasvatusalustoiksi tutkittiin kasvattamalla alustoilla salaattia. Potentiaaliset kasvualustat valittiin ensimmäisen kokeen rairuohon kasvun sekä puristeveden määrän perusteella. Kasvualustoissa 4 ja 6 juurten kasvu oli ruohon kasvua voimakkaampaa ja puristevesien määrät olivat pienempiä kuin muissa alustoissa (kuva 8 ja taulukko XI). Näistä syistä alustat 4 ja 6 jätettiin pois toisesta kasvatuskokeesta. Kokeeseen valitut alustat on esitetty taulukossa XV.

Taulukko XV Toiseen kasvatuskokeeseen valitut kasvatusalustat. Kokoonpanot toistuivat kasvualustoissa siten, että alustat 2 ja 3 päättyivät aina pahviin ja alusta 8 selluarkkiin.

| **Kasvatusalusta** | **Kokoonpano** | **Kokoonpanon toistuvuus** |
|---|---|---|
| 2 | pahvi – selluseos – biohiili – selluseos | 4 |
| 3 | pahvi – sellu (nenäliina) – biohiili | 4 |
| 8 | selluarkki – biohiili – kuori | 12 |

## 7.1 Kasvatuskokeen kulku

Kokeessa käytettiin muovisia istutusruukkuja, joiden ulkomitat olivat 8 cm x 8 cm x 7 cm. Ruukkujen seinät kaventuivat pohjaa kohti, joten alustojen pahvien, selluarkkien ja nenäliinojen palat leikattiin kokoon 6 cm x 4,5 cm. Kivivillakuutiot leikattiin vastaavasti kokoon 6 cm x 6 cm x 4,5 cm. Ruukkujen pohjalle laitettiin 1 cm sorakerros ja alustojen päälle 1 cm turvekerros kuten aikaisemmissakin kokeissa. Ruukkujen alle laitettiin 0,5 litran pakastusrasiat suodosvesien keräämistä varten. Jokaisesta alustasta tehtiin viisi rinnakkaista. Kasvualustojen väliaineiksi tulleet seokset valmistettiin kuten aikaisemmissakin kokeissa. Kalkin määrää vähennettiin jälleen turpeen kalkitsemisen yhteydessä. 702,5 g:aan turvetta sekoitettiin 44,96 g kalkkia.

Kasvatusalustat koottiin taulukon XV mukaisesti. Taulukossa XVI on esitetty kasvatusalustojen komponenttien massaosuudet kootuissa alustoissa.

Taulukko XVI Kasvatusalustojen komponenttien massaosuudet kootuissa alustoissa.

| Kasvatusalusta | Pahvi | Selluarkki | Selluseos | Nenäliina | Biohiiliseos | Biohiilen ja kuoren seos |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 9 % | - | 61 % | - | 30 % | - |
| 3 | 20 % | - | - | 18 % | 63 % | - |
| 8 | - | 21 % | - | - | - | 79 % |

Kootuille alustoille kylvettiin kolme lehtisalaatin (*Lactuca sativa*) siementä. Alustojen kastelu aloitettiin 15.2.2018 ja alustat kasteltiin 100 ml:lla kasteluvettä. Alustat kasteltiin kerran päivässä. Lisävalon antaminen aloitettiin kokeen toisena päivänä ja valoa annettiin 10 tuntia vuorokaudessa koko kokeen ajan. Annetun valon voimakkuus ja etäisyys alustoista olivat samat kuin ensimmäisessä kasvatuskokeessa.

Kasteluveden määrää lisättiin 100 ml annoksella kokeen 2., 5., 12., 17., 23. ja 29. päivänä. Kasteluveden lannoitepitoisuus kaksinkertaistettiin kokeen 23. päivänä ensimmäisen kasvatuskokeen alhaisten nitraattipitoisuuksien takia (taulukko XII). Kasteluvesi valmistettiin punnitsemalla viiteen litraan ionivaihdettua vettä 3,18 g lannoitetta. Alustat kasteltiin kokeen

loppuun asti kasteluvedellä, jossa lannoitepitoisuus oli suurempi. Kasteluveden kokonaismäärä kokeessa oli 700 ml yhtä alustaa kohden.

Kasvatuskokeen yhdeksäntenä päivänä, jolloin kasvatuskoe oli ollut käynnissä täyden viikon, kasvualustoilla heikoiten kasvanut taimi poistettiin. Taimet poistettiin sellaisista ruukuista, joissa kolmesta siemenestä kaikki olivat itäneet. Heikoimmat eli poistettavat taimet olivat sellaisia, joiden varsi oli lyhyin, lehdet pienimpiä tai lehtiä oli vähemmän kuin muissa. Myös sellaiset taimet poistettiin, jotka olivat toisien taimien varjostamia tai joiden varsi oli kasvanut pitkin kasvualustan pintaa. Poiston jälkeen jokaisessa ruukussa kasvoi kaksi salaatinalkua.

