

KASVIEN JA KASVULUSTAN MERKITYS HULEVEDEN
HALLINNASSA

LIISA IKONEN

HELSINGIN YLIOPISTO
BIO- JA YMPÄRISTÖTIETEELLINEN
TIEDEKUNTA
YMPÄRISTÖEKOLOGIA
PRO GRADU -TUTKIELMA
15.5.2019

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta		Laitos – Institution– Department Ympäristötieteiden laitos	
Tekijä – Författare – Author Liisa Ikonen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Kasvien ja kasvualueen merkitys huleveden hallinnassa			
Oppiaine – Läroämne – Subject Ympäristöekologia			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma		Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Tutkin tässä pro gradu -tutkielmassani eräiden suomalaisten ruohovartisten kasvilajien ja biohiilen vaikutuksia huleveden määrään ja laatuun. Tutkimuksessa järjestettiin koekasteluita, joiden avulla oli tarkoitus selvittää kasvilajien kykyä vähentää huleveden määrää ja poistaa siitä ravinteita sekä biohiilen vaikutusta huleveden määrään ja laatuun. Kasvillisuuden ja biohiilen vaikutusta on tutkittu aikaisemminkin, mutta erityisesti tiettyihin kasvilajeihin liittyviä tutkimuksia ei ole tehty Suomessa. Tutkimus on osa Luonnonvarakeskuksen Hulevesialueiden kasvit ja kasvualueet (HuleKas) -projektia.</p> <p>Kaupungistuminen lisää talojen, parkkipaikkojen ja teiden rakentamista. Tämä kasvattaa läpäisemättömien pintojen määrää, ja se puolestaan estää veden imeytymisen maan läpi. Kaupungeissa ongelma on ratkaistu rakentamalla hulevesiviemäriverkostoja, mutta erityisesti muuttuva ilmasto lisää sadeiden ja sitä kautta huleveden määrää. Rankkasateilla kaupunkien hulevesiviemärit osoittautuvat usein riittämättömiksi. Lisäksi hulevesi huuhtoo epäpuhtaudet kaduilta, ja hulevesi onkin todettu yhdeksi tärkeimmistä hajakuormituksen aiheuttajista.</p> <p>Nyttemmin on kehitetty perinteisten sadevettä pois johtavien viemäriverkostojen rinnalle ekologisempia ja kestävämpiä ratkaisuja. Hulevesi pyritään käsittelemään sen syntysijoilla, ja tähän voidaan päästä rakentamalla erilaisia hulevesirakenteita, kuten hulevesipainanteet tai sadepuutarhat. Hulevesirakenteiden tärkeimmät osat ovat kasvualueita ja kasvillisuus. Hyvällä kasvualueavallinnalla voidaan pidättää mm. fosforin yhdisteitä ja kuparia, kun taas nitraatin pidättäminen vaatii rakennetta peittävää kasvillisuutta ja hapettomia olosuhteita. Kasvillisuuden avulla voidaan myös hidastaa huippuvirtaamia, pidättää kiintoainesta ja poistaa metalleja ja ravinteita hulevedestä. Myös kasvualueen mikrobeilla on tärkeä merkitys ravinteiden sitojina.</p> <p>Tutkimusasetelmani oli astiakoe. Astioihin oli istutettu seitsemää suomalaista luonnon kasvilajia, nurmea ja kontrollina toimivat kasvittomat astiat. Osaan astioista oli lisätty biohiiltä. Tutkimusjakson aikana järjestettiin kolme koekastelua, joissa liuoslannoitteilla lisättyä teko-hulevettä kaadettiin jokaiseen astiaan sama määrä. Tämän jälkeen kirjattiin ylös tietyn aikavälein, paljonko vettä astiasta on valunut ulos. Tutkielman aineisto koostuu kahdesta osasta. Ensimmäinen osa muodostuu koekasteluiden valuntatiedoista ja kolmas osa koekasteluiden vesinäytteiden laboratorioanalyyseistä.</p> <p>Parhaita kokonaistypenpidättäjiä olivat viiltosara, jänönsara, korpikaisla, luhtakastikka ja rantatyräkki. Kokonaisfosforin pidätyksessä puolestaan erottuivat viiltosara, korpikaisla, ja rantatyräkki. Kaikki kasvikäsitellyt alensivat teko-huleveden kokonaisfosforin konsentraatiota. Biohiili paransi kaikkien edellä mainittujen kasvilajien ravinteidenpidätyskykyä. Myös mikrobitoiminnan merkitys ravinteiden sidonnassa on tärkeä.</p> <p>Eniten vettä koekastelussa käyttivät viiltosara, luhtakastikka sekä jänönsara. Jänönsaran suorituskyky on kiistanalainen johtuen epätasaisesta kastelusta kolmannen jakson aikana. Jaksojen aikaisessa veden käytössä tehokkaina veden käyttäjinä nousevat esiin viiltosara, jänönsara, korpikaisla, luhtakastikka ja rantatyräkki. Kaikki kasvikäsitellyt tuottivat vähemmän valuntaa, kuin kontrolli. Biohiilen avulla voidaan hidastaa valunnan alkamista ja kertymistä.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords hulevesi, huleveden laatu, huleveden määrä, kasvualueita, kasvillisuus, kasvit, biohiili			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Eeva-Maria Tuhkanen, Luonnonvarakeskus ja Heikki Setälä, Helsingin yliopisto			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

Sisällysluettelo

1	Sanasto	2
2	Johdanto	3
2.1	Huleveden laatu	3
2.2	Huleveden hallinta	4
2.3	Kasvualustan merkitys hulevedenhallinnassa	5
2.4	Hulevesirakenteen vedenpidätyskyky	7
2.5	Biohiilen vaikutukset maaperään	7
2.6	Biohiilen vaikutukset huleveteen	8
2.7	Kasvien merkitys hulevedenhallinnassa	9
2.8	Tutkimushypoteesit ja tutkimuksen tavoite	11
3	Aineisto ja menetelmät	11
4	Tulokset	17
4.1	Valunta-aineisto	17
4.1.1	Ensimmäinen koekastelu	17
4.1.2	Toinen koekastelu	22
4.1.3	Kolmas koekastelu	26
4.2	Laboratorioanalyysit	31
4.2.1	Nitriitin ja nitraatin konsentraatio	31
4.2.2	Kokonaistypen konsentraatio	33
4.2.3	Fosfaatin konsentraatio	35
4.2.4	Kokonaisfosforin konsentraatio	37
5	Tulosten tarkastelu	38
5.1	Röyhyvihvilä ja suovehka	38
5.2	Kastelun epätasaisuus kolmannessa jaksossa	39
5.3	Ravinteiden pidättyminen	40
5.4	Kasvi-kasvualustayhdistelmien veden käyttö	42
5.5	Kasvilajien ominaisuudet	44
6	Päätelmät	45
7	Kiitokset	46
8	Kirjallisuus	47

1 Sanasto

<i>Termi</i>	<i>Selitys</i>
<i>Adsorptio</i>	Fysikaalinen prosessi, jossa kaasu tai neste muodostaa kalvon kiinteän aineen pintaan.
<i>Desorptio</i>	Molekyylien vapautuminen aineen pinnalle tai pintaan kiinnittyneiden molekyylien irtoamisprosessi.
<i>Evaporaatio</i>	Elottomilta pinnoilta tapahtuva haihdunta.
<i>Hulevesi</i>	Sade- ja sulamisvettä, joka virtaa pois maan pinnalta, rakennusten katoilta ja muilta vastaavilta pinnoilta. Mitä enemmän alueella on vettä läpäisemätöntä pintaa, esimerkiksi asfalttia, sitä nopeammin ja enemmän hulevettä syntyy.
<i>Kationinvaihtokapasiteetti</i>	KVK, CEC, Cation exchange capacity, maaperän kyky pidättää kationimuotoisia ravinteita, yksikkö cmol/kg.
<i>Kenttäkapasiteetti</i>	Maankosteustila välittömästi sen jälkeen, kun veden kyllästämästä maasta on painovoiman vaikutuksesta poistunut ylimääräinen vesi.
<i>Makroravinteet</i>	Ravinteet, joita organismit tarvitsevat eniten: hiili, typpi, fosfori, rikki, kalium, magnesium, kalsium, natrium ja rauta.
<i>Ritsosfääri</i>	Juuriston välittömässä läheisyydessä oleva maaperä.
<i>Sorptio</i>	Absorption ja adsorption yhteisnimitys, eli ilmiö, jossa aine imeytyy toisen aineen sisään tai kiinnittyy sen pinnalle.
<i>Transpiraatio</i>	Kasvien kautta tapahtuva haihdunta.
<i>Turgorpaine</i>	Voima, joka työntää solukalvon kiinni soluseinään. Aiheutuu veden osmoottisesta virtauksesta kasvi-, sieni- ja bakteerisoluihin.
<i>Valunta</i>	Se sadannan osa, joka valuu kohti uomaan maan pinnalla tai sisällä. Myös prosessi, jossa sadevesi päätyy uomaan.

2 Johdanto

Kaupungistuminen lisää läpäisemättömien pintojen, kuten teiden ja kattojen määrää (Zhang ym. 2017). Tämän takia sadevedet eivät enää imeydy maan pinnan läpi, valunta lisääntyy ja tulvien mahdollisuus kasvaa (Kasper & Jenkins 2007). Lisäksi alueen luonnollinen hydrologinen kierto häiriintyy, eikä pohjavesi enää uudistu, kuten pinnoittamattomilla alueilla (Paul & Meyer 2001). Sadevesi huuhtoo mukaansa saasteita ja ravinteita, jotka valuvat huleveden mukana läheisiin vesistöihin (Birch, Matthai & Fazeli 2006). Lisäksi voimakkaalla valunnalla on haitallisia vaikutuksia ekosysteemeihin, koska se lisää virtavesiuomien eroosiota, pintavesien saastumista ja aiheuttaa häiriöitä hydrologiaan (Niezgoda & Johnson 2005). Kaupunkien laajentuessa asukasluvun kasvun myötä sadevesijärjestelmät käyvät usein riittämättömiksi suurien vesimäärien virratessa viemärijärjestelmiin rankkasateiden aikana (Leroy ym. 2016). Royn ym. (2008) mukaan perinteiset huleveden hallintakeinot keskittyvät suojelemaan ihmisen terveyttä ja omaisuutta, mutta eivät niinkään kiinnitä huomiota ekosysteemien suojeluun.

Huleveden viemäroinnin sijaan ne voidaan imeyttää tai varastoida lähelle niiden syntypaikkaa (Leroy ym. 2016). Perinteisten huleveden hallintakeinojen rinnalle onkin tullut erilaisia ekologisempia ja kestävämpiä menetelmiä. Royn ym. (2008) ja Leroy ym. (2016) mukaan läpäisemättömän pinta-alan määrää voidaan vähentää ja sadeveden imeytymistä maahan voidaan parantaa johtamalla hulevesi esimerkiksi biosuodatusjärjestelmiin, kosteikkoihin, viherkattoihin, kasvipeitteisiin sadevesipainanteisiin tai läpäisevän tiepäällysteen läpi maaperään.

2.1 Huleveden laatu

Davisin, Shokouhianin & Nin (2001) mukaan hulevesi on todettu yhdeksi tärkeimmistä hajakuormituksen lähteistä, mikä voi johtaa ekologisiin ja terveysriskeihin. Pistekuormitukseen on kiinnitetty enemmän huomiota, joten hajakuormitus on noussut tärkeämmäksi veden laatua huonontavaksi tekijäksi

kaupungeissa. Hajakuormitukseen vaikuttavia tekijöitä onkin huomattavasti vaikeampi kontrolloida kuin pistekuormittajia.

Davisin, Shokouhianin & Nin (2001) mukaan tärkeimmät veden laatua huonontavat tekijät ovat bakteerit, typen yhdisteet (yleisimpinä ammonium NH_4 , nitriitti NO_2^- ja nitraatti NO_3^-), fosforin yhdisteet (divetyfosfaatti H_2PO_4^- , ortofosfaatti HPO_4^{2-} ja monovetyfosfaatti PO_4^{3-}) sekä raskasmetallit, kuten kupari, lyijy, sinkki ja rauta.

2.2 Huleveden hallinta

Zhangin ym. (2017) mukaan hyvällä huleveden hallinnalla voidaan parantaa kaupunkialueiden pintavesien laatua. Kaupunkialueilla vesistöjä suojelevia ja hajakuormitusta vähentäviä huleveden hallintakeinoja voi kuitenkin olla vaikea toteuttaa, koska tilaa on vähän, maa on kallista ja tiet on päällystetty läpäisemättömillä materiaaleilla.

Ympäristölle ystävällisemmistä ja luonnollisemmista ratkaisuista on tullut viime vuosikymmenien aikana entistä suositumpia (Winz, Brierley & Trowsdale 2011, Dietz 2007). Uusia hajautettuja huleveden hallintatoimia on otettu käyttöön lieventämään kaupungistumisen ja perinteisten huleveden hallintakeinojen aiheuttamia haittoja (Zhang ym. 2017). Ratkaisuille on annettu erilaisia nimiä riippuen niiden lähestymistavasta: *Stormwater source control* (Martin, Rupert & Legret 2007), *Best Management Practice* (BMP) (Tsihrintzis, Vasarhelyi & Lipa 1995), *Low Impact Development* (LID) (Coffman ym. 1998), *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) (Elliott & Trowsdale 2007), *Innovative Stormwater Management* (ISM) (Marsalek & Schreier 2009) ja *Sustainable Drainage Systems* (SUDS) (Andoh & Iwugo 2002). Nämä ratkaisut pyrkivät kestävään huleveden hallintaan mm. vähentämällä läpäisemättömiä pintoja, viivyttämällä valuntaa sen syntysijoilla, edistämällä sadeveden imeytymistä ja haihtumista sekä jäljittelemällä luonnonoloja (Dietz 2007, Zhang ym. 2017).

Moderneja huleveden hallintajärjestelmiä voidaan kutsua sadepuutarhoiksi, biosuodatusjärjestelmiksi tai hulevesipainanteiksi, mutta perusidea niissä on yleensä samankaltainen. Davisin ym. (2009) ja Huntin, Davisin & Traverin (2012) mukaan sadepuutarha on kasvipeitteinen painanne maastossa, johon hulevesi johdetaan. Hattin, Deleticin & Fletcherin (2007) mukaan biosuodatusrakenteet vaihtelevat pienistä puistoistutuksista suuriin tienvarsiojiin. Sadepuutarhan teho perustuu mm. veden pidättymiseen sekä kasvien ja mikrobien kykyyn pidättää epäpuhtauksia (Davis ym. 2009, W. F. Hunt, Davis & Traver 2012). Hattin, Deleticin & Fletcherin (2007) mukaan rakenteessa on yleensä alla salaojaputki, joka kerää systeemin läpi suodattuneen veden ja johtaa sen viemärijärjestelmään tai vesistöön.

Davisin ym. (2009), Huntin, Davisin & Traverin (2012) ja Passeportin ym. (2009) mukaan sadepuutarhat lisäävät veden suotautumista ja kokonaishaihduntaa ja siten pystyvät vähentämään huippuvirtaamaa sekä valunnan ja saasteiden määrää. Tällaisiin hulevedenkäsittelyjärjestelmiin käytetään yleensä kasvualustaa, jonka läpi vesi suodattuu melko nopeasti ja joka sisältää melko vähän orgaanista ainesta (Davis ym. 2009, W. F. Hunt, Davis & Traver 2012).

2.3 Kasvualustan merkitys hulevedenhallinnassa

Davisin ym. (2009), Huntin, Davisin & Traverin (2012) ja Lucasin & Greenwayn (2008) mukaan kasvualusta on sadepuutarhan tai muun hulevesirakenteen perusta. Se vaikuttaa huleveden imeytymiseen, hidastaa veden virtausta, tukee kasvien kasvua ja pidättää epäpuhtauksia. Turkin ym. (2014) mukaan hyvin toimivilla hulevedenhallintaan käytetyillä kasvualustoilla on tärkeitä fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat mm. ravinteiden pidättymiseen hulevesirakenteissa. Näitä ominaisuuksia ovat mm. veden riittävä imeytyminen maanpinnan läpi, kasvualustan vedenjohtavuus sekä kosteuden pidätyskyky. Kemiallisista ominaisuuksista tärkeimmät ovat sorptio ja yhdisteiden sidontaominaisuudet.

Partikkelien koko, muoto ja eri kokoisten partikkelien suhde määrittävät kasvualustan vedenjohtavuuden, vedenpidätyskyvyn ja veden poistumisnopeuden (Drzal, Fonteno & Keith Cassel 1999, Turk ym. 2014). Drzalin ym. (1999) mukaan suurimmat partikkelit luovat kasvualustaan suuria huokosia, jotka muodostavat kasvualustan läpi vettä hyvin johtavan huokosverkoston. Keskikokoiset partikkelit pidättävät vettä ja lisäävät kasvualustan huokoisuutta. Pienimmät hiukkaset puolestaan täyttävät suurempia huokosia ja pidättävät vettä. Tämä estää liuenneiden aineiden huuhtoutumista.

Nitraattitypen pidättäminen on muihin ravinteisiin ja epäpuhtauksiin verrattuna vaikeaa hulevesirakenteissa. Nitraatin ja nitriitin pidätyminen vaatii usein hulevesirakenteeseen erityisen vedellä saturoituneen kerroksen, jossa hapettomat olosuhteet mahdollistavat denitrifikaation (Kim, Seagren & Davis 2003).

Dietzin & Clausenin (2005) ja Huntin ym. (2006) mukaan fosforin pidätystehokkuus riippuu kasvualustan fosforipitoisuudesta sekä sen adsorptio- ja sidontaominaisuuksista. Mikäli kasvualusta sisältää paljon fosforia ja hiesuista hiekkaa tai savihiesua, pidätystehokkuus on huono desorptiosta johtuen. Fosforin pidätyminen voi perustua myös saostumiseen (Turk ym. 2014). Lucasin & Greenwayn (2008) tutkimuksessa fosfori saostui raudan kanssa hiekkapohjaisessa kasvualustassa.

Kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien lisäksi myös kasvualustan biologisilla ominaisuuksilla on merkitystä. Hendersonin (2009) tutkimuksessa paljastui, että ravinnelisätty kasvualusta, jossa sallittiin mikrobien kasvu, pidatti ravinteita hulevedestä. Lisäksi kasvipeite paransi mikrobien suorituskykyä kasvittomiin systeemeihin verrattuna. Kasvipeite paransi erityisesti fosfaatin, orgaanisen fosforin ja orgaanisen typen poistotuloksia. Ravinteiden pidätys onnistui kokeessa parhaalla tavalla hulevettä vastaavissa ravinnekonentraatioissa. Mikrobit eivät pysty sitomaan ravinteita rajattomasti massaansa nähden, joten väkevämmissä konsentraatioissa poistoteho jäi vaatimattomaksi.

2.4 Hulevesirakenteen vedenpidätyskyky

Hulevesirakenteessa olennaista on myös veden pidättäminen. Scottin (2008) mukaan kasvit tarvitsevat paljon vettä mm. yhteyttämiseen. Kasvit haihduttavat noin litran vettä jokaista sitomaansa hiiligrammaa kohden. Kuitenkin ne käyttävät kaikesta juurien ottamasta vedestä vain noin 1 % kasvuun, aineenvaihduntaan ja turgoripaineen ylläpitämiseen. Loppu 99 % haihtuu transpiraation eli kasvien kautta tapahtuvan haihdunnan kautta ilmaan. Veden virtauksen täytyy kuitenkin olla jatkuvaa, jotta esimerkiksi yhteyttäminen toimisi tehokkaasti. Kasvit tarvitsevat sen takia suuret määrät vettä.

Veden pidätystä on testattu mm. viherkattokokeissa. Carterin & Rasmussenin (2006) mukaan kenttäkapasiteettia vastaava kosteus pidättyy kattoon ja loppu valuu pois. Katon pidättämästä vedestä osa haihtuu kasvualustan pinnalta (evaporaatio) ja osa kasveista (transpiraatio). Osa puolestaan menee kasvien käyttöön.

Burszta-Adamiakin, Stanczykin & Lomotowskin (2019) viherkattokokeessa koekatot pidättivät keskimäärin 81 % sadevedestä. Hakimdavarin ym. (2014) viherkattotutkimuksessa alle 20 mm sateista pidättyi 85 %, 20 – 40 mm sateista 48 % ja yli 40 mm sateista enää vain 32 %. Carterin & Rasmussenin (2006) kokeessa puolestaan pienet (alle 25,4 mm) sateet pidättyivät viherkattoihin 88-prosenttisesti, mutta heilläkin suuremmat sateet pidättyivät heikommin.