Kokeen 16. päivänä salaatin taimien juuristojen kunnot tarkastettiin jokaisen alustan yhdestä rinnakkaisesta. Juurten todettiin olevan terveitä, mutta ne olivat haaroittuneet vain vähän tai ei ollenkaan. Ainoastaan alustan 8 taimien juuret olivat muodostaneet haaroittuvan juuriverkoston. Laaja juuristo parantaa kasvin hapen, veden ja ravinteiden saantia. Avatut alustat ja niiden taimet poistettiin kokeesta juuriston tarkastamisen jälkeen.

Taimien varret kasvoivat vinoon suurimmassa osassa alustoja kokeen toisen viikon aikana. Taimet tuettiin ohuiden, noin 15 cm pitkien lasisauvojen avulla. Tuenta tehtiin kokeen 16. päivänä. Kuvassa 9 on esitetty taimet ennen tuentaa ja kuvassa 10 tuennan jälkeen.

Kuva 9 Kasvatuskoe kokeen 16. päivänä. Kuva on otettu ennen juurten kunnon tarkastamista ja taimien tukemista.

Kuva 10 Tuetut taimet kasvatuskokeen 16. päivänä. Kuva on otettu juuriston tilan tarkastamisen jälkeen.

Kasvualustojen 2 ja 3 rinnakkaisten pinnat homehtuivat kokeen kolmannella viikolla. Home levisi myös osaan alustan 8 sekä kivivillaverrokin rinnakkaisiin. Alustojen pinnat eivät kuitenkaan homehtuneet kauttaaltaan kuten alustoissa 2 ja 3, vaan hometta muodostui vain pienille alueille. Turvealustojen rinnakkaiset eivät homehtuneet kokeen aikana. Kuvassa 11 on kuvattu alusta 3.4 kokeen 26. päivänä.

Kuva 11 Kasvatusalusta 3.4 kokeen 26. päivänä.

Kasvatuskoe lopetettiin 16.3.2018, jolloin koe oli ollut käynnissä 30 päivää.

## 7.2 Analyysit

Kasvualustoilla kasvaneiden salaatin taimien varsien ja juurten pituudet mitattiin alustojen purkamisen yhteydessä. Myös juuristojen kuntoa ja homeen kasvua arvioitiin. Suodatettujen puristevesien ja kierrättämättömän kasteluveden ravinnepitoisuudet määritettiin TN-, IC- ja ICP-analyyseilla. Suodosvesien ja kasteluveden pH sekä johtokyky mitattiin. Analyysit tehtiin kasteluvedestä, jossa lannoitepitoisuus oli suurempi.

## 7.3 Analyysien tulokset

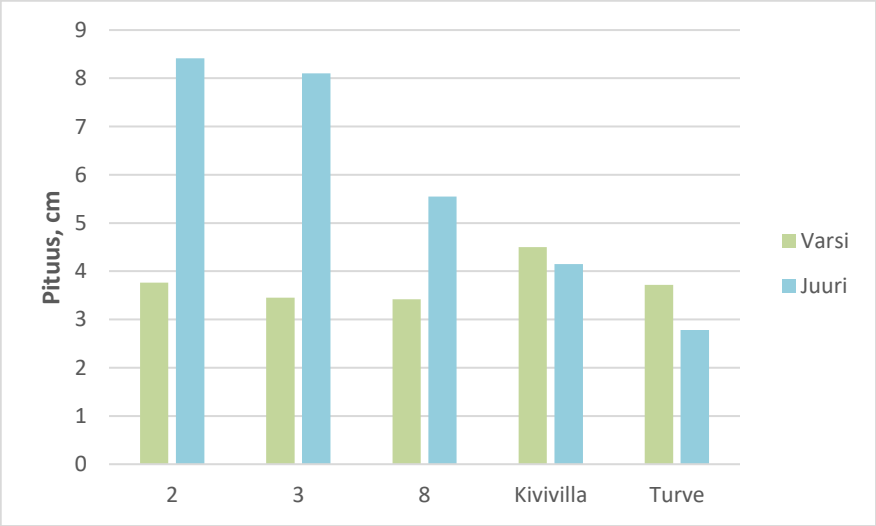
Taulukossa XVII on esitetty kasvatusalustojen pintojen homeisuus alustan pinta-alaan suhteutettuna.

Taulukko XVII Kasvatusalustojen pintojen homeisuus alustan pinta-alaan suhteutettuna.

| Kasvatusalusta | Homeisuus, % |
|---|---|
| 2 | 98 |
| 3 | 92 |
| 8 | <1 |
| Kivivilla | <1 |
| Turve | 0 |

Taulukosta XVII nähdään, että alustat 2 ja 3 pinnat olivat homehtuneet lähes täysin. Alustassa 8 sekä kivivillaverrokissa homehtuminen oli hyvin vähäistä ja turvealustalla ei ollut lainkaan hometta. Kaikkien kasvualustojen pinnalla käytettiin samaa turvetta kuin turvealustassa. Turveverrokki oli huomattavasti muita alustoja kosteampi, joten alustan pinta ei ehkä ollut tarpeeksi ilmava homeen kasvun kannalta. Alustassa 8 puunkuori saattoi hidastaa homeen kasvua alustan pinnalla. Kasvatusalustojen purkamisen yhteydessä huomattiin, että turvekerroksessa kasvanut home ei kuitenkaan ollut levinnyt kasvualustamateriaaleihin alustojen sisälle.