2.5 Biohiilen vaikutukset maaperään

Erilaisia käsittelyjä, kuten biohiiltä, on tutkittu kasvualustan ainesosana eri hulevesiratkaisuissa ja koejärjestelyissä. Biohiiltä on tutkittu paljon viime vuosina, koska sillä on vaikutusta mm. kasvualustan veden ja ravinteiden pidättymiseen. Atkinsonin, Fitzgeraldin & Hippsin (2010) mukaan biohiili muuttaa maaperän kemiallisia, fysikaalisia ja biologisia ominaisuuksia. Biohiili voi lisätä kasvien kasvua parantamalla maaperän vedenpidätyskykyä ja ravinteiden pidättymistä maaperään lisäämällä kationinvaihtokapasiteettiä. Lisäksi biohiilen avulla voidaan

parantaa maaperän rakennetta ja mykorritsasienten menestymistä. Biohiilen vaikutukset maaperään riippuvat kuitenkin biohiilen ominaisuuksista, maaperästä, ilmastosta ja maaperäeliöistä (Hagner ym. 2016).

Kookanan ym. (2011) mukaan biohiiltä valmistetaan vähähappisissa olosuhteissa hitaalla pyrolyysillä. Biohiilen raaka-aineena käytetään biomassaa, kuten koivua (Hagner ym. 2016). Lehmannin ym. (2003) ja Kookanan ym. (2011) mukaan biohiilen avulla voidaan parantaa viljelysmaan maaperäprosesseja ja edistää hiilen varastoitumista maaperään. Erityisesti, jos maaperän pH on alhainen ja orgaanisen aineksen määrä vähäinen, voidaan Novakin ym. (2009, 2010) mukaan biohiilen avulla nostaa pH:ta ja lisätä ravinteiden pidättymistä ja vedenpidätyskykyä. Tutkimustulokset biohiilen tehosta ovat kuitenkin hyvin vaihtelevia (Deenik ym. 2010, Jeffery ym. 2011, van Zwieten ym. 2010). Esimerkiksi Hagnerin ym. (2016) tutkimuksessa biohiilikäsiteltyjen maiden pH ja kosteus olivat kontrollimaita matalammat tai kosteuseroja ei ollut.

2.6 Biohiilen vaikutukset huleveteen

Tässä pro gradu -tutkielmassani erityisen mielenkiinnon kohteena on tarkastella, miten biohiili vaikuttaa huleveden laatuun ja määrään. Biohiiltä on tutkittu esimerkiksi viherkattojen kasvualustan ainesosana tarkoituksena selvittää, voidaanko sen avulla vähentää viherkattojen ravinnepäästöjä. Kuoppamäen ym. (2016) viherkattotutkimuksessa vertailtiin biohiilen vaikutuksia kasvualustan alla ja pinnalla. Tutkimuksen mukaan kasvualustan alle sijoitettu biohiili pidätti 80 % sadevedestä ja pinnalle sijoitettu 75 %, kun tarkasteltiin kesäaikaisia havaintoja. Saman jakson aikana biohiilikäsittely paransi viherkattojen vedenpidätyskykyä 5 – 10 % kontrolliin verrattuna. Valumaveden ravinnepitoisuuksiin biohiili ei vaikuttanut, mutta kasvualustan alle lisätty biohiili vähensi kuitenkin kumulatiivista ravinnekuormitusta tutkimusjakson aikana. Kesällä kasvualustan alle sijoitettu biohiili vähensi kokonaistypen kuormitusta 45 % verrattuna kontrollikattoon (ei biohiililisäystä).

2.7 Kasvien merkitys hulevedenhallinnassa

Tutkin tässä pro gradu -työssäni myös erityisesti tiettyjen suomalaisten luonnonkasvien vaikutuksia huleveden määrään ja laatuun. Tiettyihin kasvilajeihin liittyvää hulevesitutkimusta on tehty ennenkin esimerkiksi Australiassa, mutta suomalaiset tutkimukset ovat enimmäkseen keskittyneet arvioimaan kasvillisuuden vaikutusta yleisesti lajista riippumatta. Esimerkiksi kasvien ravinteiden pidätysominaisuudet ovat kuitenkin lajikohtaisia (Schnoor ym. 1995, Salt, Smith & Raskin 1998).

Biosuodatinta tai muuta hulevesirakennetta peittävä kasvillisuus voi koostua heinistä, ruohoista, pensaista tai puista (Read ym. 2008). Hattin, Deleticin & Fletcherin (2007) mukaan liukoiset saasteet adsorboituvat joko kasvualustaan, kasvit käyttävät niitä hyödykseen tai ne pidättyvät mikrobitoiminnan ansiosta kasvien ja kasvualustan muodostamaan ympäristöön. Denmanin, Mayn & Breenin (2006) ja Readin ym. (2008) mukaan kasvien yhdistäminen biosuodatusjärjestelmiin on tehokas tapa parantaa valumaveden laatua. Breenin (1990) mukaan myös kosteikkotyypisissä biosuodattimissa kasvit ovat edesauttaneet huomattavasti typen ja fosforin pidättymistä.

Breenin (1990) ja Schnoorin ym. (1995) mukaan kasvit vaikuttavat biosuodatusjärjestelmän puhdistustehoon suoraan tai välillisesti. Suoria hyötyjä ovat mm. orgaanisten yhdisteiden hajottaminen sekä makroravinteiden, erityisesti typen ja fosforin otto (Breen 1990, Schnoor ym. 1995, Read ym. 2008). Lisäksi kasvit pitävät yllä maaperän huokoisuutta (Read ym. 2008).

Schnoorin ym. (1995) ja Saltin, Smithin & Raskinin (1998) mukaan epäsuoria hyötyjä ovat vaikutukset maaperän mikrobiyhteisöön ritsosfääriin sisällä sekä sen ulkopuolella. Kasvit vaikuttavat orgaanisen aineksen muodostumiseen juurieritteiden ja hienojuurista syntyvän karikkeen avulla. Kasvit vaikuttavat epäsuorasti myös kasvualustan vedenpidätyskykyyn sadetapahtumien välillä ja kasvualustan pH:hon. Vaikutukset ovat kuitenkin lajikohtaisia, sillä kasvit

vaihtelevat huomattavasti fysiologisilta, kemiallisilta ja morfologisilta ominaisuuksiltaan. Lisäksi niiden juurieritteiden koostumus ja erityksen määrä voivat olla hyvin erilaisia (Salt, Smith & Raskin 1998).

Myös Readin ym. (2008) mukaan kasvien valinnassa täytyy puhdistustehokkuuden lisäksi kuitenkin kiinnittää huomiota mm. niiden kykyyn sietää vaihtelevia kosteusolosuhteita. Sateet tuovat kaupunkialueilla mukanaan tulvia sekä kohonneita määriä typen ja fosforin yhdisteitä, sedimenttiä, raskasmetalleja ja hiilivetyjä. Edellä mainitut tekijät voivat toisaalta olla hyödyllisiä kasveille, mutta toisaalta haitata niiden menestymistä (Denman, May & Breen 2006).

Bratieres ym. (2008) ja Hatt, Fletcher & Deletic (2009) totesivat tutkimuksissaan kasvillisuudella olevan olennainen rooli nitraatin pidättymisessä biosuodatusjärjestelmään. Erityisesti juuristo vähentää nitraatin valuntaa (Bratieres ym. 2008). Myös Valtasen, Sillanpään & Setälän (2017) tutkimuksessa paljastui, että jopa lepotilassa olevan kasvillisuuden juuristo sekä keväällä että syksyllä edisti nitraatin pidättymistä systeemiin myös kylminä vuodenaikoina. Lisäksi kasvillisuus näyttää olevan välttämätön systeemeissä, joissa kasvualustan partikkelikoko on pieni. Veden suotautumiseen kuluva aika oli kasvittomissa systeemeissä kaksinkertainen kasvillisiin verrattuna.

Hendersonin (2009) ja Barrettin, Limouzinin & Lawlerin (2013) mukaan biosuodatusjärjestelmien huleveden käsittelytehokkuus on paljolti riippuvainen käytetyistä kasvilajeista ja suodatuksessa käytetystä kasvualustasta (Barrett, Limouzin & Lawler 2013). Nitraattitypen pidätyksessä kasvilajilla on erityisen tärkeä merkitys (Bratieres ym. 2008, Read ym. 2008, Hatt, Fletcher & Deletic 2009).

2.8 Tutkimushypoteesit ja tutkimuksen tavoite

Tämän pro gradu -tutkielman tutkimushypoteesit ovat:

- 1) Koekasvit vähentävät valumaveden ravinnekonsentraatioita koekastelussa kontrolliin verrattuna, mutta eri kasvilajien suorituskyvyt eroavat toisistaan.
- 2) Koekasvit vähentävät valumaveden määrää koekastelussa kontrolliin verrattuna, mutta eri kasvilajien suorituskyvyt eroavat toisistaan.
- 3) Biohiili laskee valumaveden ravinnekonsentraatioita kontrolliin verrattuna.
- 4) Biohii vähentää valumaveden määrää kontrolliin verrattuna.

Kasvien merkitystä hulevesirakenteissa on tutkittu jo aikaisemmin ja kasvien on todettu olevan olennainen osa ravinteiden pidättymistä (Valtanen, Sillanpää & Setälä 2017). Suomen luonnonkasvien soveltuvuutta ei kuitenkaan ole aikaisemmin testattu ja tämän pro gradu -tutkielman tavoite onkin selvittää, mikä on tiettyjen luonnonkasvilajien kyky edistää huleveden määrän vähentämistä ja laadun parantamista. Lisäksi tutkielma lisää tietämystä biohiilen käytöstä hulevesialueiden kasvualustassa ja sen yhdistämisestä kyseisiin kasvilajeihin.

Tutkimus kuuluu vuonna 2015 alkaneeseen Luonnonvarakeskuksen (Luke) HuleKas eli Hulevesialueiden kasvit ja kasvualustat -hankkeeseen, jossa tutkitaan huleveden hallinta-alueille soveltuvaa kasvillisuutta. Hankkeessa ovat mukana Helsingin, Jyväskylän, Kaarinan, Kuopion, Salon ja Turun kaupungit, sekä taimistotuottajia.

3 Aineisto ja menetelmät

Astiakoe perustettiin syksyllä 2016 ja se jatkui kesän 2018 yli. Koe tehtiin Luonnonvarakeskuksen Piikkiön koetoiminta-asemalla. Tämän opinnäytetyön havainnot on kerätty kesällä 2017. Koejärjestely perustettiin 75 cm korkeisiin 200 litran vetoisiin saaveihin. Saaveja oli yhteensä 90. Saaveihin istutettiin seitsemää eri suomalaista luonnonkasvilajia sekä nurmikkoja ja osa jätettiin kasvittomiksi. Kasvikäsittelyt on lueteltu taulukossa 1. Astioiden järjestys on esitetty liitteessä 1.

Suurin osa kasvien taimista hankittiin taimistosta, mutta osa kasvatettiin Yltöisissä kevään ja kesän 2016 aikana. Osa rantatyräkin taimista on jakotaimia Yltöisten geenivarakokoelmasta ja osa ruohovartisia latvapistokkaita perennanäytemaalta. Latvapistokkaat juurrutettiin suihkutunnelissa. Molemmat taimet olivat samaa kantaa. Latvapistokastaimet olivat lähtötilanteessa pienikokoisempia. Molempia taimia istutettiin yksi kuhunkin rantatyräkkiastiaan. Korpikaislan pistokkaat haettiin Yltöisten arboretumin alueelta keväällä 2016. Sekä rantatyräkit että korpikaislat ruukutettiin ja kasvatettiin kasvihuoneessa.



Kuva 1. Viiltosara-astia. Kuvaan on merkitty numeroin astian rakenteen eri osat: 1) 10 cm sepelikerros, 2) suodatinkangas, 3) kasvialusta, 4) 10 cm tyhjä tila, 5) hana.

Tekstin numerot viittaavat kuvaan 1. Saaveihin laitettiin pohjalle 10 cm pestyä sepeliä (1), jonka partikkelikoko on 16-32 mm. Sepelin päälle asetettiin suodatinkangas (2). Loput saavista täytettiin Kuntec Oy:n valmistamalla kasvualustalla (3), jota lisättiin noin 140 litraa astiaa kohti. Tyhjää tilaa jokaiseen saaviin jätettiin noin 10 cm yläreunasta (4). Lisäksi astioihin on asennettu hana, josta valunnan saa kerättyä talteen (5). Kasvualusta sisältää 20 % sokerijuurikkaiden pesusta jäänyttä peltomultaa ja 80 % kivennäismaata. Samaa kasvualustaa on käytetty valtatie 8:n tienvarsi-istutuksiin. Kasvualustan viherrakennusmaa-analyysin testitulokset on esitetty liitteessä 2 ja viljavuustulokset liitteessä 3. Puoleen saaveista lisättiin 10 % (w/v) koivubiohiiltä. Biohiili sekoitettiin kasvualustaan. Kokeessa käytetyn biohiilen mittaustuloksia ei ollut saatavilla, mutta saman valmistajan (Charcoal Finland Oy) edellisen erän tulokset on esitetty liitteessä 4. Kokeessa on kahdeksan kasvilajia, kaksi kasvialustatyyppeä ja kontrolli, jolloin käsittelyjä on 18. Kasvilajit ja niiden tieteelliset nimet on esitetty taulukossa 1. Kokeessa jokaisesta koejäsenestä on viisi toistoa.

Taulukko 1. Astiakokeen kasvlajit.

	<i>Kasvin tyyppi</i>	<i>Suomenkielinen nimi</i>	<i>Tieteellinen nimi tai tuotenimi</i>	<i>Istutus-päivämäärä</i>
1.	Sara	Viiltosara	<i>Carex acuta</i>	16.8.2016
2.	Sara	Jänönsara	<i>Carex ovalis</i>	17.8.2016
3.	Vihvilä	Röyhyvihvilä	<i>Juncus effusus</i>	17.8.2016
4.	Heinä	Korpikaisla	<i>Scirpus sylvaticus</i>	16.8.2016
5.	Heinä	Luhtakastikka	<i>Calamagrostis stricta</i>	17.8.2016
6.	Kaksisirkkainen	Rantatyräkki	<i>Euphorbia palustris</i>	16.8.2016
7.	Yksisirkkainen	Suovehka	<i>Calla palustris</i>	16.8.2016
8.		Nurmi	Viherrakentajanseos 2	ei tiedossa
9.		Tyhjä (kontrolli)		

Kasvien annettiin kasvaa vapaasti, mutta nurmikko leikattiin noin kahden viikon välein. Näin toimittaisiin myös hulevesialueella. Astioista kitkettiin rikkaruohot pois, jotta saadaan vain astiaan istutetun kasvin vaikutus näkyviin. Astiakoe katettiin UV-suojatulla PE-kausihuonekalvo -muovikatteella (0,09 mm, Avagro Oy) toukokuun lopussa, jotta sadevesi ei pääse astioihin. Muovikatteen valonläpäisy on noin 66 %.

Astioita kasteltiin kontrolloidusti tarpeen mukaan kaksi tai kolme kertaa viikossa. Osaan saaveista laitettiin tensiometrit, yksi kutakin kasvilajia kohden, jotta saavien kosteusolosuhteita pystyttiin seuraamaan. Kasvilaji kasteltiin, kun tensiolukema oli alle -100 mbar. Saman kasvilajin molemmille kasvualustakäsittelyille (biohiili/ei biohiiltä) annettiin sama vesimäärä. Annetun kasteluveden määrä kirjattiin ylös.

Ylimääräinen vesi valutettiin ulos astiasta joko myöhemmin samana tai kastelun jälkeisenä päivänä. Valumaveden määrä kirjattiin ylös. Kasvualusta painui tiiviisti saavien sisäpintaa vasten, joten kasteluvesi ei päässyt missään vaiheessa valumaan saavin sisäreunaa myöten kasvualustan ohi. Projektissa seurattiin myös kasvien hyvinvointia ja koristearvoa. Kasvit alkoivat osoittaa typen puutteesta johtuvaa kellastumista ja sen takia astiat lannoitettiin keväällä toukokuun 2017 alussa ja lisäksi kolme kertaa koekasteluiden jälkeen. Lannoitukset ajoitettiin ja lannoitteen määrä arvioitiin siten, että annetut ravinteet häiritsisivät mahdollisimman vähän koekasteluiden tuloksia. Kasvien saamat ravinnemäärät on esitetty liitteessä 5.

Tämän työn aineisto koostuu kahdesta osasta. Ensimmäinen osa koostuu koekasteluiden valuntatiedoista. Kesän aikana suoritettiin kolme koekastelua heinä-, elo- ja syyskuussa. Koetta varten valmistettiin tekohulevesi, johon lisättiin liuoslannoitteita. Tekohuleveden koostumus esitetään taulukossa 2. Tekohulevettä valmistettiin yhteensä 650 litraa kutakin kastelua kohden.

Taulukko 2. Tekohuleveden koostumus.

<i>Lannoite, tuotenimi</i>	<i>Typpi – fosfori – kalium -suhde (%)</i>	<i>Lannoitteen määrä (g)/650 l</i>	<i>Fosforin määrä (g)/astia</i>	<i>Typen määrä (g)/astia</i>
<i>Kristalon ORANGE</i>	6-5-30	27,08	1,354	1,625
<i>Ferticare UP</i>	7-7-25	23,21	1,625	1,625

Kaikki astiat kasteltiin kaksi päivää aikaisemmin märiksi (tasauskastelu), jotta kastelu lähtisi jokaisessa astiassa samasta tilanteesta. Astioiden hanan alle laitettiin läpinäkyvä 5 litran kanisteri, jonka kylkeen oli tehty asteikko 100 ml välein. Ensimmäisessä kastelussa jokaista paririviä, eli 30 astiaa, havainnoi yksi henkilö.

Sama henkilö kaatoi jokaiseen astiaan kokeen alussa minuutin välein kuusi (6) litraa tekohulevettä, jolloin jokaisesta astiasta saatiin taltioitua valumaveden määrä jokaisen puolen tunnin (30 min) tai vartin (15 min) välein. Valumaveden määrä merkittiin ylös 100 ml tarkkuudella.

Ensimmäisessä koekastelussa lukemat otettiin puolen tunnin välein neljä kertaa, jonka jälkeen havainnointia jatkettiin tunnin välein neljä kertaa. Toisessa ja kolmannessa koekastelussa yhtä 15 astian riviä havainnoi alussa yksi henkilö, jolloin havainnot saatiin kirjattua 15 minuutin välein. Toisella koekastelukerralla havainnot tehtiin vartin välein kuusi kertaa, jonka jälkeen puolen tunnin välein kaksi kertaa ja tunnin välein kaksi kertaa. Kolmannella kerralla havainnot tehtiin vartin välein kuusi kertaa, sitten 45 minuutin kuluttua, puolen tunnin kuluttua, 45 minuutin kuluttua ja tunnin kuluttua. Kokonaisvaluma merkittiin kaikilla kastelukerroilla vuorokauden (24 h) kuluttua kokeen alusta.

Toinen osa koostuu koekasteluiden vesinäytteiden laboratoriotuloksista. Kokonaisvaluntojen merkitsemisen jälkeen kanistereista kaadettiin osanäyte litran muovipulloon. Osa pulloista ei tullut täyteen, jolloin pullosta puristettiin ilma pois, jotta näytteen ja ilman reaktiot eivät vaikuttaisi tuloksiin. Myös tekohulevedestä otettiin näyte vertailua varten. Kolmannella kastelukerralla tekohulevettä ei testattu, joten vertailut on tehty toisen kastelukerran tekohuleveden koostumukset perusteella. Näytteet analysoitiin Luonnonvarakeskuksen Viikin laboratoriossa. Näytteistä analysoitiin ammoniumtyypen (NH_4), kokonaistypen (N), fosfaatin (PO_4) ja kokonaisfosforin (P) konsentraatio, sekä nitriitin ja nitraatin (NO_2 ja NO_3) yhteiskonsentraatio. Nitriitin ja nitraatin konsentraatiot mitattiin yhdessä, sillä laboratoriomenetelmässä nitriitti pelkistetään nitraatiksi, jolloin saadaan molempien summa. Nitriitin merkitys lopputuloksessa on pieni, sillä sen pitoisuudet ovat luonnonvesissä hyvin vähäisiä.

Koejärjestelyn suunnitteli (liite 1) ja tilastoanalyysin suoritti Luonnonvarakeskuksen tilastoasiantuntija Lauri Jauhiainen. Analyyseissä käytettiin SAS-tilasto-ohjelmaa. Astioiden järjestys puolestaan on satunnaistettu

käyttäen CycDesigN-ohjelmaa. Kyseessä on sekamalli toistomittauksin ja se perustuu koejärjestelyyn. Tarkempi kuvaus astioiden asemoinnista esitetään liitteessä 1. Mallissa otetaan ensin huomioon satunnaistekijät. Tämä vaihe vähentää virhettä testin loppupuolella ja siirtää epävarmuustekijät mallin alkuosaan. Satunnaistekijät ovat paririvi, rivi (paririvi) ja sarake. Rivi on nested-tekijä, joka sisältyy paririviin ja on siksi merkitty sulkeisiin. Satunnaistekijöiden huomioiminen testauksen alussa myös yksilöi astioiden paikat koejärjestelyssä. Tämän jälkeen testataan käsittelyjen eli kasvlajin, kasvualustan ja päivämäärän vaikutusta sekä käsittelyjen yhdysvaikutuksia tulokseen. Mallissa päivämäärä ottaa huomioon toiston mittauksissa. Osa testeistä on tehty logaritmuunnetuilla, osa neliöjuurimuunnetuilla ja osa alkuperäisillä arvoilla.

Kastelukokeiden tuloksista mukaan on otettu kaikki kolme koekastelua. Kastelukokeen aikana kirjatut valunnan seurantakertymät on testattu ainoastaan eri kastelukerrat erikseen. Kirjaamisajat eivät vastaa toisiaan niin hyvin, että kaikkia koekasteluja pystyttäisiin testaamaan samassa analyysissä. Valunnan seurannan tilastotestiin on otettu mukaan kolme tai kuusi ensimmäistä ja viimeinen valumamittaus, koska kolmen ensimmäisen kirjauskerran jälkeen valuntaa kertyi enää hyvin vähän keräysastiaan. Koekasteluiden alkuperäinen valunta-aineisto esittää valunnan kertymän jokaisena kirjausajankohtana, mutta tilastoanalyysiä varten aineistosta laskettiin kirjausajankohtien välillä syntynyt valunta, jotta saadaan näkyville valunnan kehitys kokeen aikana.

Laboratoriotulosten tilastotesteissä on otettu huomioon vain viimeinen koekastelu. Kasvi-kasvualustayhdistelmien toiminta kehittyi koejakson aikana kohti tasapainotilaa siten, että kolmannen koekastelun ravinnekonsentraatiotulokset kuvaavat astioiden toimintaa parhaiten. Ajan vaikutusta konsentraatioihin ei tässä tutkielmassa käsitellä. Testattuja parametrejä ovat alusta ja kasvikäsitely. Ammoniumin testissä havaittiin, että liian moni tulos on alle määrittäysrajan, 0,03 mg/l, jolloin luotettavaa tilastoanalyysiä on vaikea saada tehtyä ja se jätettiin tämän takia pois tuloksista.

4 Tulokset

4.1 Valunta-aineisto

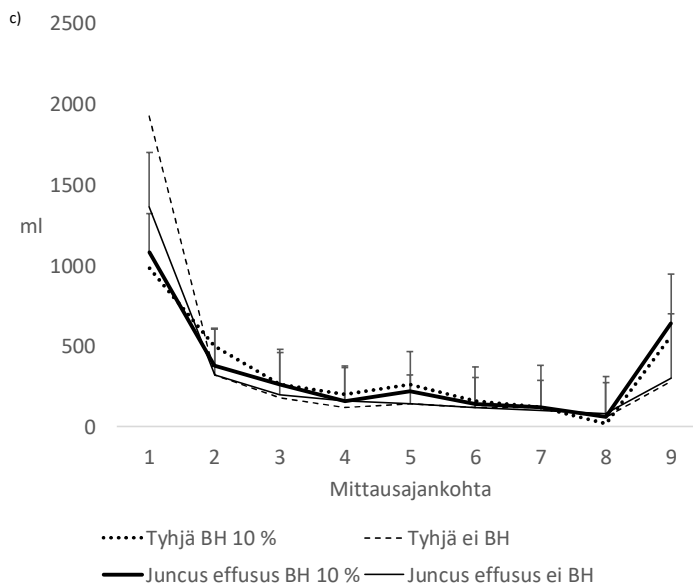
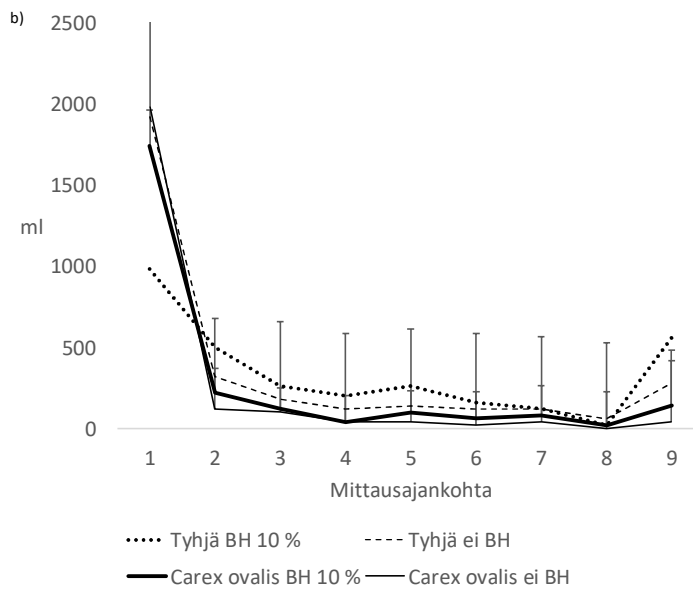
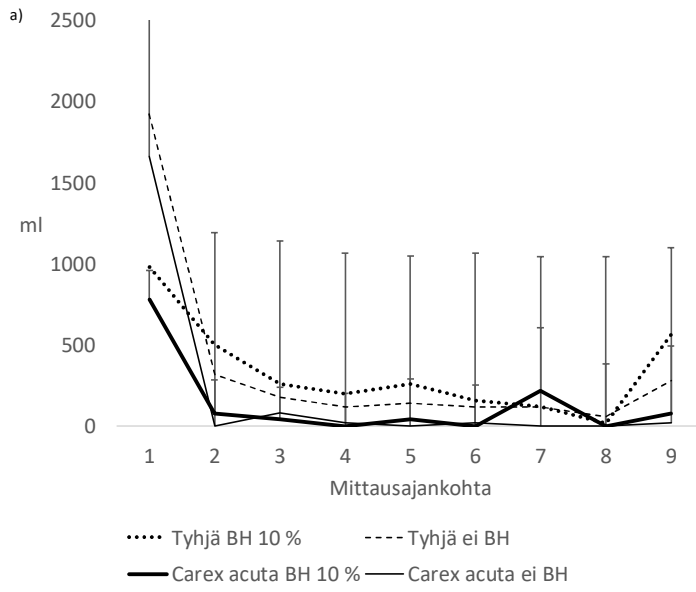
4.1.1 Ensimmäinen koekastelu

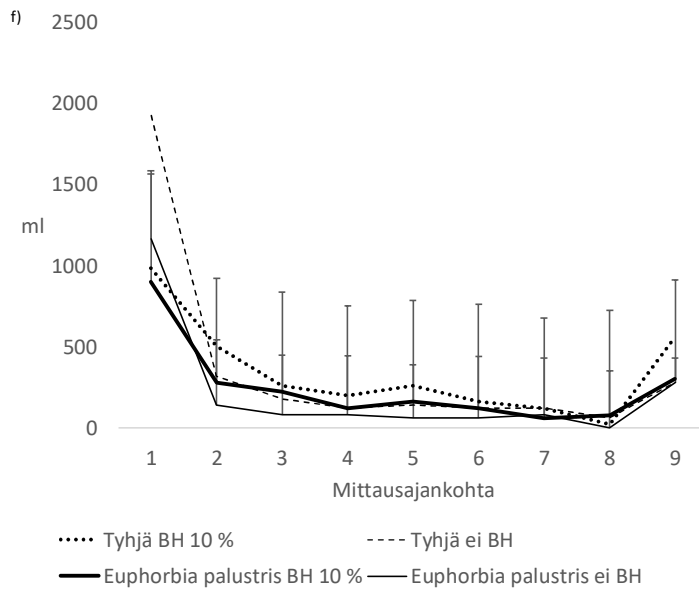
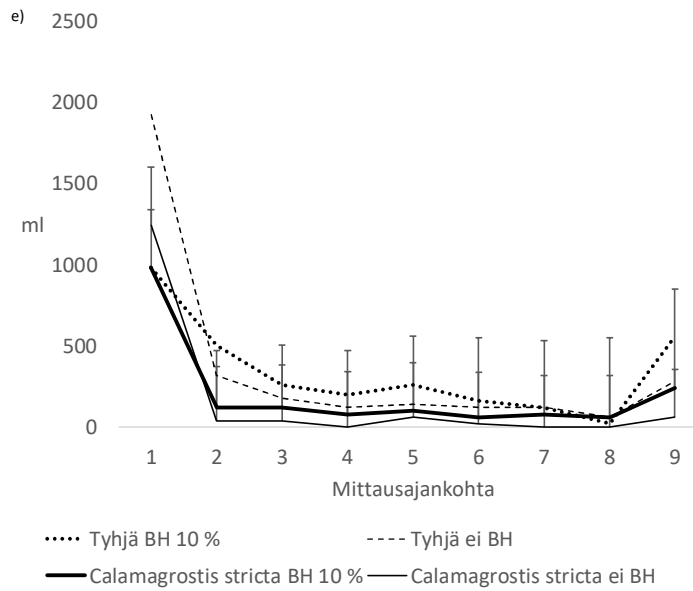
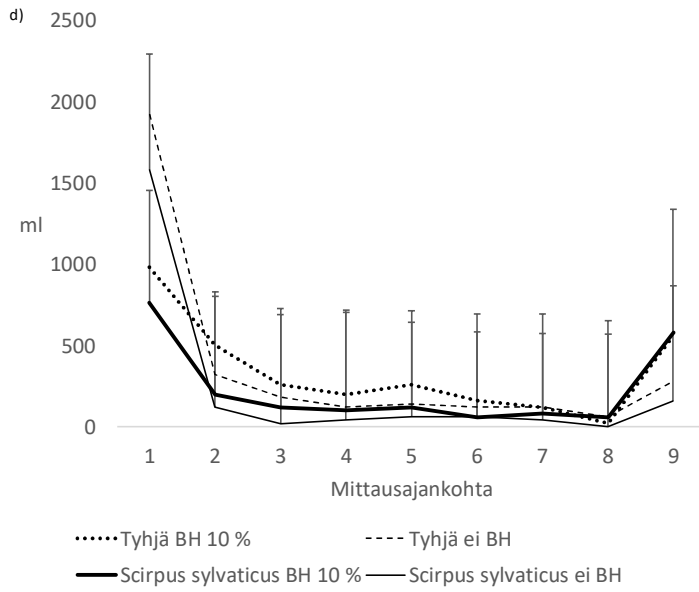
Kasvikäsittely ($p < 0,0001$) vaikutti ensimmäisen koekastelun kokonaisvaluntaan, mutta biohiili ei. Kasvikäsittelyiden tuottamien valuntojen välillä oli paljon eroja. Erityisesti viiltosaran ja kontrollin erot muihin kasvikäsittelyihin olivat huomattavia. Vähiten valuntaa tuottivat viiltosara ja luhtakastikka. Eniten valuntaa tuottivat röyhyvihvilä, suovehka ja kontrolli. Röyhyvihvilä ja suovehka erottuvat suurilla kokonaisvalunnoilla siksi, että kumpikaan kasvi ei soveltunut astiakoekasviksi. Molemmat kasvit kärsivät kuivuudesta. Röyhyvihvilän taimet menestyivät erityisesti kokeen alussa huonosti ja osa kuoli. Kokonaisvalunnat on esitetty kuvassa 5.

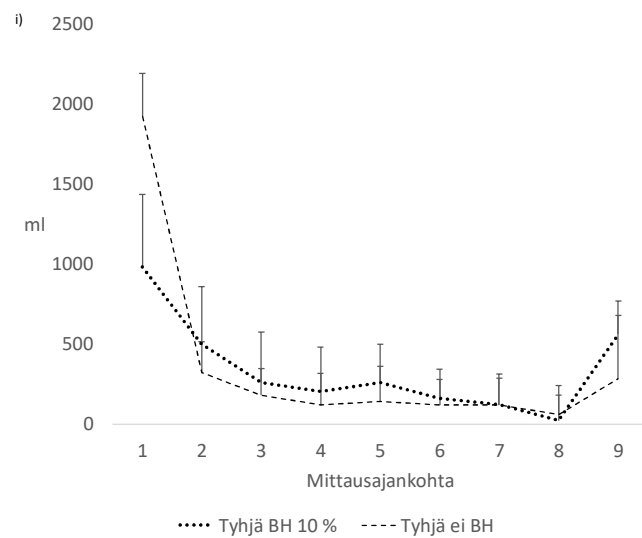
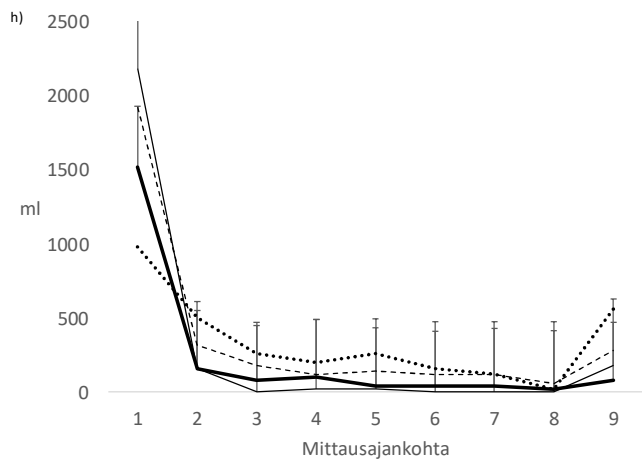
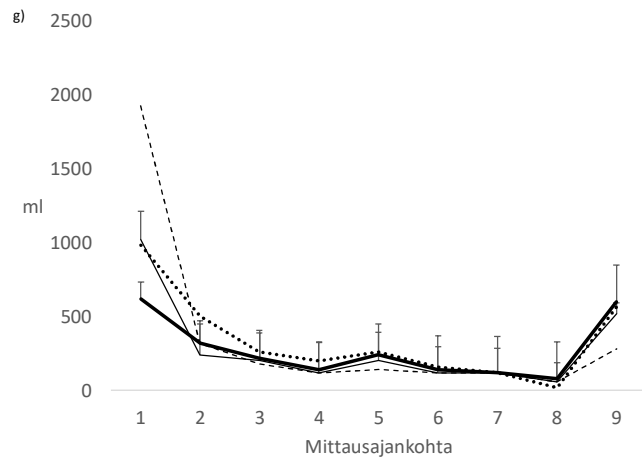
Vaikkei biohiilellä ollut vaikutusta kokonaisvaluntaan, toimi se kuitenkin valuntaa hidastavana tekijänä. Seurantakirjausten tilastoanalyysissä ilmeni, että biohiili ($p = 0,0007$) ja kasvikäsittely ($p < 0,0001$) vaikuttivat valunnan kertymiseen. Alustalla (biohiili) ja ajalla ($p < 0,0001$) sekä kasvilajilla ja ajalla ($p < 0,0001$) oli myös yhdysvaikutukset, jotka viittaavat kasvilajin ja alustan vaikutukseen valunnan ajallisessa kehityksessä. Biohiili hidasti joillain kasvikäsittelyillä valunnan alkamista kokeen alussa verrattuna biohiilettömiin systeemeihin (erityisesti viiltosara, röyhyvihvilä, korpikaisla, suovehka, nurmi ja kontrolli). Biohiilen hidastavaan vaikutukseen viittaa myös se, että korpikaislalla, röyhyvihvilällä ja kontrollilla biohiilellinen systeemi tuotti biohiiletöntä enemmän valuntaa ennen viimeistä kirjaushetkeä. Eniten valuntaa kokeen alussa tuottivat biohiilettömät viiltosara, nurmi ja kontrolli.

Osa kasvilajeista hidasti myös valunnan kertymistä: röyhyvihvilällä, rantatyräkillä ja suovehkalla valunta lähti hitaammin käyntiin. Jänönsara, nurmi ja kontrolli puolestaan tuottivat runsaasti valuntaa heti kokeen alussa. Eri kasvilajien ja

biohiilen vaikutuksia valunnan kehitykseen ensimmäisessä koekastelussa on esitetty kuvassa 2. Aineistossa erityisesti biohiilettömien viiltosara-astioiden kohdalla hajonta on suurta. Hajonnat on esitetty kuvassa 2.







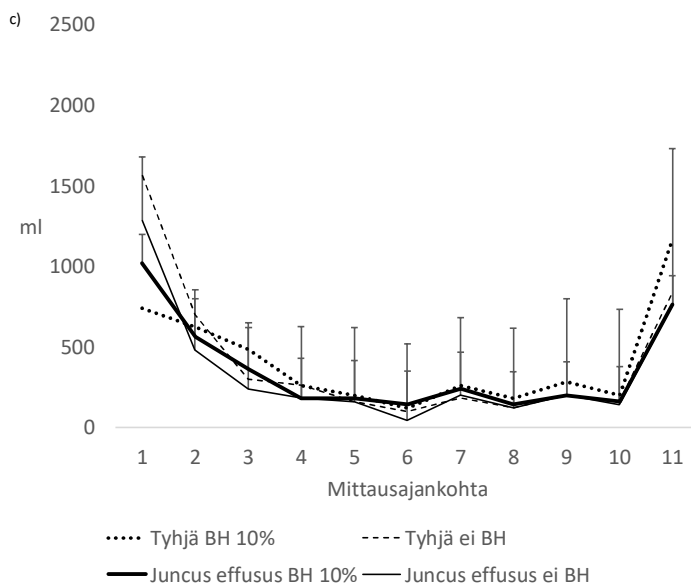
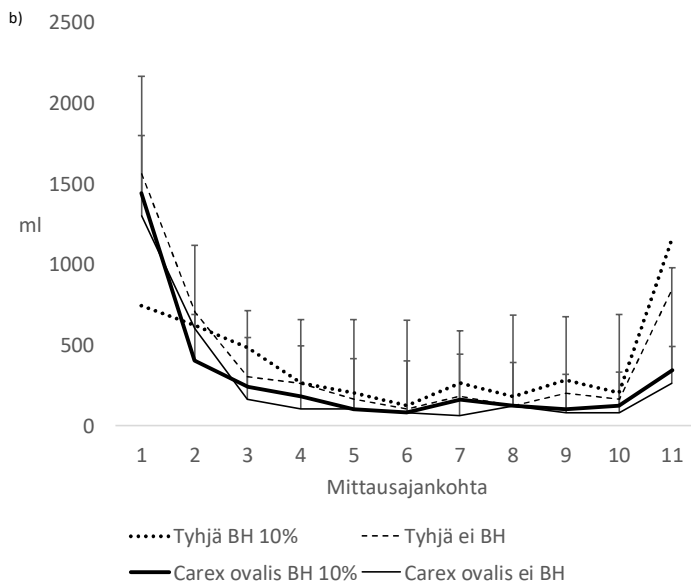
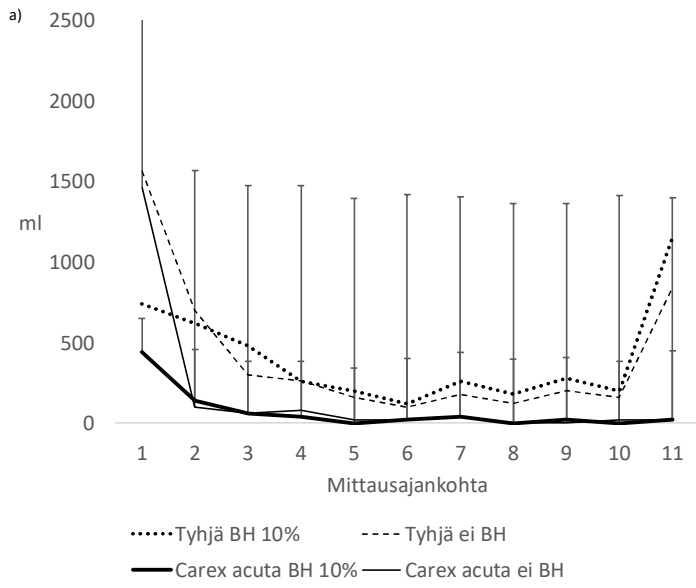
Kuva 2. Alustan ja kasvilajin vaikutus valunnan kehitykseen (keskiarvo + keskihajonta), 1. koekastelu.