Salaatintaimien varsien ja juurten keskimääräiset pituudet on esitetty kuvassa 12. Kuvassa varrella tarkoitetaan salaatin yhtenäistä osaa tyvestä ylimpien lehtien haaraan asti.




Kuva 12 Salaatintaimien varsien ja juurten keskimääräiset pituudet toisessa kasvatuskokeessa.

Kuvan perusteella taimien varsien pituuksissa ei ollut juurikaan eroja alustojen 2, 3 ja 8 välillä. Kasvualustoissa 2 ja 3 juuret olivat sen sijaan yli kaksi kertaa varsia pidempiä. Alustassa 8 taimien juuret olivat kasvaneet selluarkkien sisään, joten ne katkeilivat irrotettaessa. Juuret katkeilivat myös kivivilla- ja turvealustojen purkamisen yhteydessä. Näin ollen juuret olivat näissä alustoissa pidempiä kuin ne, jotka saatiin mitattua. Alustalla 8 kasvaneiden taimien juuret olivat kuitenkin muodostaneet laajimman juuriverkoston. Alustan 3 taimien juuristo oli haaroittunut vähemmän kuin alustalla 8 ja verrokeilla sekä alustalla 2 kasvaneiden taimien juuret olivat haaroittuneet vähiten.

Taulukossa XVIII on esitetty suodosvesien sekä kierrättämättömän kasteluveden pH-arvot ja johtokyvyt huoneen lämpötilassa. Taulukon merkittävimmät tulokset on lihavoitu.

Taulukko XVIII Kasvatusalustojen suodosvesien sekä kierrättämättömän kasteluveden pH-arvot ja johtokyvyt huoneen lämpötilassa.

| **Kasvatusalusta** | **pH** | **Johtokyky, µS/cm** |
|---|---|---|
| 2 | 6,98 | **734** |
| 3 | 6,92 | **730** |
| 8 | 6,93 | **679** |
| Kivivilla | 6,35 | 1092 |
| Turve | 7,22 | 769 |
| Kasteluvesi | 5,38 | 669 |

Taulukosta XVIII nähdään, että kasvualustojen 2, 3 ja 8 pH-lukemat olivat lähes yhtä suuria. Myös alustojen 2 ja 3 johtokyvyt olivat hyvin lähellä toisiaan. Alustan 8 johtokyky oli kaikista matalin ja lähellä kasteluveden johtokykyä, joten alusta sitoi eniten ravinteita. Taulukon johtokyvyt olivat myös matalampia kuin ensimmäisessä kasvatuskokeessa (taulukko XI), vaikka kasteluveden ravinnepitoisuus oli tässä kokeessa kaksi kertaa suurempi. Suodosvesien pH-lukemat olivat kuitenkin vain noin 0,5 yksikköä matalampia kuin ensimmäisessä kasvatuskokeessa huomattavasti kevyemmästä kalkituksesta huolimatta.

Taulukossa XIX on esitetty kasvatusalustojen puristevesien sekä kierrättämättömän kasteluveden ravinnepitoisuudet IC-analyysissa. Taulukon merkittävimmät tulokset on lihavoitu.

Taulukko XIX Kasvatusalustojen puristevesien ja kierrättämättömän kasteluveden ravinnepitoisuudet yksikössä mg/l.

| Kasvatusalusta | Kloridi | Fosfaatti | Sulfaatti | Nitraatti | Nitriitti |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | **22,61** | 55,37 | 176,32 | **5,26** | 0,00 |
| 3 | **27,27** | 64,01 | 192,81 | **4,77** | 0,00 |
| 8 | **15,08** | **115,35** | **125,53** | **3,13** | 0,00 |
| Kivivilla | 1,75 | 106,78 | 115,33 | 255,24 | 0,00 |
| Turve | 2,66 | 76,16 | 104,09 | 251,38 | 10,38 |
| Kasteluvesi | **0,00** | 127,98 | 71,80 | 215,20 | 0,00 |

Taulukosta XIX nähdään, että alustoissa 2, 3 ja 8 nitraattipitoisuudet olivat hyvin alhaisia suuremmasta lannoituksesta huolimatta. Kuvan 12 perusteella salaatin kasvu oli myös heikompaa näissä alustoissa kuin kivivilla- ja turvealustoissa. Lisäksi alustoilla 2, 3 ja 8 kasvaneiden salaattien lehtien väri haalistui kasvatuskokeen lopulla. Näin ollen taimet kärsivät typen puutteesta, vaikka lannoitteen määrää lisättiin kesken kokeen. Verrokkialustoissa nitraattia oli sen sijaan runsaasti eikä puutostilan oireita ilmennyt kasvatuskokeen aikana.