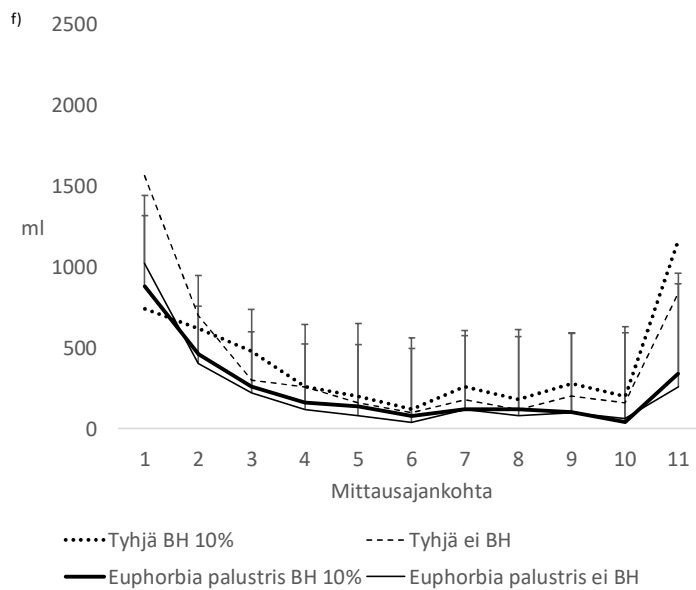
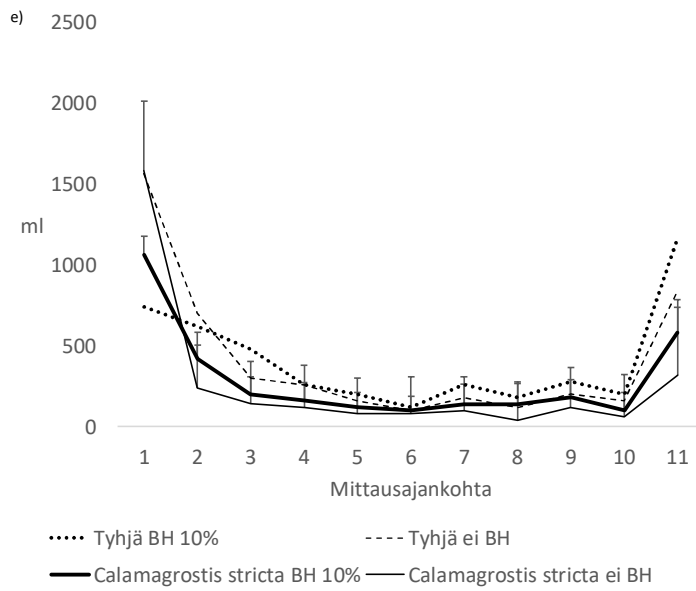
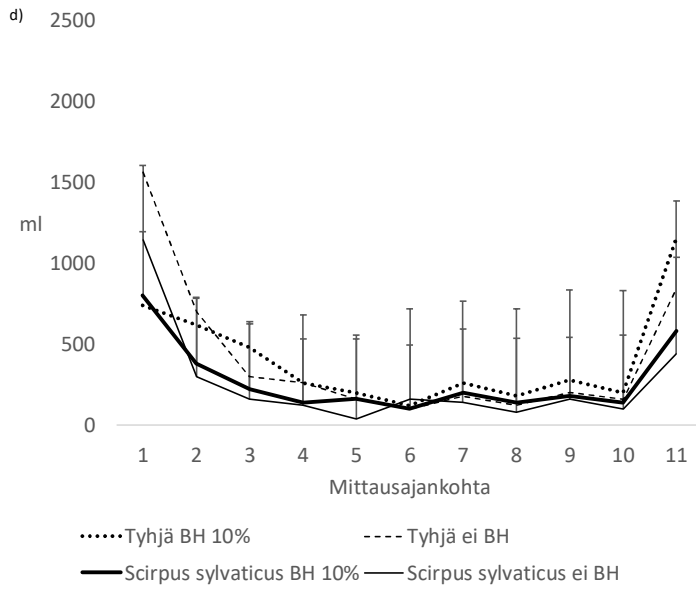
4.1.2 Toinen koekastelu

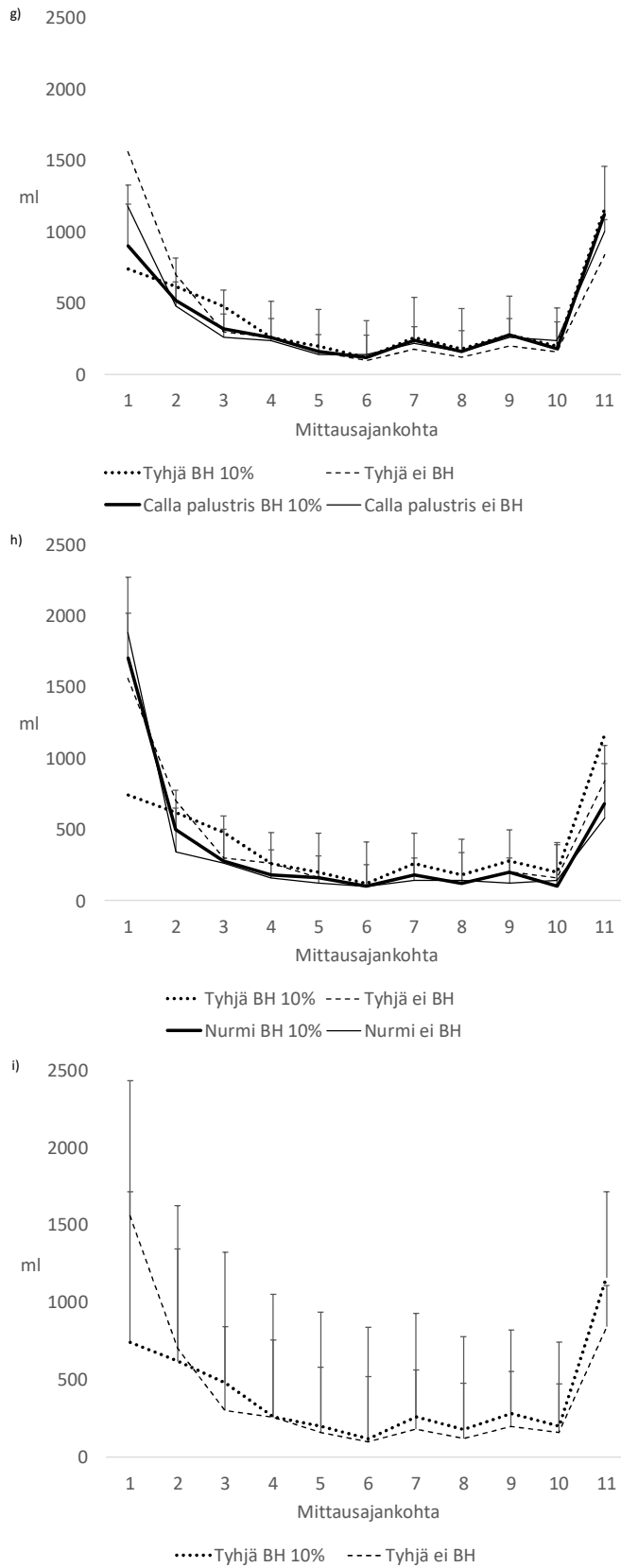
Myös toisessa koekastelussa kasvikäsitely ($p < 0,0001$) vaikutti kokonaisvaluntaan, mutta biohiili ei. Erityisesti viiltosaralla oli jälleen huomattava ero kaikkiin muihin kasvikäsitelyihin verrattuna. Huomattavasti vähiten valuntaa tuotti viiltosara ja seuraavaksi vähiten rantatyräkki. Eniten valuntaa tuottivat suovehka ja kontrolli. Kokonaisvalunnat on esitetty kuvassa 5.

Biohiili toimi jälleen valunnan muodostumista hidastavana tekijänä. Seurantakirjausten tilastoanalyysissä ilmeni, että biohiilellä ei ollut päävaikutusta, mutta biohiilellä ja ajalla oli yhdysvaikutus ($p < 0,0001$). Myös kasvikäsitely vaikutti valunnan kertymiseen ($p < 0,0001$). Alustan ja ajan yhdysvaikutus näkyy mm. siinä, että biohiilikäsittely hidasti valunnan alkamista kokeen alussa erityisesti viiltosaralla, luhtakastikalla ja kontrollilla. Paljon valuntaa kokeen alussa tuottivat biohiilettömät kontrolli, nurmi, luhtakastikka, viiltosara ja jänönsara. Jänönsaran arvo olisi voinut olla myös jonkin verran korkeampi, sillä kokeen alussa yhden astian hana oli jäänyt kiinni ja avattiin vasta vartin kuluttua kokeen alusta. Toisessa koekastelussa alustojen erot eivät näy mittausjakson lopussa, sillä viimeisen kirjaushetken erot ovat hyvin pieniä. Alustojen vaikutuksia valunnan kertymään on esitetty kuvassa 3.

Kasvilajilla ja ajalla ($p < 0,0001$) oli myös yhdysvaikutus, joka viittaa kasvin vaikutukseen valunnan ajallisessa kehityksessä. Paljon valuntaa kokeen alussa tuottivat jänönsara, luhtakastikka sekä nurmi ja melko vähän viiltosara, korpikaisla, rantatyräkki ja suovehka. Eri kasvilajien ja biohiilen vaikutuksia valunnan kehitykseen toisessa koekastelussa on esitetty kuvassa 3. Aineistossa erityisesti biohiilettömien viiltosara-astioiden kohdalla hajonta on suurta. Hajonnat on esitetty kuvassa 3.





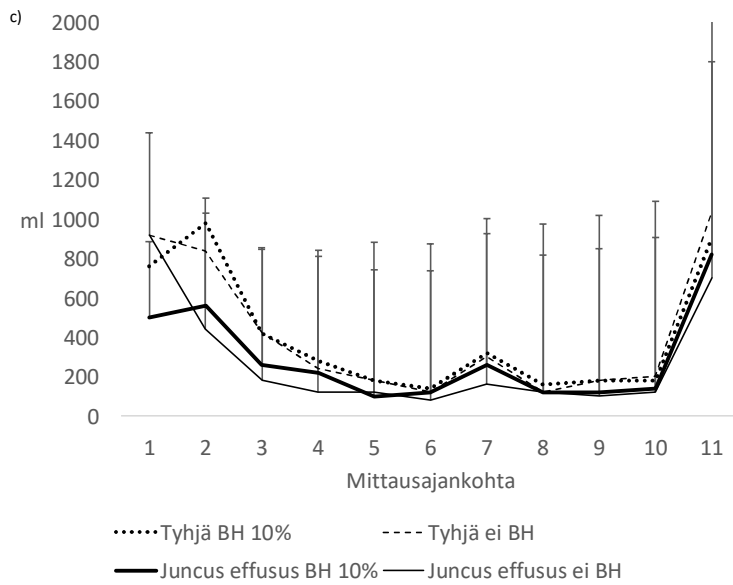
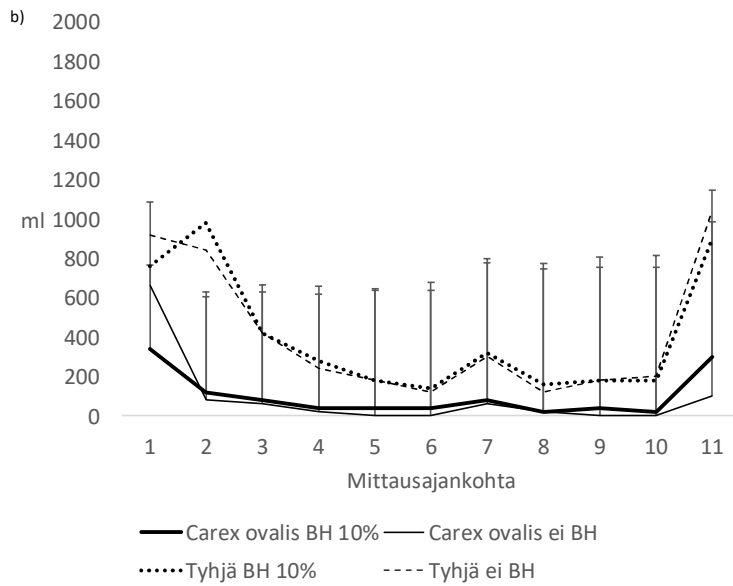
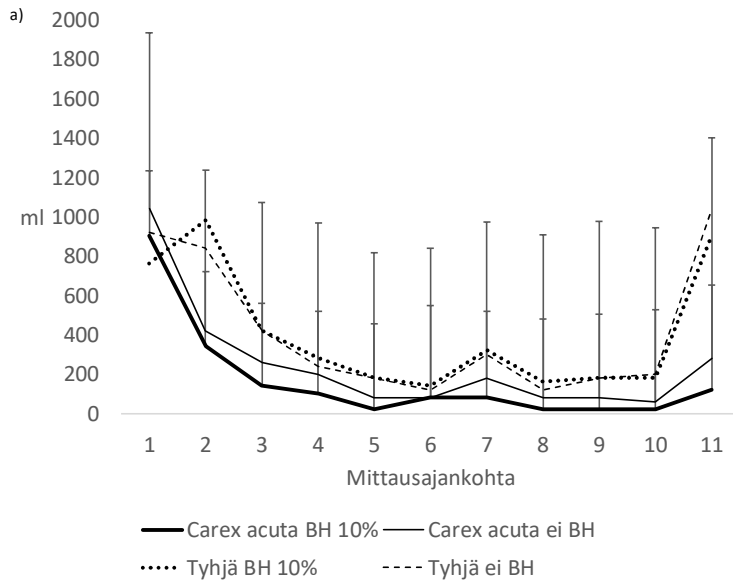


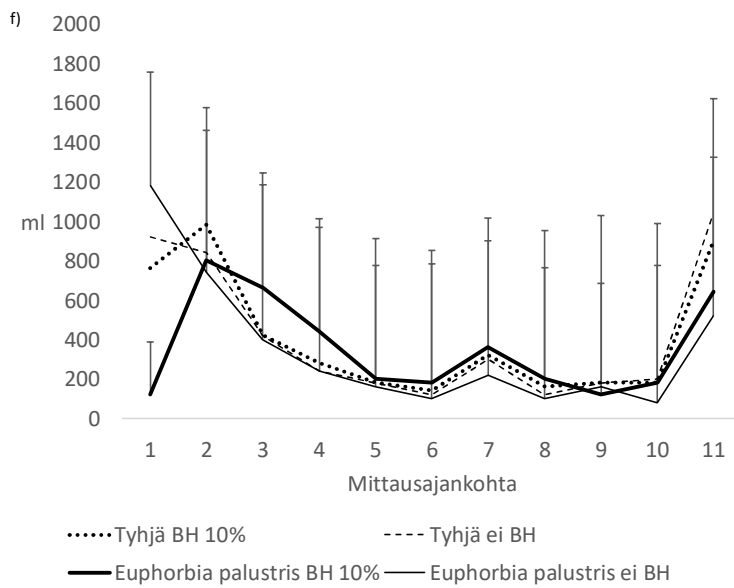
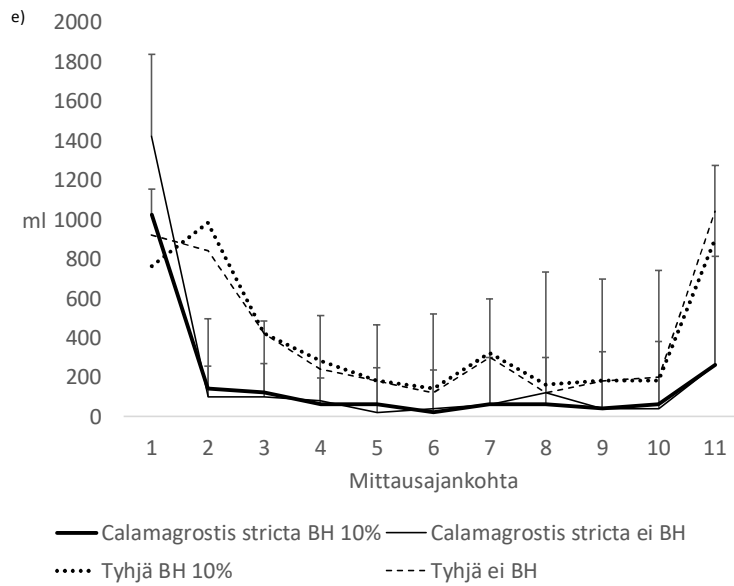
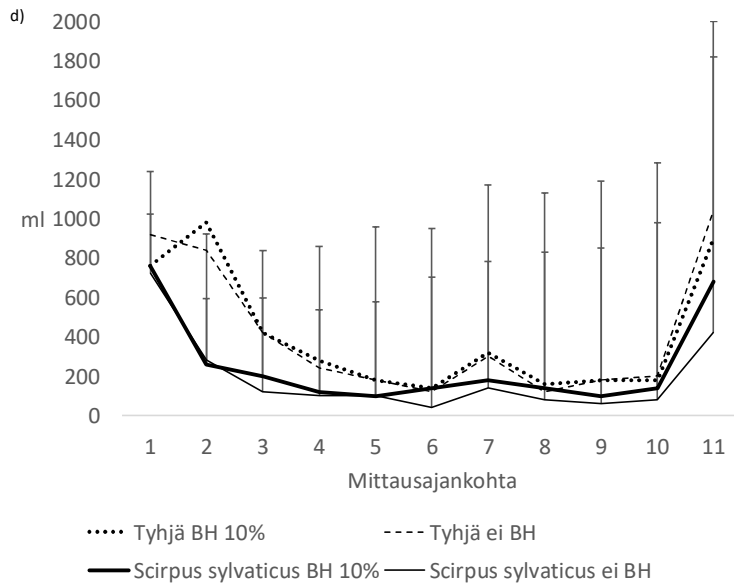
Kuva 3. Alustan ja kasvilajin vaikutus valunnan kehitykseen (keskiarvo + keskihajonta), 2. koekastelu.

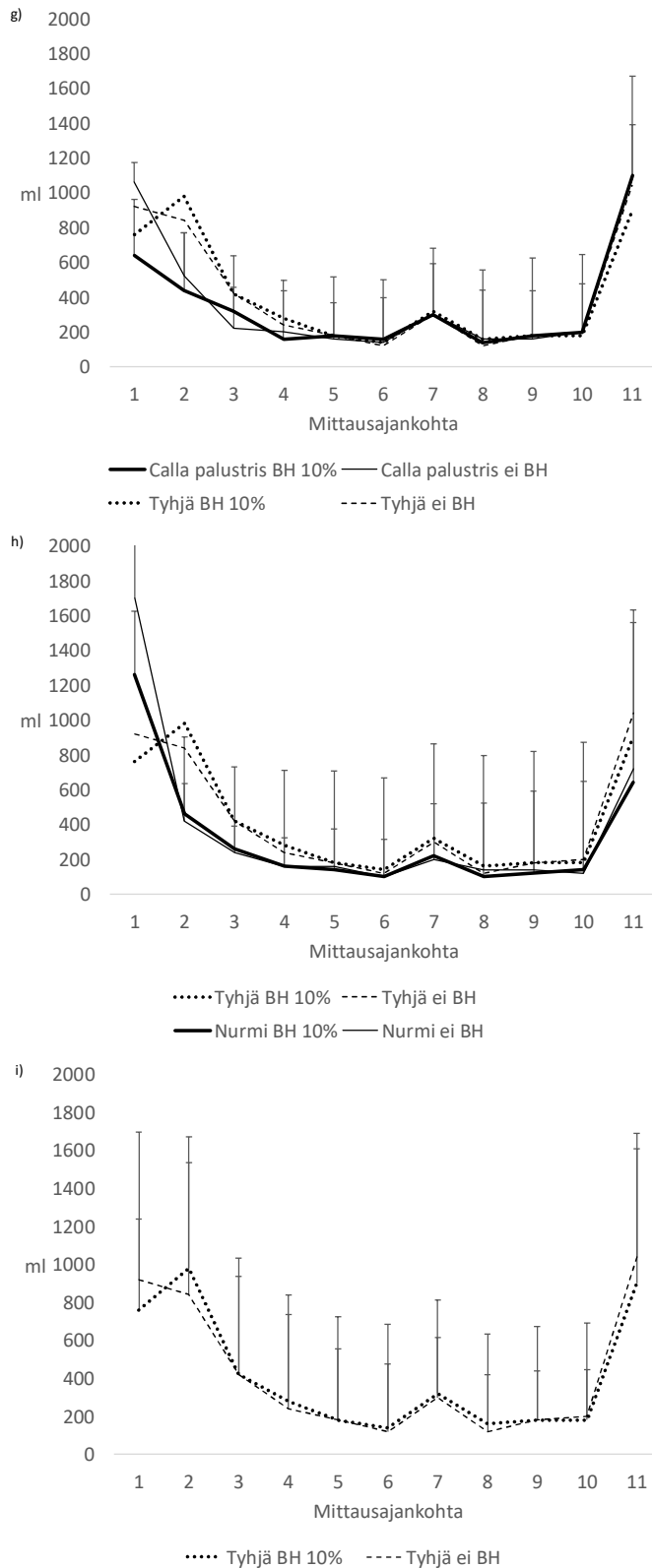
4.1.3 Kolmas koekastelu

Kasvilaji ($p < 0,0001$) vaikutti kolmannen koekastelun kokonaisvaluntaan, mutta biohiili ei. Vähiten valuntaa tuotti jänönsara ja sen kokonaisvalunta erosi huomattavasti muista kasvikäsitelyistä. Eniten valuntaa tuottivat suovehka ja kontrolli. Kokonaisvalunnat on esitetty kuvassa 5.