Kaikissa kasvualustoissa oli havaittavia kloridipitoisuuksia, vaikka kasteluvedessä ei esiintynyt kloridia. Kasteluvesi valmistettiin kaikissa kokeissa saman laboratorion ionivaihdettuun veteen, joten aikaisempien kokeiden kasteluveden kloridipitoisuudet johtuivat todennäköisesti ongelmista vedenpuhdistuksessa. Taulukon XIX kloridipitoisuuksien perusteella kloridia liukeni alustamateriaaleista.

Kasvualustojen nitriittipitoisuudet vaihtelivat kaikissa kokeissa. Esikokeessa alustassa 3 esiintyi nitraattia, mutta ensimmäisessä ja toisessa kasvatuskokeessa sen sijaan ei esiintynyt. Lisäksi nitriittiä esiintyi kasvatuskokeissa vain verrokkialustoissa. Nitriitin esiintyminen ei siten ollut sidoksissa tiettyyn alustatyyppiin tai -materiaaliin vaan vaikutti täysin satunnaiselta.

Taulukossa XIX alustan 8 fosfaattipitoisuudet olivat lähes kaksinkertaiset alustan 2 ja 3 pitoisuuksiin verrattuna kuten ensimmäisessäkin kasvatuskokeessa (taulukko XII). Alustan sulfaattipitoisuus oli sen sijaan alhaisempi kuin alustoissa 2 ja 3. Alusta 8 näyttäisi siten pidättävän paremmin fosfaattia kuin sulfaattia.

Taulukossa XX on esitetty kasvualustojen puristevesien sekä kierrättämättömän kasteluveden typpipitoisuudet. Nitraatin ja nitriitin sisältämät typet on laskettu näytteiden IC-tuloksista. Taulukon merkittävimmät tulokset on lihavoitu.

Taulukko XX Kasvatusalustojen ja kierrättämättömän kasteluveden typpipitoisuudet yksikössä mg/l.

| **Kasvatusalusta** | **Kokonaistyppi** | **Nitraatin typpi** | **Nitriitin typpi** |
|---|---|---|---|
| 2 | 22,99 | **1,19** | 0,00 |
| 3 | 22,00 | **1,08** | 0,00 |
| 8 | 16,84 | **0,71** | 0,00 |
| Kivivilla | 136,27 | 57,67 | 0,00 |
| Turve | 109,93 | 56,80 | 3,16 |
| Kasteluvesi | 92,06 | 48,62 | 0,00 |

Taulukosta XX nähdään, että alustojen 2, 3 ja 8 kokonaistyppipitoisuudet olivat noin 20-kertaisia nitraatin pitoisuuksiin verrattuna. Typpi esiintyi siten näissä alustoissa ammoniumtyppenä ja orgaanisiin yhdisteisiin sitoutuneena typpenä. Kokonaistypen määrä oli kuitenkin hyvin lähellä taulukossa VI esitettyä typen tavoitearvoa 20 mg/l.

Taulukossa XXI on esitetty kasvatusalustojen puristevesien sekä kierrättämättömän kasteluveden ravinnepitoisuudet ICP-analyysissa. Taulukon merkittävimmät tulokset on lihavoitu.

Taulukko XXI Kasvatusalustojen puristevesien sekä kierrättämättömän kasteluveden ravinnepitoisuudet yksikössä mg/l.

| Kasvatus-alusta | B | Mg | Al | P | K | Ca | Mn | Fe | Cu | Zn | Mo | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1,19 | 7,64 | **0,48** | 21,68 | 164,62 | 32,49 | 0,58 | 3,53 | 0,06 | 0,53 | 0,016 | 78,79 |
| 3 | 1,35 | 7,55 | **0,45** | 26,17 | 180,10 | 30,07 | 0,53 | 3,76 | 0,08 | 0,62 | 0,017 | 86,25 |
| 8 | 0,25 | 9,26 | **0,36** | 39,33 | 170,16 | 26,70 | 1,02 | 1,92 | 0,04 | **2,51** | **0,003** | 51,23 |
| Kivivilla | 0,15 | 17,43 | 0,14 | 40,08 | 185,30 | 40,22 | 0,51 | 2,42 | 0,08 | 0,15 | 0,008 | 55,94 |
| Turve | 0,07 | 18,55 | 0,26 | 23,74 | 129,70 | 46,23 | 0,29 | 3,12 | 0,03 | 0,14 | 0,007 | 43,16 |
| Kasteluvesi | 0,15 | 7,05 | 0,00 | 39,89 | 156,00 | 0,00 | 0,91 | 0,88 | 0,09 | 0,09 | 0,011 | 30,34 |

Taulukosta XXI nähdään, että alustojen 2 ja 3 alumiinipitoisuudet olivat noin kaksinkertaisia ensimmäisen kasvatuskokeen pitoisuuksiin verrattuna (taulukko XIV). Alustassa 8 alumiinin määrä oli puolestaan lähes yhtä suuri kuin ensimmäisessä kasvatuskokeessa. Kasvatusalustojen 2 ja 3 pahveista saattoi siten liueta alumiinia runsaammin pidemmän kastelujakson aikana.

Taulukon perusteella alustan 8 sinkkipitoisuus oli huomattavasti verrokkien ja muiden alustojen pitoisuuksia suurempi. Alustan sinkin määrä oli muita alustoja suurempi myös aikaisemmissa kokeissa (taulukot IX ja XIV), joten sinkkiä todennäköisesti liukeni puunkuoresta. Alustan 8 molybdeenipitoisuus oli puolestaan hyvin pieni kaikissa kokeissa. Pitoisuus oli myös kokeissa sama huolimatta kokeen kestosta, viljellystä kasvista tai kasteluveden määrästä ja pitoisuudesta.

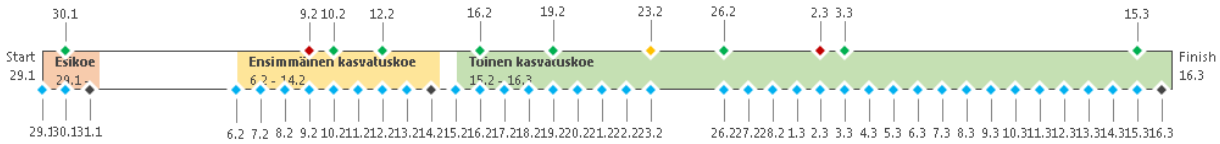
Taulukon XXI ravinnepitoisuuksista boori-, fosfori- ja rikkipitoisuudet olivat taulukossa VI esitetyissä rajoissa. Kaliumpitoisuudet jäivät keskimäärin 30 mg/l suositeltua pienemmiksi, mutta muiden ravinteiden pitoisuudet olivat aivan liian pieniä taulukon VI arvoihin verrattuna.

# 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä tutkittiin vaihtoehtoisten materiaalien käyttöä kasvatusalustoissa. Kokeissa turvetta ja kivivillaa korvattiin pahvilla, sellulla, biohiilellä ja puunkuorella erilaisissa seossuhteissa. Materiaaliseosten soveltuvuutta kasvatusalustoiksi tutkittiin kasvatuskokeilla, joiden tulosten perusteella potentiaalisin seossuhde valittiin. Kokeet aloitettiin esikokeella,

jonka avulla tutkittavien materiaalivaihtoehtojen lukumäärää karsittiin ennen varsinaisia kasvatuskokeita. Ensimmäisessä kasvatuskokeessa alustoilla kasvatettiin rairuohoa ja toisessa lehtisalaattia. Kasvatuskokeiden aikana alustoja kasteltiin kierrättämällä lannoitettua kasteluvettä ja valaistiin kasvatuslampulla kasvihuoneolojen jäljittelemiseksi. Kasvatuskokeiden loputtua alustoista otettiin puristevesinäytteet, joista analysoitiin ravinnepitoisuudet IC-, ICP- ja TN-mittauksilla. Lisäksi puristeveden määrää käytettiin alustan vedenpidätyskyvyn mittarina. Kastelusta yli jääneistä suodosvesistä mitattiin pH ja johtokyky. Rairuohon ja salaatin kasvua arvioitiin myös mittaamalla kasvien varsien ja juurten pituudet.

Kuvassa 13 on esitetty yhteenveto kokeiden kestosta ja kulusta. Kuvassa siniset merkit tarkoittavat kastelukertoja, vihreät kasteluveden määrän lisäämistä, punaiset juuriston kunnon tarkastamista ja keltainen heikoimman salaatintaimen poistamista. Kokeiden lopetuspäivät on merkitty mustalla.




Kuva 13 Yhteenveto kokeiden kestosta ja kulusta.

Esikokeessa kasvualustojen ravinnepitoisuuksissa, johtokyvyissä ja pH-arvoissa ei ollut suuria eroja, mutta alustojen 1, 5 ja 7 puristevesien määrät olivat huomattavasti muita alustoja pienempiä. Puristevesimäärien perusteella selluarkki pidättää vettä heikommin kuin selluseos, sillä alustat 1 ja 5 erosivat alustoista 2 ja 6 vain sellun osalta. Alustassa 7 oli sen sijaan eniten pahvia, joten puristeveden vähäinen määrä johtunee suurimmaksi osaksi pahvin heikosta vedenpidätyskyvystä. Puristevesimäärien perusteella alustat 1, 5 ja 7 jätettiin pois myöhemmistä kokeista.

Ensimmäisessä kasvatuskokeessa erot kasvualustojen välillä olivat suurempia kuin esikokeessa. Kasvualusta 4 menestyi kokeessa huonoiten kaikilla osa-alueilla: alustan vedenpidätyskyky oli heikoin, juurten kasvu oli keskimäärin ruohon pituuskasvua voimakkaampaa, suodosveden

johtokyky oli korkein ja ravinnepitoisuudet olivat pääsääntöisesti pienimpiä. Alustan 6 puristeveden määrä oli myös vähäinen ja juurten kasvu oli yhtä voimakasta kuin ruohon kasvu. Kasvualusta pidätti kuitenkin ravinteita paremmin kuin alusta 4, mikä voi johtua biohiilen suuremmasta määrästä ja hyvästä ravinteidenpidätyskyvystä. Alustoja 4 ja 6 ei näistä syistä otettu mukaan toiseen kasvatuskokeeseen.