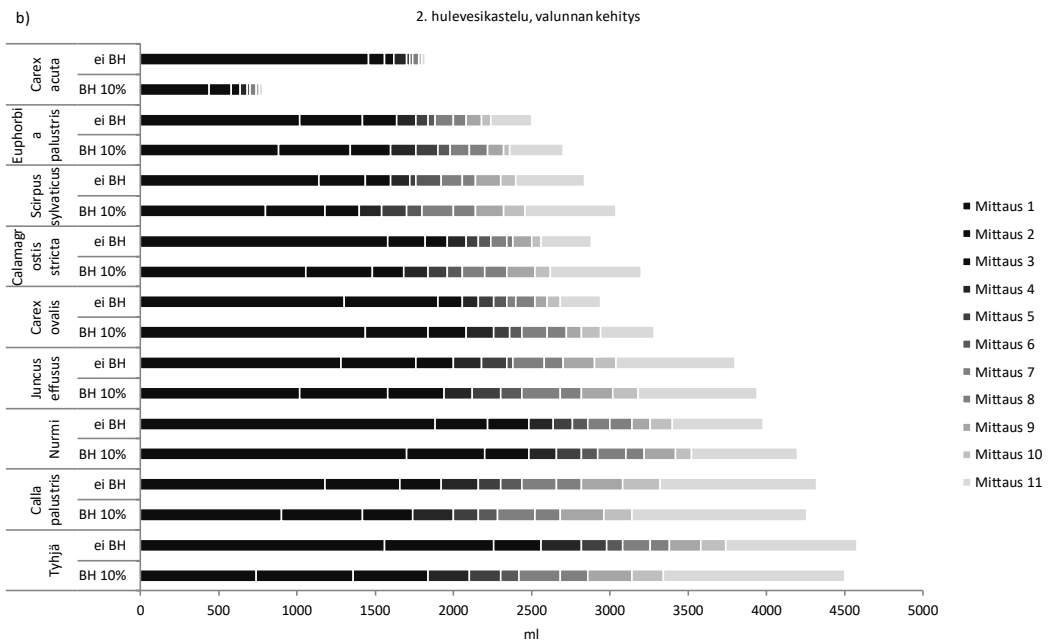
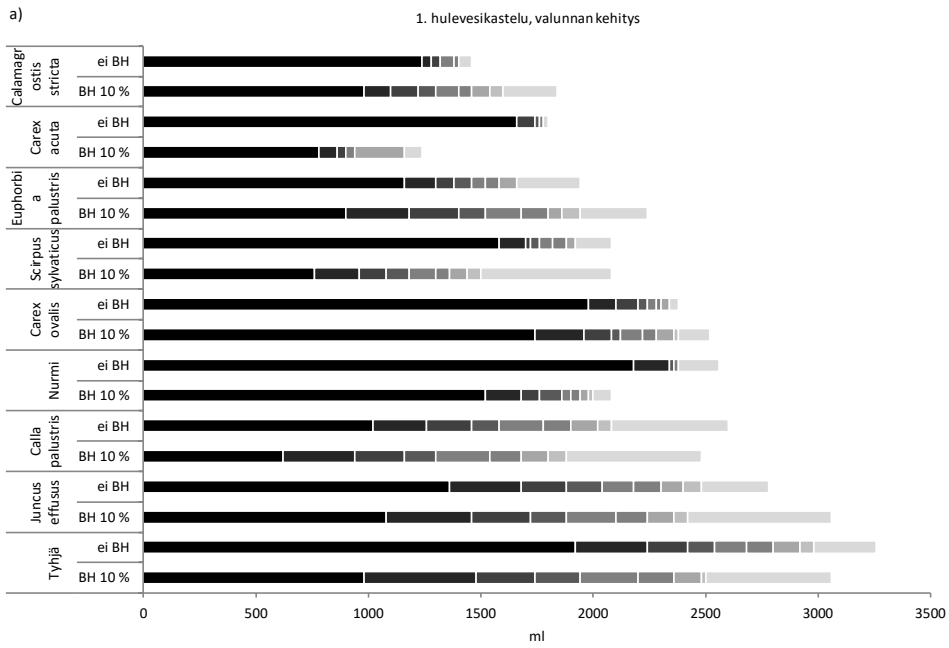
Kolmannessa koekastelussa biohiili ei vaikuttanut valunnan kertymiseen, mutta alustalla, kasvilajilla ja ajalla oli yhdysvaikutus ($p = 0,0006$). Tämä viittaa siihen, että eri kasvilajien ja alustojen yhdistelmät vaikuttavat valunnan kehitykseen eri tavoin. Kokeen alussa erot näkyvät enemmän alustojen välillä, kun taas kokeen lopussa erot näkyvät enemmän eri kasvikäsitelyiden välillä. Kuvaajista (kuva 4) näkee, että kontrolliin verrattuna huomattavasti muita kasvikäsitelyitä vähemmän valuntaa koko kastelukokeen aikana ovat tuottaneet viiltosara, jänönsara ja luhtakastikka. Lisäksi biohiilellä on ollut valunnan alkua viivästyttävä vaikutus erityisesti röyhyvihvilällä ja rantatyräkillä. Erityisen vähän valuntaa kokeen alussa tuottivat biohiilelliset jänönsara, röyhyvihvilä ja rantatyräkki. Biohiilirantatyräkin hitaan alun jälkeen sen käyrä kuitenkin hyppää suunnilleen samoihin lukemiin biohiilettömän astian kanssa. Valunnan kehitys on esitetty kuvassa 4. Kolmannen koekastelun aineistossa on enemmän hajontaa, kuin aikaisemmissa koekasteluissa. Tämä näkyy erityisesti viiltosaran, röyhyvihvilän ja korpikaislan kohdalla. Hajonnat on esitetty kuvassa 4.

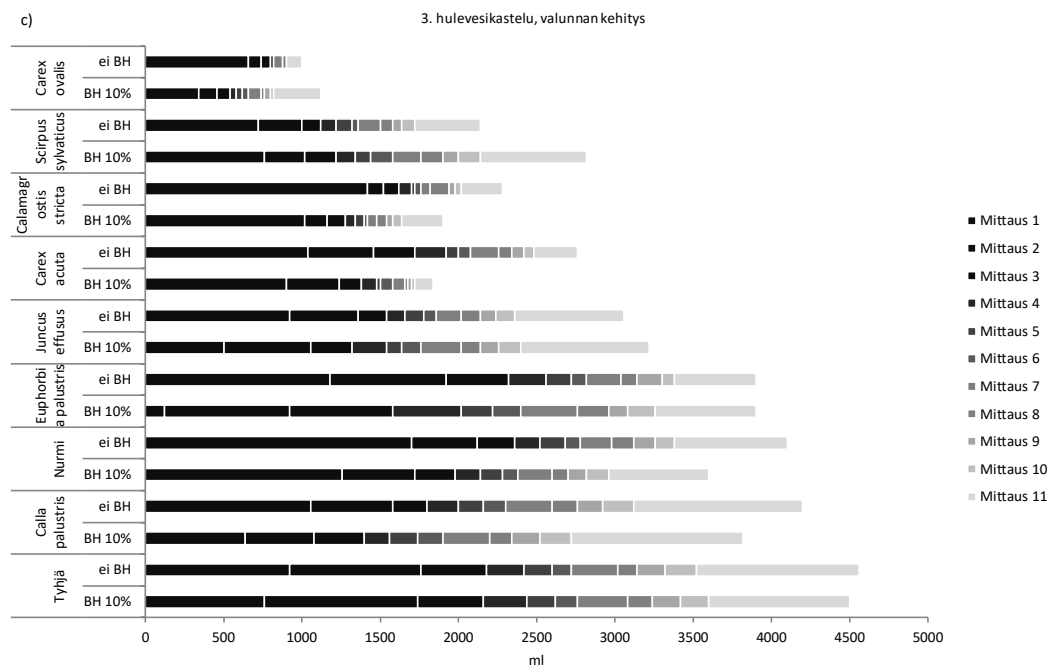






Kuva 4. Alustan, biohiilen ja ajan vaikutus valunnan kehitykseen (keskiarvo + keskihajonta), 3. koekastelu.





Kuva 5. Kokonaisalunnat koekastelulerroittain (keskiarvo). Palkit on lajiteltu pienimmästä suurimpaan biohiilettömien astioiden kokonaisvalunnan mukaan. Valkeat pystyviivat viittaavat kirjausaikoihin.

4.2 Laboratorioanalyysit

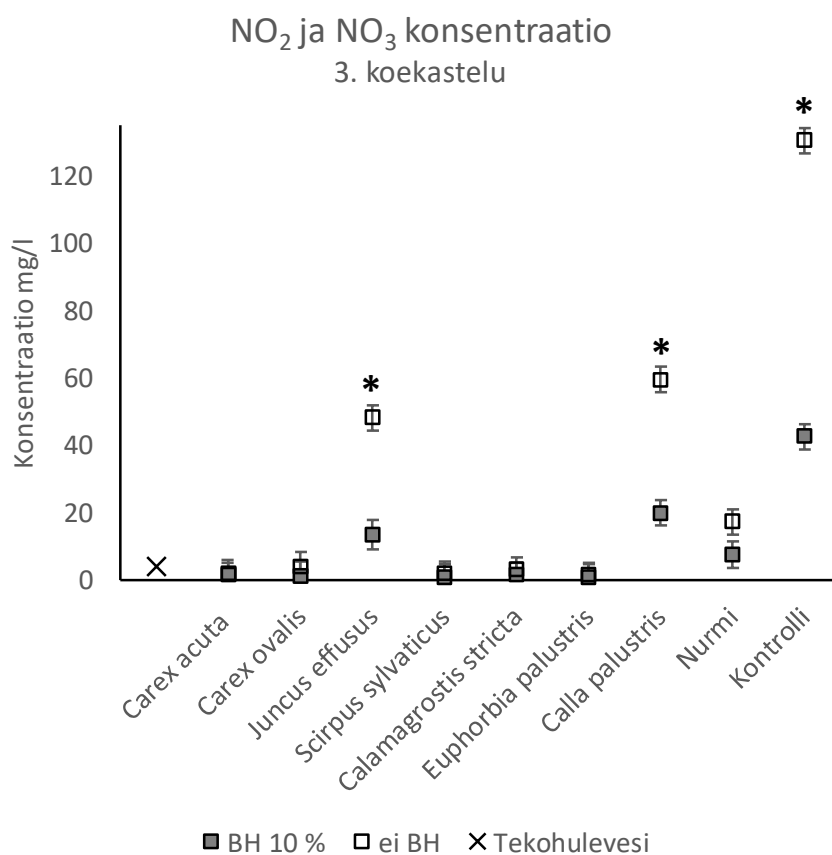
4.2.1 Nitriitin ja nitraatin konsentraatio

Biohiilikäsittely vaikutti tässä kokeessa nitriitin ja nitraatin konsentraatiota alentavasti ($p < 0,0001$). Alustalla ja kasvikäsitteilyllä oli myös yhdysvaikutus ($p < 0,0001$), joka viittaa kasvi-kasvualustayhdistelmien erilaiseen toimintaan. Tietyt yhdistelmät alensivat konsentraatiota erityisen paljon tai biohiili alensi tiettyjen kasvikäsitteilyiden konsentraatiota huomattavasti. Eri kasvikäsitteilyjen ja alustojen yhdysvaikutusten p-arvot ja konsentraatioiden estimaatit on esitetty taulukossa 3. Kasvi-kasvualustayhdistelmien erot näkyivät erityisesti röyhyvihvilällä, suovehkalla ja kontrollilla. Nurmikon ja alustan yhdysvaikutus oli lähes merkitsevä ($p = 0,0721$). Biohiilen ja kasvikäsitteilyn vaikutuksia nitriitin ja nitraatin konsentraatioon on esitetty kuvassa 6.

Taulukko 3. Nitriitin ja nitraatin konsentraation estimaatit sekä tilastotestin kasvilajin ja alustan yhdysvaikutusten p-arvot. Merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

	KASVILAJI	EI BH	BH 10 %	P-ARVO
1	<i>Carex acuta</i>	1,97	1,51	0,9319
2	<i>Carex ovalis</i>	3,97	1,18	0,6448
3	<i>Juncus effusus</i>	48,22	13,45	<0,0001
4	<i>Scirpus sylvaticus</i>	1,93	0,90	0,8493
5	<i>Calamagrostis stricta</i>	3,11	1,42	0,7547
6	<i>Euphorbia palustris</i>	1,45	0,90	0,9201
7	<i>Calla palustris</i>	59,48	19,86	<0,0001
8	Viherrakentaja-seos 2	17,36	7,47	0,0721
9	Tyhjä (kontrolli)	130,40	42,66	<0,0001

Kasvi-kasvualustayhdistelmistä, joissa kasvikäsittelyllä ja alustalla ei ollut yhdysvaikutusta, huuhtoutui vain vähän nitriittiä ja nitraattia. Tehokkaita nitriitin ja nitraatin pidättäjiä olivat molemmilla alustakäsittelyillä viiltosara, jänönsara, korpikaisla, luhtakastikka ja rantatyräkki. Erityisen paljon nitriittiä ja nitraattia huuhtoutui biohiilettömistä systeemeistä, joissa kasvikäsittelynä olivat röyhyvihvilä, suovehka ja kontrolli. Alustan ja kasvilajin vaikutuksia nitriitin ja nitraatin konsentraatioon on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Biohiilen ja kasvikäsittelyn vaikutus nitriitin ja nitraatin konsentraatioon (estimaatti + keskivirhe). Kasvikäsittelyn ja alustan merkitsevät yhdysvaikutukset on merkitty kuvaan tähdellä.

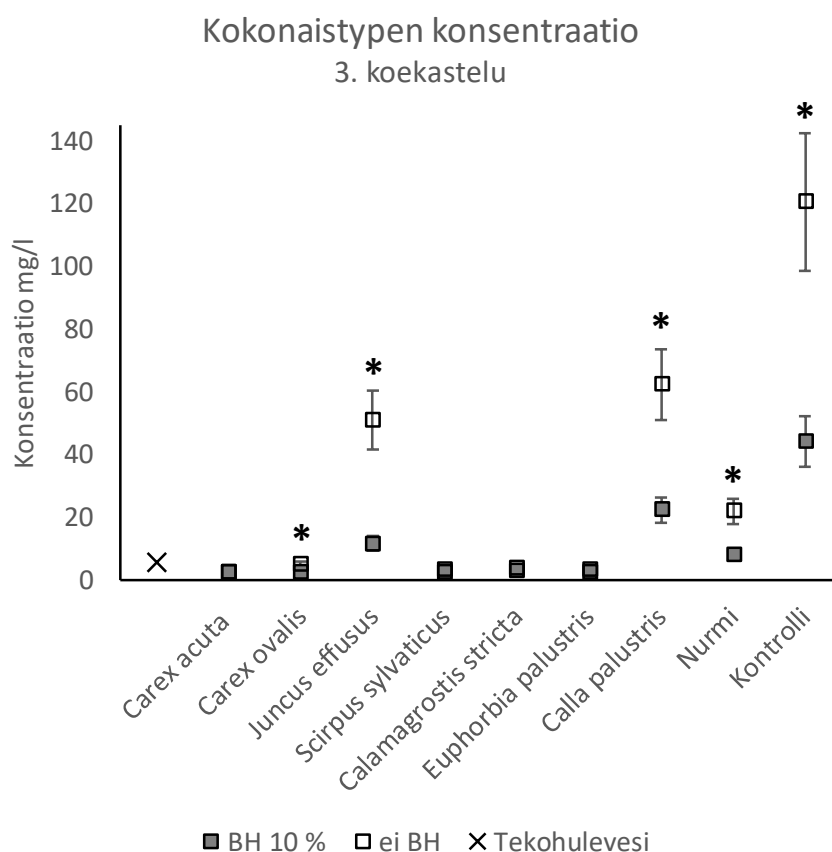
4.2.2 Kokonaistypen konsentraatio

Kokonaistypen konsentraation tulokset ovat saman suuntaiset, kuin nitriitin ja nitraatin konsentraation tulokset. Biohiilikäsittely alensi myös kokonaistypen konsentraatiota ($p < 0,0001$) verrattuna biohiilettömään alustaan. Alustalla ja kasvikäsittelyllä oli yhdysvaikutus ($p = 0,0014$) eli biohiili alensi konsentraatiota erityisesti tietyillä kasvikäsittelyillä biohiilettömään alustaan verrattuna. Eri kasvikäsittelyiden ja alustan yhdysvaikutusten p-arvot ja yhdysvaikutukset on esitetty taulukossa 4. Kasvi-kasvualustayhdistelmien erot näkyvät erityisesti jänönsaralla, röyhvihvilällä, suovehkalla, nurmella ja kontrollilla.

Taulukko 4. Kokonaistypen konsentraation estimaatit sekä tilastotestin kasvilajin ja alustan yhdysvaikutusten p-arvot. Merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

	KASVILAJI	EI BH	BH 10 %	P-ARVO
1	<i>Carex acuta</i>	2,62	2,59	0,9642
2	<i>Carex ovalis</i>	4,93	2,63	0,0325
3	<i>Juncus effusus</i>	50,97	11,45	<0,0001
4	<i>Scirpus sylvaticus</i>	3,19	2,57	0,4002
5	<i>Calamagrostis stricta</i>	3,93	2,91	0,2417
6	<i>Euphorbia palustris</i>	3,15	2,67	0,5173
7	<i>Calla palustris</i>	62,33	22,27	0,0002
8	Viherrakentaja-seos 2	21,92	7,86	0,0002
9	Tyhjä (kontrolli)	120,46	44,02	0,0002

Kasvikäsittelyistä, joissa kasvilajilla ja alustalla ei ollut yhdysvaikutusta, on molemmista kasvualustayhdistelmistä huuhtoutunut vain vähän kokonaistyyppiä. Erityisen hyvin kokonaistyyppiä pidättivät sekä biohiilelliset että biohiilettömät viiltosara-, jänönsara-, korpikaisla-, luhtakastikka- ja rantatyräkkiastiat. Erityisen paljon tyyppiä huuhtoutui biohiilellisistä ja biohiilettömistä suovehka- ja kontrolliastioista sekä biohiilettömistä röyhyvihvilä- ja nurmiastioista. Alustan ja kasvilajin vaikutuksia kokonaistypen konsentraatioon on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Biohiilen vaikutus kokonaistypen konsentraatioon (estimaatti + keskivirhe). Kasvikäsittelyn ja alustan merkitsevät yhdysvaikutukset on merkitty kuvaan tähdellä.

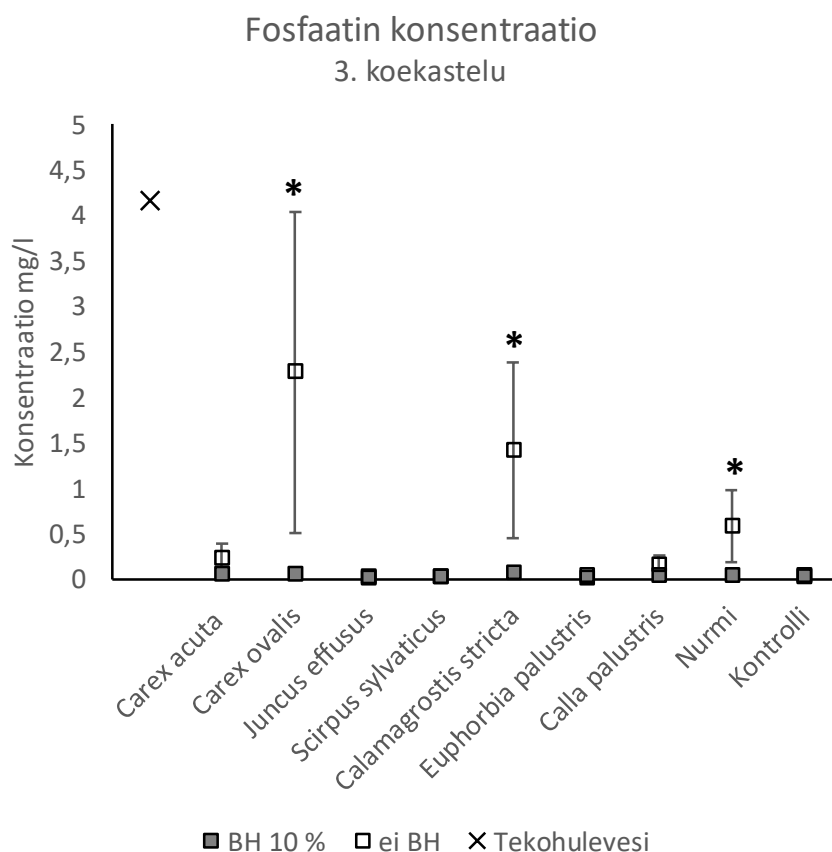
4.2.3 Fosfaatin konsentraatio

Biohiilikäsittely vaikutti tässä kokeessa fosfaatin konsentraatiota alentavasti ($p < 0,0001$). Alustalla ja kasvikäsittelyllä oli myös yhdysvaikutus ($p = 0,0371$). Tämä viittaa siihen, että biohiili alensi tiettyjen kasvikäsittelyiden konsentraatiota huomattavasti. Eri kasvikäsittelyjen ja alustojen yhdysvaikutusten p-arvot ja konsentraatioiden estimaatit on esitetty taulukossa 5. Biohiilen vaikutus näkyy erityisesti jänönsaralla, luhtakastikalla ja nurmella. Biohiilen ja kasvikäsittelyn vaikutuksia fosfaatin konsentraatioon on esitetty kuvassa 8.

Taulukko 5. Fosfaatin konsentraation estimaatit sekä tilastotestien kasvilajin ja alustan yhdysvaikutusten p-arvot. Merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

	KASVILAJI	EI BH	BH 10 %	P- ARVO
1	<i>Carex acuta</i>	0,23	0,06	0,1108
2	<i>Carex ovalis</i>	2,28	0,05	0,0003
3	<i>Juncus effusus</i>	0,02	0,02	0,6800
4	<i>Scirpus sylvaticus</i>	0,03	0,02	0,8766
5	<i>Calamagrostis stricta</i>	1,42	0,06	0,0009
6	<i>Euphorbia palustris</i>	0,04	0,01	0,2916
7	<i>Calla palustris</i>	0,16	0,03	0,0880
8	Viherrakentaja- seos 2	0,58	0,04	0,0042
9	Tyhjä (kontrolli)	0,03	0,03	0,9406

Kaikki kasvialustayhdistelmät tuottivat huomattavasti tekohulevettä alemman fosfaatin konsentraation. Myös kasvittomat systeemit, riippumatta alustasta, toimivat tässä suhteessa hyvin. Biohiilettömien jänönsara-, luhtakastikka- ja nurmiastioiden fosfaattikonsentraatiot olivat selkeimmin kaikkia muita käsittelyitä korkeammat. Biohiilen ja kasvikäsitteilyn vaikutuksia fosfaatin konsentraatioon on esitetty kuvassa 8.



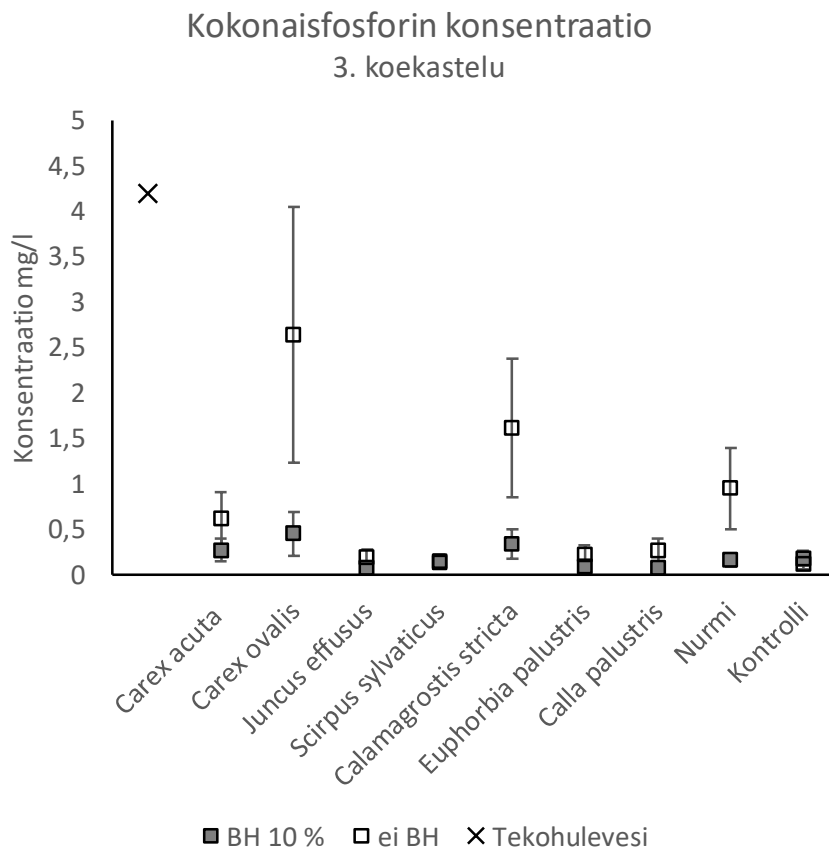
Kuva 8. Biohiilen vaikutus fosfaatin konsentraatioon (estimaatti + keskivirhe). Kasvikäsittelyn ja alustan merkitsevät yhdysvaikutukset on merkitty kuvaan tähdellä.

4.2.4 Kokonaisfosforin konsentraatio

Biohiilikäsittely on vaikuttanut tässä kokeessa myös kokonaisfosforin konsentraatiota alentavasti ($p < 0,0001$). Kokonaisfosforin konsentraatiot ovat hyvin samansuuntaiset, kuin fosfaatin konsentraatiot ja kaikkien kasvialustayhdistelmien kokonaisfosforin konsentraatiot olivat huomattavasti tekohulevettä matalammat. Tekohuleveden kokonaisfosforin konsentraatio oli noin 4,09 mg/l. Fosfaatin konsentraatioon (n. 4,06 mg/l) verrattuna voidaan huomata, että fosfaatti muodostaa suurimman osan kokonaisfosforin määrästä.

Myös kasvikäsittely vaikutti kokonaisfosforin konsentraatioon ($p < 0,0001$). Kaikki kasvikäsittelyt laskivat kokonaisfosforin konsentraatiota tekohuleveteen verrattuna. Myös kasvittomat systeemit (kontrolli) alustasta riippumatta, pidättivät

kokonaisfosforia hyvin. Biohiilettömien jänönsara-, luhtakastikka- ja nurmiastioiden kokonaisfosforin konsentraatiot olivat selkeämmin kaikkia muita käsittelyitä korkeammat. Biohiilen ja kasvilajin vaikutuksia kokonaisfosforin konsentraatioon on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Biohiilen ja kasvikäsittelyn vaikutus kokonaisfosforin konsentraatioon (estimaatti + keskivirhe).

5 Tulosten tarkastelu

5.1 Röyhyvihvilä ja suovehka

Röyhyvihvilä ja suovehka osoittautuivat nitriitin ja nitraatin päästäjiksi. Tämä viittaa siihen, että nämä kasvilajit eivät ole toimineet hyvin tämän tyyppisessä kokeessa. Huono menestys näkyy esimerkiksi röyhyvihvilän ja suovehkan muita kasvilajeja heikommassa peittävyudessa ja laboratoriotulosten kohdalla

valumaveden korkeana nitriitin ja nitraatin konsentraationa. Röyhyvihvilän ja suovehkan lisäksi kontrolli nousee esiin selkeänä nitriitin ja nitraatin päästäjänä.

Suovehkan kasvustot (biohiiletön 17,5 cm, biohiilellinen 15,9 cm) jäivät useita luonnon oloissa kasvavia lajikumppaneitaan (15 – 40 cm) matalammiksi ja huonosti peittäviksi. Röyhyvihvilän huono menestys ilmeni myös siten, että astian 45 kaikki taimet kuolivat tai osa joidenkin astioiden taimista kuoli. Retkeilykasvion mukaan (Hämet-Ahti 1998) sekä röyhyvihvilä että suovehka viihtyvät erityisesti märissä olosuhteissa, kuten ojissa tai soilla, joten tämän kokeen astioiden olosuhteet olivat molemmille kasveille liian kuivat. Röyhyvihvilän ja suovehkan ominaisuudet eivät tämän takia ole päässeet esille halutulla tavalla.

5.2 Kastelun epätasaisuus kolmannessa jaksossa

Tensiometrien toiminnassa oli häiriöitä, jonka takia kolmannessa jaksossa toiset kasvilajit saivat enemmän vettä (viiltosara ja rantatyräkki) kuin toiset. Jänönsaran kastelusta oli kulunut 17 päivää ennen koekasteluita suoritettavaa tasauskastelua. On todennäköistä, että tämän takia koekastelussa kahdesta jänönsara-astiasta ei tullut lainkaan vettä läpi. Viiltosara ja rantatyräkki puolestaan saivat vettä myös tasauskastelun ja koekastelun välissä.

Kastelukertojen määrä vaihteli eri jaksoissa. Ensimmäisessä ja toisessa jaksossa kaikkia kasvilajeja kasteltiin 9 – 13 kertaa. Toinen jakso oli huomattavasti lyhyempi, joten kastelut toteutettiin huomattavasti tiheämmin. Kolmannessa jaksossa astioita kasteltiin 3 – 15 kertaa. Nämä epäkohdat korjattiin vuoden 2018 koekaudella. Kaikkiin astioihin hankittiin omat tensiometrit ja kaikkia astioita kasteltiin aina samalla tavalla, jos jokin astia vaikutti kuivalta. Tällä tavoin valuntatietoja voidaan myös testata tilastollisesti.

Kastelun epätasaisuus näkyy siten, että viiltosara erottuu kahdessa ensimmäisessä koekastelussa biohiilen kanssa yhdistettynä hyvänä vedenhaiduttajana. Kolmannessa koekastelussa se toimii edelleen hyvin, muttei ole enää terävimmässä

kärjessä. Jänönsara puolestaan ei erotu muista kasvikäsitteistä ensimmäisessä tai toisessa koekastelussa, mutta on tehokkain veden käyttäjä kolmannessa koekastelussa.

5.3 Ravinteiden pidättyminen

Ensimmäisen hypoteesin mukaan oletin koekasvien vähentävän valumaveden ravinne-konsentraatiota kontrolliin verrattuna (Denman, May & Breen 2006, Read ym. 2008) ja kasvilajien suorituskyvyn eroavan toisistaan (Schnoor ym. 1995, Salt, Smith & Raskin 1998). Toisin, kuin hypoteesissa oletin, kasvikäsitteyt eivät parantaneet astioiden fosfaatinpidätystehokkuutta kontrolliin verrattuna, vaikka toimivatkin hyvin tekohulevetteen verrattuna. Fosfaatti pidättyy tehokkaasti kasvialustaan myös ilman kasvia ja voi esimerkiksi saostua alumiinin tai raudan kanssa. Tässä kokeessa erityisesti biohiilellisten systeemien fosfaatin pidätystehokkuus on ollut erinomainen.

Nitraatin kohdalla ensimmäinen hypoteesi piti kuitenkin paikkansa: kontrolliin verrattuna nitraattia pidättyi erittäin hyvin, sillä kasvittomista systeemeistä sitä huuhtoutui hyvin runsaasti. Myös ensimmäisen hypoteesin toinen osa toteutui molempien ravinteiden osalta, sillä toiset kasvikäsitteyt toimivat paremmin, kuin toiset. Lähes tai täydet 100 % fosfaatista pidättivät biohiilelliset viiltosara ja rantatyräkki, sekä biohiiletön kontrolli. Biohiilen ja viiltosaran, jänönsaran, korpikaislan ja rantatyräkin yhdistelmät puolestaan pidättivät noin 60 – 80 % nitriitistä ja nitraatista. Muut kasvikäsitteyt pidättivät nitraattia niitä vähemmän tai sitä huuhtoutui systeemistä.

Joihinkin kokeisiin sisällytetään hapeton, veden saturoima kerros denitrifikaatiota varten. Valtasen, Sillanpään & Setälän (2017) kokeessa nitraatin pidätysteho oli kohtalainen: keväällä 54 % ja seuraavana syksynä 25 %. Satutoitu kerros ei kuitenkaan ole erityisesti parantanut nitraatin pidätystehoa. Barrettin, Limouzinin & Lawlerin (2013) kokeessa saturaatiovyöhyke oli tutkijoiden mukaan liian pieni tehokkaaseen denitrifikaatioon. Systeemit toimivatkin melko sekalaisesti. Kaikissa

nitraattia pidättäneissä systeemeissä oli kasvikäsitteily. Kokeessa päästiin parhaimmillaan 44 – 81 % nitraatinpidätykseen.

Readin ym. (2008) tutkimuksessa ei ollut saturoitua vyöhykettä. Kaikkien kasvien yhdistetty nitriitin ja nitraatinpidätysteho oli noin 80 %. Yksittäiset kasvilajit pidättivät jopa 80 – 90 % nitriitistä ja nitraatista. Noin 95 % nitriitistä ja nitraatista pidättivät *Carex appressa*, *Juncus amabilis*, *Juncus flavidus*, *Melaleuca ericifolia* ja *Goodenia ovata*. Edellä mainitut kasvilajit kuuluvat sara-, vihvilä-, myrtti- ja siniviuhkakasveihin. Tässä kokeessa sarakasvit viiltosara ja jänönsara toimivat hyvin, kun taas mukana ollut röyhyvihvilä (vihviläkasvit) ei menestynyt kokeessa.

Valtasen ym. (2017) kokeessa fosfaatin pidättyminen oli hyvin tehokasta sekä kasvillisissa, että kasvittomissa systeemeissä, yli 96 %. Readin ym. (2008) kokeessa ei mitattu fosfaattia, mutta kokonaisfosfori pidättyi kasvittomissa systeemeissä noin 60-prosenttisesti ja kasvillisissa noin 70-prosenttisesti. Barrettin, Limouzinin & Lawlerin (2013) tutkimuksessa kokonaisfosfori pidättyi vähintään 90-prosenttisesti. Osassa systeemeistä oli kalkkikivisorakäsittely, joka saosti fosforia. Tässä kokeessa kokonaisfosfori pidättyi biohiilellisiin systeemeihin vähintään 80-prosenttisesti.

Erityisesti fosfaatin pidättyminen biosuodatussysteemiin on helpompaa, mikäli tekohuleveden konsentraatio on matala (Hatt, Fletcher & Deletic 2009). Tässä kokeessa tekohuleveden ravinnekonsentraatiot olivat melko korkeat: fosfaatti noin 4 mg/l, nitriitti ja nitraatti hivenen alle 4 mg/l. Valtasen, Sillanpään & Setälän (2017) kokeessa fosfaatin pitoisuus oli 0,3 mg/l ja Readin ym. (2008) 0,26 mg/l, jotka arvot ovat huomattavasti alhaisempia. Valtasen kokeessa tekohuleveden nitraattipitoisuus oli 3 mg/l, joka on lähempänä tämän kokeen arvoa, kun taas Readin ym. (2008) kokeessa nitraattipitoisuus oli matalampi, 1,02 mg/l. Vaikka tämän kokeen konsentraatio on ollut muita tutkimuksia korkeampi, ovat tulokset silti hyviä. Myös kasvualustan matalat ravinnekonsentraatiot helpottavat ravinteiden sitoutumista systeemeihin (Dietz & Clausen 2005, Hunt ym. 2006). Valtasen kokeessa kasvualustan fosforipitoisuus oli 9,1 mg/l ja tässä kokeessa

puolestaan 2,4 mg/l (2,3 mg/kg). Molemmat pitoisuudet ovat hyvin matalia verrattuna esimerkiksi Cambardellan & Karlenin (1999) tutkimukseen, jossa analysoitiin luonnonmukaisesti ja perinteisin menetelmin viljellyt pellot. Niiden fosforipitoisuus oli 5 cm syvyyteen asti 58 mg/kg (luonnonmukainen) ja 30 mg/kg.

Kolmannessa hypoteesissa oletin myös biohiilen laskevan valumaveden ravinnekonsentraatiota kontrolliin verrattuna (Atkinson, Fitzgerald & Hipps 2010). Hypoteesi toteutui, sillä biohiili alensi kaikkien astioiden typen ja fosforin konsentraatioita. Myös Ulrichin, Loehnertin & Higginsin (2017) kokeessa biohiilikäsittely vähensi liukoisen kokonaisfosforin huuhtoutumista ja paransi 86 % kokonaistypen pidättymistä ja 68 % nitraatin pidättymistä kontrolliin verrattuna. Ravinnekonsentraatioihin liittyvät tulokset viittaavat siihen, että tässä kokeessa käytetty koivubiohiili on tehokas keino valumaveden ravinnekonsentraatioiden alentamiseen erityisesti tiettyjen kasvilajien kanssa (viiltosara, jänönsara, korpikaisla ja rantatyräkki).

5.4 Kasvi-kasvualustayhdistelmien veden käyttö

Toisen hypoteesin mukaan oletin, että kasvikäsitellyt vähentävät valumaveden määrää koekastelussa kontrolliin verrattuna (W. F. Hunt, Davis & Traver 2012), mutta kasvilajien suorituskyy eroaa toisistaan (Schnoor ym. 1995, Salt, Smith & Raskin 1998). Tämä hypoteesi toteutui kokonaisuudessaan: vedenkäyttö vaihteli eri systeemien välillä, mutta kasvikäsitely vähensi valuntaa kaikissa koekasteluissa kontrolliin verrattuna. Eniten vettä käyttivät viiltosara, luhtakastikka ja jänönsara. Kaikkein eniten valuntaa tuottivat kaikissa koekasteluissa kontrolliastiat.

Burszta-Adamiakin, Stanczykin & Lomotowskin (2019) viherkattokokeessa kasvipeitteiset katot pidättivät noin 81 % sadevedestä. Kolmannessa koekastelussa jänönsara pääsee samoihin lukuihin Burszta-Adamiakin, Stanczykin & Lomotowskin (2019) kanssa, mutta tulos on kyseenalainen, koska jänönsara-astiat eivät olleet saaneet vettä 17 päivään ennen tasaukaskastelua. Viiltosara pidätti vettä erittäin hyvin toisessa koekastelussa (biohiiletön 70,82 %, biohiilellinen 85,73 %).

Kolmannessa jaksossa se puolestaan sai vettä jopa tasauskastelun ja koekastelun välillä, joka on varmasti huonontanut sen tulosta. Ensimmäisen koekastelun aikaan koeastiat olivat lähempänä epätasapainotilaa ja erot eri käsittelyiden välillä ovat huomattavasti pienempiä. Kasvillisuuden kehittyminen on nähtävissä jo ensimmäisen ja toisen koekastelun välillä. Erot eri kasvi-kasvualustakäsittelyiden välillä tulevat sitä selkeämmiksi, mitä pidemmälle kokeessa edetään. Tulokset viittaavat siihen, että erityisesti viiltosaraa, luhtakastikkaa ja mahdollisesti jänönsaraa kannattaa käyttää biosuodatuksessa valumaveden vähentämiseen.

Burszta-Adamiakin, Stanczykin & Lomotowskin (2019) kokeessa sademäärät vaihtelivat enimmäkseen 2 – 10 mm välillä. Tässä kokeessa 6 litran kastelumäärä vastasi noin 15 mm sadetta, joka on melko vähäinen sademäärä ja helppo imeyttää systeemeihin. Burszta-Adamiakin, Stanczykin & Lomotowskin (2019) kokeeseen verrattuna tämän kokeen kastelussa ei yritetty simuloida sateen kaltaista vähittäistä kastelua, vaan koko tekohulevesierä kaadettiin astiaan yhdellä kertaa kasvien juurelle. Tällöin lehvästön pidättävä vaikutus ei tule kokeessa esiin ja systeemien vedenpidätysteho jää viherkattokokeita vaatimattomammaksi.

Neljännessä hypoteesissa oletin, että biohiili vähentää valumaveden määrää kontrolliin verrattuna (Kuoppamäki ym. 2016). Hypoteesi ei kuitenkaan toteutunut, sillä biohiilellä ei ollut vaikutusta kokonaisvalunnan määrään missään tämän tutkimuksen koekastelussa. Tämä voi johtua siitä, että säännöllisestä kastelusta johtuen kasvualusta ei päässyt kunnolla kuivumaan. Kokonaisvaluntaa vähentävä vaikutus voisi tulla näkyviin pitemmän kuivuusjakson jälkeen – tästä viitteitä antaa jänönsaran ja biohiilen yhdistelmän vedenkäytön tehokkuus kolmannessa koekastelussa. Tulos on yllättävä, sillä Kuoppamäen ym. (2016) tutkimuksessa biohiili paransi veden pidättymistä 5 – 10 % kontrolliin verrattuna. Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin myös, että eri biohiilituotteilla on erilaisia ominaisuuksia. Ristiriitaisista tuloksista voidaan päätellä, että biohiilen vedenpidätysominaisuuksia kannattaa tutkia lisää. Lisäksi, vaikkei biohiili vähentänyt valumaveden määrää, oli sillä tässä kokeessa kuitenkin valunnan

kertymistä hidastava vaikutus. Tällä on merkitystä rankkasateiden tulvapiikkien hidastamisessa ja alentamisessa.