Toisessa kasvatuskokeessa salaatin varsien kasvussa ei juurikaan havaittu eroja alustojen 2, 3 ja 8 välillä. Alustoissa 2 ja 3 juuret olivat sen sijaan pidemmät kuin alustassa 8, mutta ne eivät olleet haaroittuneet runsaasti kuten alustan 8 salaattien juuret. Alustan 8 suodosveden johtokyky oli matalin ja rakenne kestävin, mutta puristeveden typpipitoisuus oli pienempi kuin muissa alustoissa. Alustojen 2 ja 3 turvekerrokset homehtuivat kauttaaltaan kasvatuskokeen kolmannella viikolla. Alustan 8 rinnakkaisiin kasvoi hometta vasta kokeen neljännellä eli viimeisellä viikolla ja homehtuneet alueet olivat hyvin pieniä. Alustassa 8 olleella puunkuorella saattaa siten olla homeen kasvua hidastavia ominaisuuksia.

Kokeiden perusteella lupaavin kasvatusalusta koostuisi koivusellusta, sekalehtipuubiohiilestä ja kuusen kuoresta. Alustassa yhdistyy sellun huokoisuus ja hyvä vedenpidätyskyky, biohiilen hyvä ravinteidensitomiskyky ja kuoren homeentorjumiskyky. Kuori ei kuitenkaan estänyt homeen kasvua kokonaan, joten alusta tulisi käsitellä homeentorjunta-aineella ennen kasvualustan viljelykäyttöä. Alustalle tulisi myös lisätä typpilannoitetta yleislannoitteen lisäksi, jotta typpiravinteita riittää koko kasvukauden ajaksi. Lannoitteena olisi hyvä käyttää sellaista, joka sisältää runsaammin hivenaineita sekä kalsiumia ja magnesiumia kuin kokeissa käytetty lannoite. Kuoren käyttöä tulisi tutkia lisää, jotta sen vuorovaikutuksia kasvien ja muiden alustamateriaalien kanssa voitaisiin ymmärtää paremmin. Lisäksi kuoren ja biohiilen välistä seossuhdetta voitaisiin optimoida, sillä tässä työssä tutkittiin vain yhtä seossuhdetta. Tällä alustatyypillä ei saavutettu yhtä hyviä kasvutuloksia neljässä viikossa kuin turvealustalla, mutta alustasta voi olla mahdollista kehittää kivivillan korvaava ja turpeen käyttöä vähentävä kasvatusalusta kasvihuoneviljelyyn.

# LÄHTEET

Awad, Y., M., Lee, S., Ahmed, M., B., M., Vu, N., T., Kim, I., S., Kim, H., S., Vithanage, M., Usman, A., R., A., Al-Wabel, M., Meers, E., Kwon, E., E., Ok, Y., S., 2017, Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables, *Journal of Cleaner Production*, [verkkodokumentti], **156**, pp. 581-588. Saatavilla: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617307886. [Viitattu 15.3.2018]

Backman, T., 2007, Ryhmäkasvien viljely. In: Backman, T., Salonen, K., *Ryhmäkasvien viljely & Ryhmäkasvituotannon talous*, **19**, Kauppapuutarhaliitto ry, Neuvontaosasto, Helsinki, pp. 36, 41, 54.

Beck, A., Cabaret, J., Halberg, N., Ivanova-Peneva, S., Jespersen, L., Kretzschmar, U., Lampkin, N., Lembo, G., Monod, M., Moritz, R., de la Plaza Pérez, J., Speiser, B., Tittarelli, F., 2013, *Final report on greenhouse production (protected cropping)*, [pdf], Expert Group for Technical Advice on Organic Production, European Commission. Saatavilla: https://ec.europa.eu/agriculture/organic/sites/orgfarming/files/docs/body/final_report_egtop_on_greenhouse_production_en.pdf. [Viitattu 8.1.2018]

Bunt, A., C., 1976, *Modern potting composts: a manual on the preparation and use of growing media for plot plants*, [e-kirja], George Allen & Unwin Ltd., Lontoo. Saatavilla: https://books.google.fi/books?id=zHYrBgAAQBAJ. [Viitattu 15.1.2018]

Cantin, B., 2008, *Boosting mineral uptake in plants*, [kuva], Greenhouse Canada. Saatavilla: https://www.greenhousecanada.com/inputs/fertilizer/boosting-mineral-uptake-in-plants-1402. [Viitattu 29.3.2018]

Chan, E., Elevitch, C., R., 2006, *Cocos nucifera (coconut)*, [pdf], Species Profiles for Pacific Island Agroforestry. Saatavilla: http://www.agroforestry.net/images/pdfs/Cocos-coconut.pdf. [Viitattu 28.12.2017]

Crill, P., Hargreaves, K., Korhola, A., 2000, Turpeen asema Suomen kasvihuonekaasutaseissa. Julkaisussa: Edita, *Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja*, **20/2000**, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Helsinki, pp. 9, 43, 51.

Directive (EU) 889/2008, *Council Regulation on organic production and labelling of organic products with regard to organic production, labelling and control*, Official Journal L 250, 5.9.2008. Saatavilla: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:250:0001:0084:en:PDF. [Viitattu 8.1.2018]

Drakes, D., Briercliffe, T., Lightfoot-Brown, S., Arnold, D., Mackay, N., 2001, *The use and disposal of growing media*, [pdf], Pesticides Safety Directorate Ministry of Agriculture Fisheries and Food. Saatavilla: http://www.hse.gov.uk/pesticides/topics/pesticide-approvals/pesticides-registration/data-requirements-handbook/fate/resources/The%20Use%20and%20Disposal%20of%20Growing%20Media%20ADAS.pdf. [Viitattu 3.1.2018]

Engindeniz, S., Gül, A., 2009, Economic analysis of soilless and soil-based greenhouse cucumber production in Turkey, *Scientia Agricola*, [verkkodokumentti], **66** (5). Saatavilla: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162009000500004&script=sci_arttext&tlng=pt. [Viitattu 2.1.2018]

EPA Standard Method 9045C, 1995, *Soil and waste pH*. Saatavilla: http://www.cornerstonelab.com/SW-Methods/PDFS/9045c.pdf. [Viitattu 30.3.2018]

Farmit, *Kasvihuoneviljely – Kasvualusta*, [verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.farmit.net/kasvinviljely/erikoiskasvien-viljely/kasvihuoneviljely/kasvihuoneviljely-kaesikirja/kasvualusta. [Viitattu 18.12.2017]

Grattana, S., R., Grieveb, C., M., 1998, Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops, *Scientia Horticulturae*, [verkkodokumentti], **78** (1-4), pp. 127-157. Saatavilla: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423898001927. [Viitattu 9.2.2018]

Järvinen, M., Karjalainen, K., Vuollet, A., 2016, *Kasvihuoneviljely – tuotantotekniikan perusteet*, Opetushallitus, Helsinki, pp. 11, 13-14, 81, 129-130, 132-133, 160, 266-267.

Kauppapuutarha A. Ryynänen ky, *Ruukkusalaatti*, [kuva]. Saatavilla: http://www.ryynanen.net/salaatti.html. [Viitattu 29.3.2018]

Kauppapuutarhaliitto, *Vihannesten viljely kasvihuoneissa*, [verkkodokumentti]. Saatavilla: http://www.kauppapuutarhaliitto.fi/tietoa-kasvihuonealasta/vihannesten-viljely-kasvihuoneissa. [Viitattu 3.1.2018]

Khasa, D., Fung, M., Logan, B., 2005, Early growth response of container-grwon selected woody borealis seedlings in amended composite tailing and tailings sand, *Bioresource Technology*, [verkkodokumentti], **96** (7), pp. 857-864. Saatavilla: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852404002652. [Viitattu 13.3.2018]

Kinney, T., J., Masiello, C., A., Dugan, B., Hockaday, W., C., Dean, M., R., Zygourakis, K., Barnes, R., T., 2012, Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures, *Biomass and Bioenergy*, [verkkodokumentti], **41**, pp. 34-43. Saatavilla: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953412000438. [Viitattu 18.12.2017]

Lehmann, J., 2007, A handful of carbon, *Nature*, [verkkodokumentti], **447**, pp. 143-144. Saatavilla: https://www.nature.com/articles/447143a. [Viitattu 17.1.2018]

Lumme, S., 2014, *Kotipihan kasvihuone*, Tammi, Helsinki, p. 54.

Maa- ja metsätalousministeriö, 2011, *Lannoitevalmisteet*, [verkkodokumentti]. Saatavilla: http://mmm.fi/elaimet-kasvit/lannoitevalmisteet. [Viitattu 19.12.2017]

Margenot, A., J., Griffin, D., E., Alves, B., S., Q., Rippner, D., A., Li, C., Parikh, S., J., 2018, Substitution of peat moss with softwood biochar for soil-free marigold growth, *Industrial Crops and Products*, [verkkodokumentti], **112**, pp. 160-169. Saatavilla: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669017307380. [Viitattu 13.3.2018]

Matsumoto, H., 2003, Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants, *International Review of Cytology*, [verkkodokumentti], **200**, pp. 1-46. Saatavilla: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0074769600000012. [Viitattu 13.2.2018]

Miyasaka, S., C., Buta, J., G., Howell, R., K., Foy, C., D., *Mechanism of aluminum tolerance in snapbeans*, [verkkodokumentti]. Saatavilla: http://www.plantphysiol.org/content/96/3/737.short. [Viitattu 13.2.2018]

Myllys, M., Virtanen, E., Forsman, K., Jauhiainen, L., 2009, *Perunan kastelumenetelmien vertailu*, [pdf], Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Saatavilla: http://www.mtt.fi/met/pdf/met139.pdf. [Viitattu 18.2.2018]

Owen, G., Jackson, B., Fonteno, W., Whipker, B., 2014, *How pine wood chips in substrates affect plant growth regulators*, [verkkodokumentti], Greenhouse Grower. Saatavilla: http://www.greenhousegrower.com/production/crop-inputs/how-pine-wood-chips-in-substrates-affect-plant-growth-regulators/#Tinsel/59316/4. [Viitattu 9.1.2018]

Pajupojat Oy, 2017, *Biohiili*, [diaesitys], pp. 5-6.