5.5 Kasvilajien ominaisuudet

Taulukossa 6 esitetään muutamia tässä tutkimuksessa mitattuja ominaisuuksia. Lukuarvo taulukossa osoittaa, että kasvi-kasvualustayhdistelmä on toiminut hyvin ominaisuuden suhteen. Taulukosta voidaan nähdä, mitkä kasvilajit ovat toimineet hyvin useamman ominaisuuden kohdalla.

Taulukko 6. Kasvikäsittelyiden ominaisuuksia. NO₂ + NO₃: yli 60 % pidätystehoiset kasvit, PO₄: yli 90 % pidätystehoiset kasvit, vedenpidätys: yli 60 % pidätystehoiset kasvit. Luvut ovat estimaatteja.

	KASVILAJI	ALUSTA	NO ₂ + NO ₃ (%)	PO ₄ (%)	VEDENPIDÄTYS (%)
1	<i>Carex acuta</i>	ei BH			
		BH 10 %	-62,52	-100,41	67,44
2	<i>Carex ovalis</i>	ei BH			82,64
		BH 10 %	-70,58	-96,81	83,85
3	<i>Juncus effusus</i>	ei BH		-97,90	
		BH 10 %		-98,41	
4	<i>Scirpus sylvaticus</i>	ei BH		-98,43	63,34
		BH 10 %	-77,60	-98,93	
5	<i>Calamagrostis stricta</i>	ei BH			60,00
		BH 10 %	-64,58	-98,97	67,64
6	<i>Euphorbia palustris</i>	ei BH	-64,01	-98,61	
		BH 10 %	-77,51	-99,23	
7	<i>Calla palustris</i>	ei BH		-94,91	
		BH 10 %		-98,09	
8	Viherrakentajaseos 2 (nurmi)	ei BH			
		BH 10 %		-95,27	
9	Tyhjä (kontrolli)	ei BH		-99,85	
		BH 10 %		-95,61	

Taulukoinnin perusteella esiin monipuolisina veden haihduttajina ja ravinteiden pidättäjinä nousevat biohiilikäsittelyt viiltosara, jänönsara ja luhtakastikka. Jänönsaran kohdalla kannattaa kuitenkin muistaa kastelun epätasaisuus viimeisessä jaksossa. Toisaalta nitraatin pidättäminen on erityisen hyödyllinen ominaisuus, joten myös kaikkia nitriitin ja nitraatin pidätyksessä tehokkaita kasvi-kasvualustayhdistelmiä voidaan suositella. Esimerkiksi rantatyräkki toimii hyvin sekä biohiilen kanssa että ilman ja korpikaisla on tehokas biohiilen kanssa yhdistettynä.

6 Päätelmät

Tutkin tässä pro gradu -tutkielmassani tiettyjen suomalaisten kasvilajien ja kasvualustaan lisätyn biohiilen vaikutusta huleveden laatuun ja määrään. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta seuraavaa:

- 1) Eniten vettä koekastelussa käyttivät viiltosara, luhtakastikka sekä jänönsara. Jänönsaran suorituskyky on kiistanalainen johtuen epätasaisesta kastelusta kolmannen jakson aikana. Kaikki kasvikäsittelyt tuottivat vähemmän valuntaa, kuin kontrolli. Biohiilen avulla voidaan hidastaa valunnan alkamista ja kehitystä.
- 2) Parhaita kokonaistypenpidättäjiä olivat viiltosara, jänönsara, korpikaisla, luhtakastikka ja rantatyräkki. Kokonaisfosforin pidättämisessä puolestaan erottuivat viiltosara, korpikaisla, ja rantatyräkki. Kaikki kasvikäsittelyt alensivat tekohuleveden kokonaisfosforin konsentraatiota. Biohiili paransi kaikkien edellä mainittujen kasvilajien ravinteiden pidätyskykyä. Mikrobitoiminnan merkitys ravinteiden sidonnassa on tärkeä.

Tämä kokeen perusteella voidaan hulevesirakenteeseen suositella viiltosaraa, jänönsaraa, korpikaislaa, luhtakastikkaa ja rantatyräkkiä sekä kasvualustaan 10 % (w/v) biohiilikäsittelyä. Kasvillisuuspeite on yleisesti ottaen tärkeä osa hulevesirakennetta, mutta myös kasvillisuuden lajivalinnoilla on vaikutusta huleveden määrään ja laatuun. Kasvillisuus lisää luonnon monimuotoisuutta ja tämän kokeen kasvilajit olivat suurimmaksi osaksi koristearvoltaan hyviä. Hyvistä tuloksista huolimatta täytyy kuitenkin muistaa, että kyseessä on astiakoe ja kasvi-kasvialustayhdistelmien teho kannattaa varmistaa käytännön sovelluksessa.

Vähäravinteinen ja karu kasvialusta, jossa suurin osa maapartikkeleista on joko keskikokoisia tai hienoja, toimii biosuodatuskokeessa hyvin erityisesti fosfaatin pidättämisessä. Kasvit käyttävät vain vähän saatavilla olevista ravinteista, esim. typpeä kasvi pidättää omiin solukoihinsa enintään noin 4 %. Kuitenkin, jos kasvillisuus poistetaan biosuodatussystemistä, alkaa se päästää typpeä. Kasvialustan ominaisuuksista kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien lisäksi

tärkeä on muistaa myös biologiset prosessit: mikrobit pidättävät ison osan ravinteista.

Jatkotutkimusehdotuksia

Koska kasvualustan biologisilla ominaisuuksilla on hyvin suuri merkitys ravinteiden pidätyksen kannalta, voitaisiin vastaavassa koeasetelmassa tutkia mikrobitoiminnan aktiivisuutta sekä mikrobien ja kasvilajien yhdysvaikutusta. Lisäksi voitaisiin selvittää, onko olemassa mikrobilajeja, jotka toimivat toisia paremmin ravinteiden pidätyksessä tai onko olemassa maaperän häirikkömikrobeja, jotka heikentävät biosuodatuksen tehoa.

Lisäksi röyhyvihvilän ja suovehkan toimivuutta mm. ravinteiden pidättäjinä voitaisiin testata esimerkiksi kosteikkomaisissa olosuhteissa tai vesiviljelyssä, koska tämän kokeen tarjoamat olosuhteet eivät olleet niille ihanteelliset.

7 Kiitokset

Kiitokset Luonnonvarakeskuksen Lotta Heikkilälle harjoittelupaikkavinkistä, HuleKas-tiimiin Eeva-Maria Tuhkaselle ohjauksesta, Sirkka Juhanojalle taustatuesta, Pirkko Nykäselle ja Jaana Sarlinille havainnointiavusta, Tapio Salolle kommentteista, Asko Laurilalle ja Christer Skogille koejärjestelyn rakentamistöistä, Rob Reindersille tutkimusavusta, Lauri Jauhiaiselle tilastoanalyyseistä, Helsingin Yliopiston Heikki Setälälle ohjauksesta sekä miehelleni Pekalle pitkästä pinnasta.

Kiitokset myös rahoittajille: Maiju ja Yrjö Rikalan puutarhasäätiö, sekä Helsingin, Jyväskylän, Kaarinan, Kuopion, Salon ja Turun kaupungit.

8 Kirjallisuus

- Andoh, R.Y. & Iwugo, K.O. 2002, Sustainable urban drainage systems: a UK perspective, teoksessa *Global Solutions for Urban Drainage*, s. 1-16.
- Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D. & Higgs, N.A. 2010, Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review, *Plant and Soil*, **337**(1-2), s. 1-18. DOI 10.1007/s11104-010-0464-5.
- Barrett, M.E., Limouzin, M. & Lawler, D.F. 2013, Effects of Media and Plant Selection on Biofiltration Performance, *Journal of Environmental Engineering-Asce*, **139**(4), s. 462-470. DOI 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000551.
- Birch, G.F., Matthai, C. & Fazeli, M.S. 2006, Efficiency of a retention/detention basin to remove contaminants from urban stormwater, *Urban Water Journal*, **3**(2), s. 69-77. DOI 10.1080/15730620600855894.
- Bratieres, K., Fletcher, T.D., Deletic, A. & Zinger, Y. 2008, Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: A large-scale design optimisation study, *Water research*, **42**(14), s. 3930-3940. DOI 10.1016/j.watres.2008.06.009.
- Breen, P.F. 1990, A mass balance method for assessing the potential of artificial wetlands for wastewater treatment, *Water research*, **24**(6), s. 689-697. DOI 10.1016/0043-1354(90)90024-Z.
- Burszta-Adamiak, E., Stanczyk, J. & Lomotowski, J. 2019, Hydrological performance of green roofs in the context of the meteorological factors during the 5-year monitoring period, *Water and Environment Journal*, **33**(1), s. 144-154. DOI 10.1111/wej.12385.
- Cambardella, C.A. & Karlen, D.L. 1999, Spatial Analysis of Soil Fertility Parameters, *Precision Agriculture*, **1**(1), s. 5-14. DOI 1009925919134.
- Carter, T.L. & Rasmussen, T.C. 2006, Hydrologic behavior of vegetated roofs, *Journal of the American Water Resources Association*, **42**(5), s. 1261-1274. DOI 10.1111/j.1752-1688.2006.tb05611.x.
- Coffman, L., Cheng, M., Weinstein, N. & Clar, M. 1998, Low-impact development hydrologic analysis and design, *Water Resources and the Urban Environment* ASCE, s. 1-8.
- Davis, A.P., Shokouhian, M. & Ni, S.B. 2001, Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources, *Chemosphere*, **44**(5), s. 997-1009. DOI 10.1016/S0045-6535(00)00561-0.

- Davis, A.P., Hunt, W.F., Traver, R.G. & Clar, M. 2009, Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs, *Journal of Environmental Engineering-Asce*, **135**(3), s. 109-117. DOI 3(109).
- Deenik, J.L., McClellan, T., Uehara, G., Antal, M.J., Jr. & Campbell, S. 2010, Charcoal Volatile Matter Content Influences Plant Growth and Soil Nitrogen Transformations, *Soil Science Society of America Journal*, **74**(4), s. 1259-1270. DOI 10.2136/sssaj2009.0115.
- Denman, L., May, P.B. & Breen, P.F. 2006, An investigation of the potential to use street trees and their root zone soils to remove nitrogen from urban stormwater, *Australasian Journal of Water Resources*, **10**(3), s. 303-311.
- Dietz, M.E. 2007, Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions, *Water, air, and soil pollution*, **186**(1-4), s. 351-363. DOI 10.1007/s11270-007-9484-z.
- Dietz, M.E. & Clausen, J.C. 2005, A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment, *Water, air, and soil pollution*, **167**(1-4), s. 123-138. DOI 10.1007/s11270-005-8266-8.
- Drzal, M.S., Fonteno, W.C. & Keith Cassel, D. 1999, *Pore fraction analysis: A new tool for substrate testing*, International Society for Horticultural Science.
- Elliott, A.H. & Trowsdale, S.A. 2007, A review of models for low impact urban stormwater drainage, *Environmental Modelling and Software*, **22**(3), s. 394-405. DOI 10.1016/j.envsoft.2005.12.005.
- Hagner, M., Kemppainen, R., Jauhiainen, L., Tiilikkala, K. & Setälä, H. 2016, The effects of birch (*Betula* spp.) biochar and pyrolysis temperature on soil properties and plant growth, *Soil & Tillage Research*, **163**, s. 224-234. DOI 10.1016/j.still.2016.06.006.
- Hakimdavar, R., Culligan, P.J., Finazzi, M., Barontini, S. & Ranzi, R. 2014, Scale dynamics of extensive green roofs: Quantifying the effect of drainage area and rainfall characteristics on observed and modeled green roof hydrologic performance, *Ecological Engineering*, **73**, s. 494-508. DOI 10.1016/j.ecoleng.2014.09.080.
- Hatt, B.E., Deletic, A. & Fletcher, T.D. 2007, Stormwater reuse: designing biofiltration systems for reliable treatment, *Water Science and Technology*, **55**(4), s. 201-209. DOI 10.2166/wst.2007.110.
- Hatt, B.E., Fletcher, T.D. & Deletic, A. 2009, Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale, *Journal of Hydrology*, **365**(3-4), s. 310-321. DOI 10.1016/j.jhydrol.2008.12.001.

- Henderson, C.F.K. 2009, *The chemical and biological mechanisms of nutrient removal from stormwater in bioretention systems*, Griffith University.
- Hunt, W.F., Davis, A.P. & Traver, R.G. 2012, Meeting Hydrologic and Water Quality Goals through Targeted Bioretention Design, *Journal of Environmental Engineering-Asce*, **138**(6), s. 698-707. DOI 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000504.
- Hunt, Jarrett, Smith & Sharkey 2006, Evaluating bioretention hydrology and nutrient removal at three field sites in North Carolina, *Journal of Irrigation & Drainage Engineering*, **132**(6).
- Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., 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), s. 175-187. DOI 10.1016/j.agee.2011.08.015.
- Kasper, T.M. & Jenkins, G.A. 2007, Measuring the background concentration in a constructed stormwater treatment wetland, *Urban Water Journal*, **4**(2), s. 79-91. DOI 10.1080/15730620701328023.
- Kim, H.H., Seagren, E.A. & Davis, A.P. 2003, Engineered bioretention for removal of nitrate from stormwater runoff, *Water Environment Research*, **75**(4), s. 355-367. DOI 10.2175/106143003X141169.
- Kookana, R.S., Sarmah, A.K., Van Zwieten, L., Krull, E. & Singh, B. 2011, Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences, *Advances in Agronomy, Vol 112*, **112**, s. 103-143. DOI 10.1016/B978-0-12-385538-1.00003-2.
- Kuoppamäki, K., Hagner, M., Lehvävirta, S. & Setälä, H. 2016, Biochar amendment in the green roof substrate affects runoff quality and quantity, *Ecological Engineering*, **88**, s. 1-9. DOI 10.1016/j.ecoleng.2015.12.010.
- Lehmann, J., da Silva, J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. & Glaser, B. 2003, Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, *Plant and Soil*, **249**(2), s. 343-357. DOI 10.22833116184.
- Leroy, M., Portet-Koltalo, F., Legras, M., Lederf, F., Moncond'huy, V., Polaert, I. & Marcotte, S. 2016, Performance of vegetated swales for improving road runoff quality in a moderate traffic urban area, *Science of the Total Environment*, **566**, s. 113-121. DOI 10.1016/j.scitotenv.2016.05.027.
- Lucas, W.C. & Greenway, M. 2008, Nutrient retention in vegetated and nonvegetated bioretention mesocosms, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **134**(5), s. 613-623. DOI 5(613).

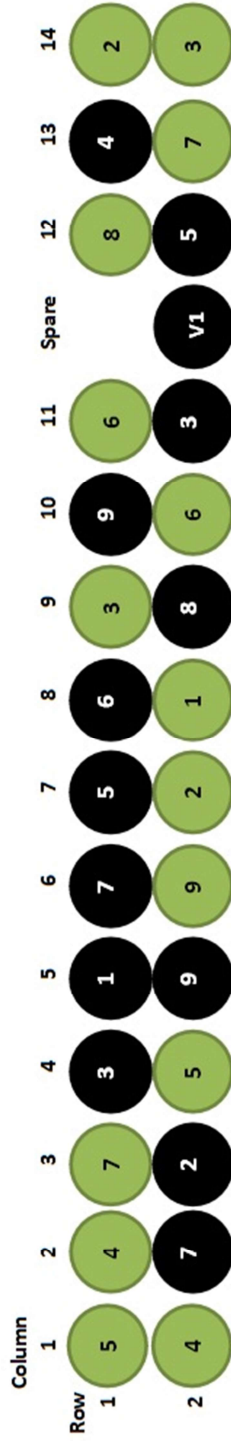
- Marsalek, J. & Schreier, H. 2009, Innovation in Stormwater Management in Canada: The Way Forward, *Water Quality Research Journal of Canada*, **44**(1), s. X.
- Martin, C., Ruperd, Y. & Legret, M. 2007, Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices, *European Journal of Operational Research*, **181**(1), s. 338-349. DOI 10.1016/j.ejor.2006.06.019.
- Niezwoda, S.L. & Johnson, P.A. 2005, Improving the urban stream restoration effort: Identifying critical form and processes relationships, *Environmental management*, **35**(5), s. 579-592. DOI 10.1007/s00267-004-0088-8.
- Novak, J.M., Busscher, W.J., Watts, D.W., Laird, D.A., Ahmedna, M.A. & Niandou, M.A.S. 2010, Short-term CO₂ mineralization after additions of biochar and switchgrass to a Typic Kandudult, *Geoderma*, **154**(3-4), s. 281-288. DOI 10.1016/j.geoderma.2009.10.014.
- Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M., Rehrh, D., Watts, D.W. & Busscher, W.J. 2009, Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand, *Ann. Environ. Sci.*, **3**(2), s. 195-206.
- Passeport, E., Hunt, W.F., Line, D.E., Smith, R.A. & Brown, R.A. 2009, Field Study of the Ability of Two Grassed Bioretention Cells to Reduce Stormwater Runoff Pollution, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce*, **135**(4), s. 505-510. DOI 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000006.
- Paul, M.J. & Meyer, J.L. 2001, Streams in the urban landscape, *Annual Review of Ecology and Systematics*, **32**, s. 333-365. DOI 10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040.
- Read, J., Wevill, T., Fletcher, T. & Deletic, A. 2008, Variation among plant species on pollutant removal from stormwater in biofiltration systems, *Water research*, **42**(4-5), s. 893-902. DOI 10.1016/j.watres.2007.08.036.
- Roy, A.H., Wenger, S.J., Fletcher, T.D., Walsh, C.J., Ladson, A.R., Shuster, W.D., Thurston, H.W. & Brown, R.R. 2008, Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States, *Environmental management*, **42**(2), s. 344-359. DOI 10.1007/s00267-008-9119-1.
- Salt, D.E., Smith, R.D. & Raskin, I. 1998, *Phytoremediation*.
- Schnoor, J.L., Licht, L.A., McCutcheon, S.C., Wolfe, N.L. & Carreira, L.H. 1995, Phytoremediation of Organic and Nutrient Contaminants, *Environmental science & technology*, **29**(7), s. A323. DOI 10.1021/es00007a002.

- Scott, P. 2008, *Physiology and behaviour of plants*, John Wiley, Hoboken, NJ.
- Tsihrintzis, V.A., Vasarhelyi, G.M. & Lipa, J. 1995, Multiobjective approaches in freshwater wetland restoration and design, *Water International*, **20**(2), s. 98-105. DOI 10.1080/02508069508686457.
- Turk, R.L., Kraus, H.T., Bilderback, T.E., Hunt, W.F. & Fonteno, W.C. 2014, Rain Garden Filter Bed Substrates Affect Stormwater Nutrient Remediation, *HortScience*, **49**(5), s. 645-652.
- Ulrich, B.A., Loehnert, M. & Higgins, C.P. 2017, Improved contaminant removal in vegetated stormwater biofilters amended with biochar, *Environmental Science-Water Research & Technology*, **3**(4), s. 726-734. DOI 10.1039/c7ew00070g.
- Valtanen, M., Sillanpää, N. & Setälä, H. 2017, A large-scale lysimeter study of stormwater biofiltration under cold climatic conditions, *Ecological Engineering*, **100**, s. 89-98. DOI 10.1016/j.ecoleng.2016.12.018.
- van Zwieten, L., Kimber, S., Downie, A., Morris, S., Petty, S., Rust, J. & Chan, K.Y. 2010, A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil, *Australian Journal of Soil Research*, **48**(6-7), s. 569-576. DOI 10.1071/SR10003.
- Winz, I., Brierley, G. & Trowsdale, S. 2011, Dominant perspectives and the shape of urban stormwater futures, *Urban Water Journal*, **8**(6), s. 337-349. DOI 10.1080/1573062X.2011.617828.
- Zhang, D., Gersberg, R.M., Ng, W.J. & Tan, S.K. 2017, Conventional and decentralized urban stormwater management: A comparison through case studies of Singapore and Berlin, Germany, *Urban Water Journal*, **14**(2), s. 113-124. DOI 10.1080/1573062X.2015.1076488.