Paroc, 2017, *Knowhow*, [verkkodokumentti]. Saatavilla: http://www.paroc.fi/knowhow. [Viitattu 18.12.2017]

Petersen, H., 1981, *Viljelemme kasvihuoneessa*, Weilin+Göös, Espoo, pp. 13, 16.

Practical Hydroponics & Greenhouses, 2014, *What are the fundamentals of setting up an NFT system?* [verkkodokumentti]. Saatavilla: https://www.hydroponics.com.au/what-are-the-fundamentals-of-setting-up-an-nft-system/. [Viitattu 18.2.2018]

Shammas, N., 1968, Interactions of temperature, pH and biomass on the nitrification process, *Journal (Water Pollution Control Federation)*, [verkkodokumentti], **58** (1), pp. 52-59. Saatavilla: http://www.jstor.org/stable/25042841?seq=1#page_scan_tab_contents. [Viitattu 13.2.2018]

Schulz, H., Glaser, B., 2012, Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, [verkkodokumentti], **175** (3), pp. 410-422. Saatavilla: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jpln.201100143/full. [Viitattu 2.3.2018]

Schulz, H., Dunst, G., Glaser, B., 2013, Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility; *Agronomy for Sustainable Development*, [verkkodokumentti], **33** (4), pp. 817-827. Saatavilla: https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13593-013-0150-0. [Viitattu 15.3.2018]

Soini, T., 2003, Viherrakentajan käsikirja. Julkaisussa: Viherympäristöliitto, *Viherympäristöliiton julkaisu*, **25**, Helsinki, pp. 144-146, 153.

Suomalainen Taimi, 2013, *Puunkuori ja –hake*, [verkkodokumentti]. Saatavilla: http://suomalainentaimi.fi/puunkuori-ja-hake. [Viitattu 9.1.2018]

Tebenkova, D., N., Lukina, N., V., Vorobyev, R., A., Orlova, M., A., Gagarin, Yu., N., 2015, Germination and biometric parameters of seedlings grown on solid pulp and paper waste medium, *Contemporary Problems of Ecology*, [verkkodokumentti], **8** (7), pp. 892-900. Saatavilla: https://link.springer.com/article/10.1134%2FS199542551507015X. [Viitattu 13.3.2018]

Vaughn, S., F., Deppe, N., A., Palmquist, D., E., Berhow, M., A., 2011, Extracted sweet corn tassels as a renewable alternative to peat in greenhouse substrates, *Industrial Crops and Products*, [verkkodokumentti], **33** (2), pp. 514-517. Saatavilla: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669010002797. [Viitattu 13.3.2018]

Vaughn, S., F., Kenar, J., A., Thompson, A., R., Peterson., S., C., 2013, Comparison of biochars derived from wood pellets and pelletized wheat straw as replacements for peat in potting substrates, *Industrial Crops and Products*, [verkkodokumentti], **51**, pp. 437-443. Saatavilla: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669013005621. [Viitattu 18.12.2017]

Vaughn, S., F., Eller, F., J., Evangelista, R., L., Moser, B., R., Lee, E., Wagner, R., E., Peterson, S., C., 2015, Evaluation of biochar-anaerobis potato digestate mixtures as renewable components of horticultural potting media, *Industrial Crops and Products*, [verkkodokumentti], **65**, pp. 467-471. Saatavilla: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092666901400658X. [Viitattu 13.3.2018]

Xu, G., Lv, Y., Sun, J., Shao, H., Wei, L., 2012, Recent advances in biochar applications in agricultural soils: benefits and environmental implications, *CLEAN – Soil, Earth, Water*, [verkkodokumentti], **40** (10), pp. 1093-1098. Saatavilla: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/clen.201100738/full. [Viitattu 15.3.2018]

Yle Teksti-TV, 2014, *Rahkasammalesta uusi kasvatusalusta*, [verkkodokumentti]. Saatavilla: https://yle.fi/tekstitv/arkisto/ymparisto/rahkasammaleesta_uusi_kasvualusta_9089.html. [Viitattu 18.12.2017]

Zhong, Z., Bian, F., Zhang, X., 2018, Testing composted bamboo residues with and without added effective microorganisms as a renewable alternative to peat in horticultural production, *Industrial Crops and Products*, [verkkodokumentti], **112**, pp. 602-607. Saatavilla: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669017308750. [Viitattu 13.3.2018]

Zrig, A., Tounekti, T., BenMohamed, H., Adbelgawag, H., Vadel, A., Valero, D., Khemira H., 2016, Differential response of two almond rootstocks to chloride salt mixtures in the growing medium, *Russian Journal of Plant Physiology*, [verkkodokumentti], **63**, pp. 143-151. Saatavilla: https://link.springer.com/article/10.1134/S1021443716010192. [Viitattu 9.2.2018]