Hulekas Pot experiment 2016-2018

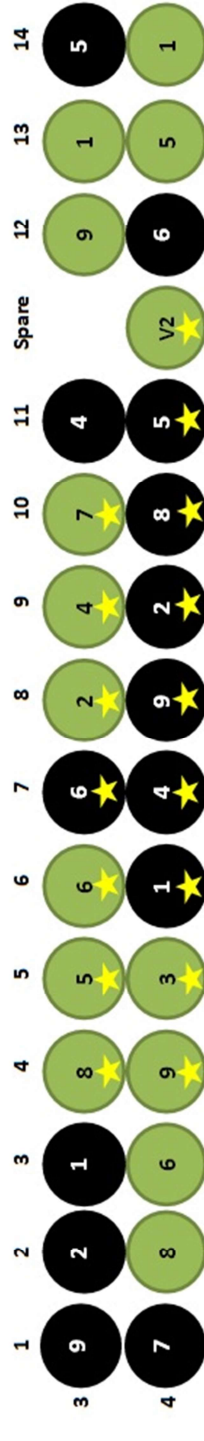
Green = soil 1, no biochar 1
 Black = soil 2, biochar 10 %

Slope



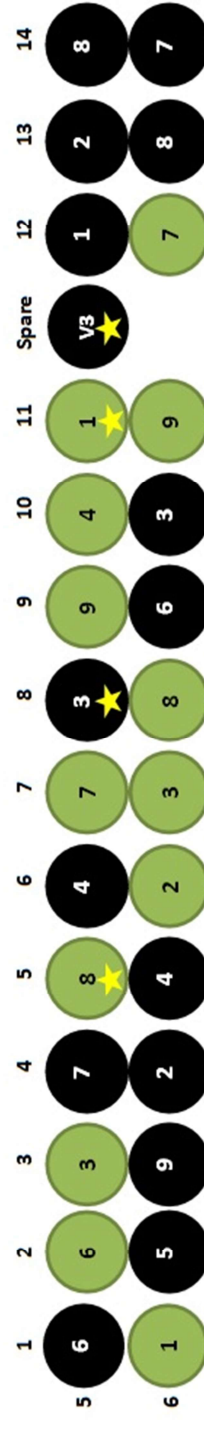
V1: Carex acuta 6 kpl

Isle



V2: no plant

Isle



V3: Calla palustris 7 kpl

☆ = tensiometer

Eurofins Viljavuuspalvelu Oy

PL 500 (Graanintie 7), 50101 MIKKELI s-posti: viljavuuspalvelu@eurofins.fi

VHERRAKENNUK-**MAA-ANALYYSI**

Tilausnumero: 160500031

Näytteennumero: I

Asiakkaan tunnus:

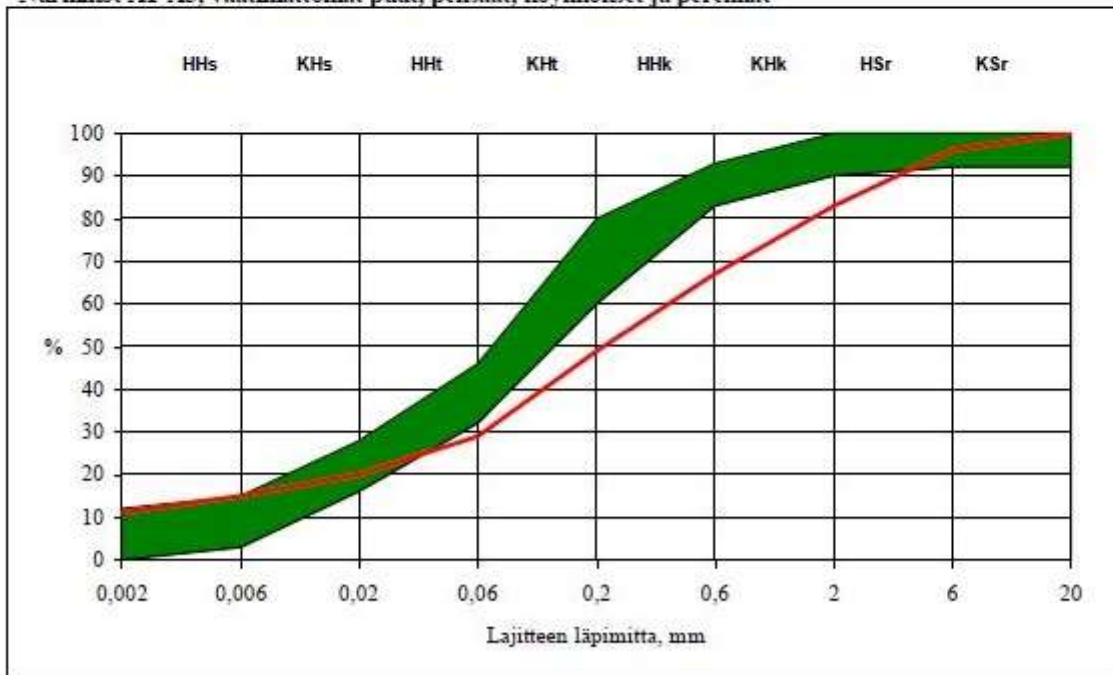
VTS, seossuhde 80 % hiekkaa, 20 % pelti

MEKAANINEN MAA-ANALYYSI

Lajite/läpimitta, mm	Lajitekoostumus, %
Muut yhteensä >yli 20,0 mm	0
Karkea sora (KSr)/6,0 mm-20,0 mm	4
Hieno sora (HSr)/2,0 mm-6,0 mm	13
Karkea hiekka (KHk)/0,6 mm-2,0 mm	16
Hieno hiekka (HHk)/0,2 mm-0,6 mm	18
Karkea hieta (KHt)/0,06 mm-0,2 mm	20
Hieno hieta (HHt)/0,02 mm-0,06 mm	9
Karkea hiesu (KHs)/0,006 mm-0,02 mm	5
Hieno hiesu (HHs)/0,002 mm-0,006 mm	4
Saves (S)/alle 0,002 mm	11
Kaikki yhteensä	100

MEKAANISEN MAA-ANALYYSIN RAKEISUUSKÄYRÄ

Nurmikot A1-A3, vaatinattomat puut, pensaat, köynnökset ja perennat



— Maa-analyysin tulos
 Ohjearvoalue

Menetelmä: Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil.

Tulkinta: Viherympäristöilön kasvualustaryöryhmän suosirukset, 2015.

Eurofins Viljavuuspalvelu Oy

PL 500 (Graanintie 7), 50101 MIKKELI s-posti: viljavuuspalvelu@eurofins.fi

VHERRAKENNUS-

M44-ANALYYSI

Tilausnumero: 160500031

Näytteennumero: 1

Asiakkaan tunnistus:

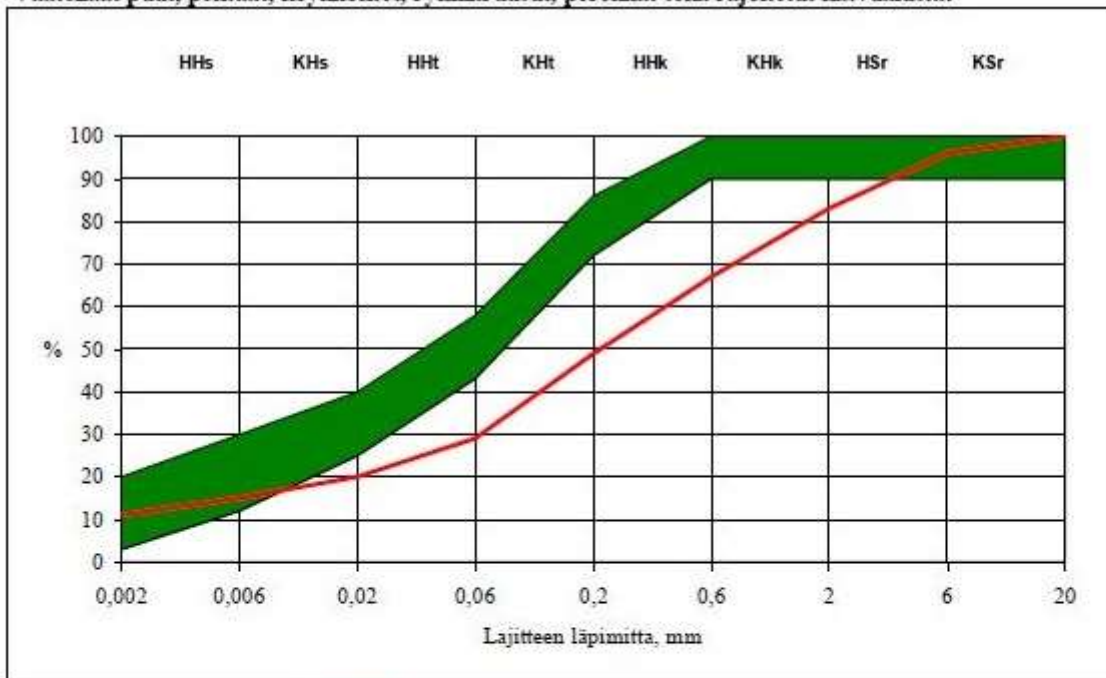
VT8, seossuhde 80 % hiekkaa, 20 % pelti

MEKAANINEN MAA-ANALYYSI

Lajite/läpimitta, mm	Lajitekoostumus, %
Muut yhteensä /yli 20,0 mm	0
Karkea sora (KSr)/6,0 mm-20,0 mm	4
Hieno sora (HSr)/2,0 mm-6,0 mm	13
Karkea hiekka (KHk)/0,6 mm-2,0 mm	16
Hieno hiekka (HHk)/0,2 mm-0,6 mm	18
Karkea hieta (KHt)/0,06 mm-0,2 mm	20
Hieno hieta (HHt)/0,02 mm-0,06 mm	9
Karkea hiesu (KHs)/0,006 mm-0,02 mm	5
Hieno hiesu (HHs)/0,002 mm-0,006 mm	4
Saves (S)/alle 0,002 mm	11
Kaikki yhteensä	100

MEKAANISEN MAA-ANALYYSIN RAKEISUUSKÄYRÄ

Vaateلياat puut, pensaat, köynnökset, ryhmäruusut, perennat sekä rajoitetut kasvialustat



Menetelmä: Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil.

Tulkinta: Viherympäristöliiton kasvualustaryöryhmän suositukset, 2015.

Eurofins Viljavuuspalvelu Oy

PL 500 (Graaninrte 7), 50101 MIKKELI s-posti: viljavuuspalvelu@eurofins.fi

VIERERAKENNUK-

MAA-ANALYYSI

Tilausnumero: 160500031

Näyttenumero: 1

Asiakkaan tunnus:

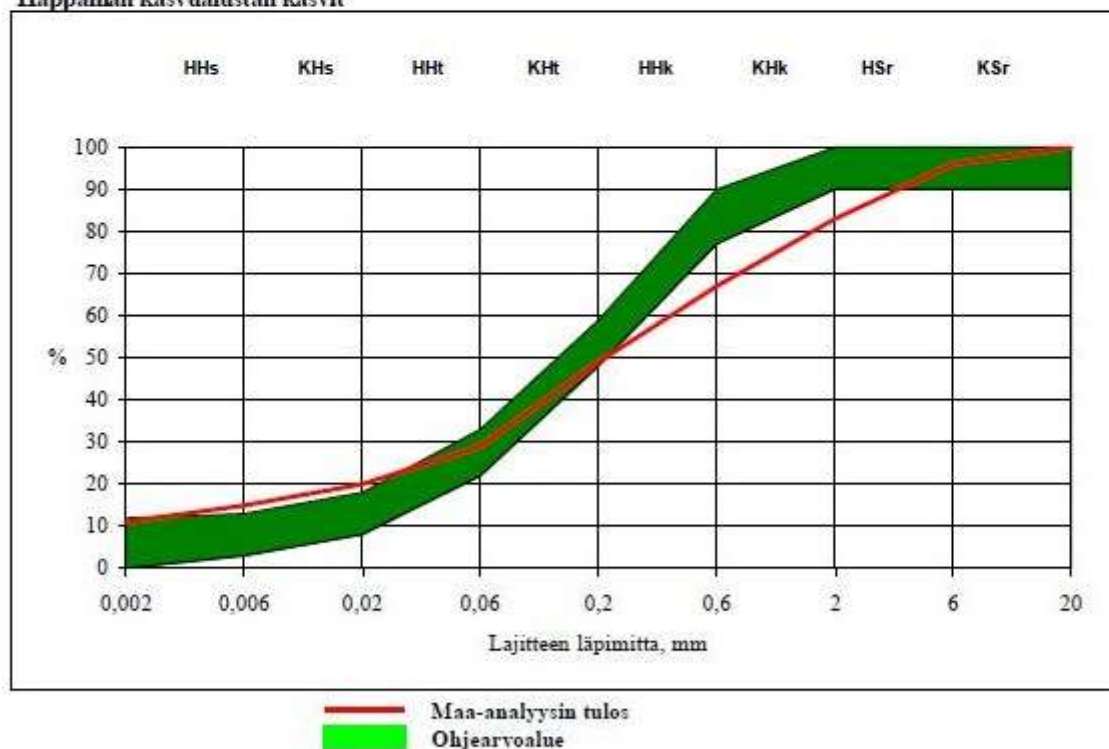
VT8, seossuhde 80 % hiekkaa, 20 % pelti

MEKAANINEN MAA-ANALYYSI

Lajite/läpimitta, mm	Lajitekoostumus, %
Muut yhteensä /yli 20,0 mm	0
Karkea sora (KSr)/6,0 mm-20,0 mm	4
Hieno sora (HSr)/2,0 mm-6,0 mm	13
Karkea hiekka (KHk)/0,6 mm-2,0 mm	16
Hieno hiekka (HHk)/0,2 mm-0,6 mm	18
Karkea hieta (KHt)/0,06 mm-0,2 mm	20
Hieno hieta (HHt)/0,02 mm-0,06 mm	9
Karkea hiesu (KHs)/0,006 mm-0,02 mm	5
Hieno hiesu (HHs)/0,002 mm-0,006 mm	4
Saves (S)/alle 0,002 mm	11
Kaikki yhteensä	100

MEKAANISEN MAA-ANALYYSIN RAKEISUUSKÄYRÄ

Happaman kasvualustan kasvit



Menetelmä: Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil.

Tulkinta: Viherympäristöilön kasvualustaryhmän suosinukset, 2015.

Eurofins Viljavuuspalvelu Oy

PL 500 (Graanintie 7), 50101 MIKKELI s-posti: viljavuuspalvelu@eurofins.fi

VIHERRAKENNUS-

MAA-ANALYYSI

Tilusnumero: 160500031

Näyttenumero: 1

Asiakkaan tunnus:

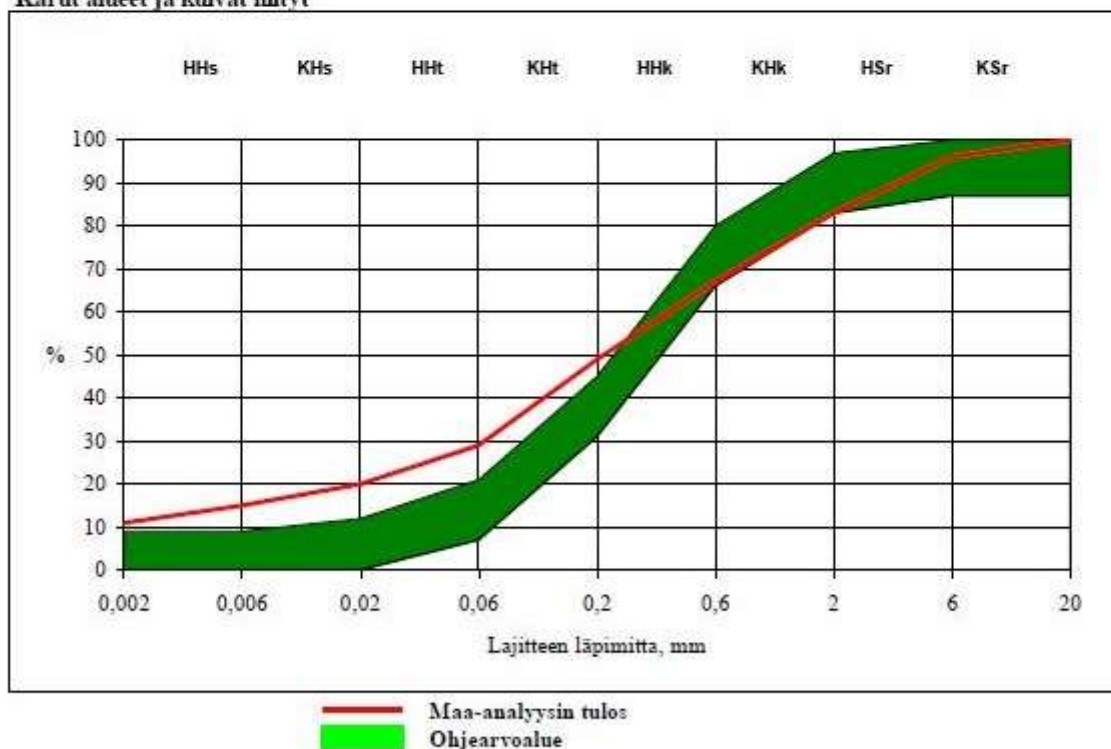
VT8, seossuhde 80 % hiekkaa, 20 % pelti

MEKAANINEN MAA-ANALYYSI

Lajite/läpimitta, mm	Lajitekoostumus, %
Muut yhteensä /yli 20,0 mm	0
Karkea sora (KSr)/6,0 mm-20,0 mm	4
Hieno sora (HSr)/2,0 mm-6,0 mm	13
Karkea hiekka (KHk)/0,6 mm-2,0 mm	16
Hieno hiekka (HHk)/0,2 mm-0,6 mm	18
Karkea hieta (KHt)/0,06 mm-0,2 mm	20
Hieno hieta (HHt)/0,02 mm-0,06 mm	9
Karkea hiesu (KHs)/0,006 mm-0,02 mm	5
Hieno hiesu (HHs)/0,002 mm-0,006 mm	4
Saves (S)/alle 0,002 mm	11
Kaikki yhteensä	100

MEKAANISEN MAA-ANALYYSIN RAKEISUUSKÄYRÄ

Karut alueet ja kuivat näyt



Menetelmä: Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil.

Tulkinta: Viherympäristöilön kasvualustaryöryhmän suositukset, 2015.

Kuntec Oy

Marjo Kastu

Rieskalähteentie 78

20300 TURKU

FINLAND

s-posti Marjo.Kastu@Kuntec.fi



Tutkimustodistus AR-16-FV-002096-01

Näyttenumero 504-2016-00004036

Tutkimusno EUFIMI-00003260

Asiakasno FV0003467

Tutkimuksen yhteyshenkilö : Kalevi Koivunen			
Tutkimusno	504-2016-00004036/ AR-16-FV-002096-01		
Näytteen tiedot:	VT8		
Saapumispvm :	31.5.2016 00:00:00	Tutkimus alkoi :	1.6.2016
Pyydetty analyysit :	PFVT1; Kasvualusta-analyysi (lannoitelain mukaan)		
Saapunut	31.5.2016 00:00:00		

Maanparannusaineet	Tulos
FVT32 FV Vesiliukoinen tyyppi (N) Menetelmä : EN 13652	
Tyyppi (N), vesiliukoinen	0.03 g/kg ka
Tyyppi (N)	0,021 kg/l
Tyyppi (N)	0.03 kg/m ³
FVT95 FV Fosfori (P), liukoinen Menetelmä : EN 13651	
Fosfori (P), liukoinen (CAT)	2.3 mg/kg ka
Fosfori (P)	2.0 g/l
Fosfori (P)	2.4 g/m ³
FVT94 FV Kallium (K), liukoinen Menetelmä : EN 13651	
Kallium (K), liukoinen (CAT)	40 mg/kg ka
Kallium (K)	34 g/l
Kallium (K)	42 g/m ³
FVT19 FV CENpH Menetelmä : EN 13037	
pH, happamuus (1:5)	5,7
FVT20 FV Johtokyky Menetelmä : EN 13038	
Johtokyky (1:5)	3,8 mS/m
FVT13 FV Kuiva-aine ja kosteus Menetelmä : ISO 6496:1999	
Kuiva-aine	85,7 %
Kosteus	14,3 %
FVT15 FV Hehkutushäviö ja tuhka Menetelmä : EN 13039	
Tuhka	98,9 % ka
Hehkutushäviö	3,1 % ka
FVT21 FV Tilavuuspaino, CEN Menetelmä : EN 13040	
Tilavuuspaino	1200 kg/m ³ v

ALLEKIRJOITUS


Sinikka Rajamäki
ASM ja laatuspälkkö

Tutkimustodistus on sähköisesti hyväksytty.

Huomautukset

Asiakirjojen osittainen kopioiminen on kielletty. Testaustulos koskee vain tutkittua näytettä. Lausunto ei kuulu akkreditoinnin piiriin. Akkreditoituidut menetelmät on arvioitu tutkimuksen suorittaneen laboratorion oman maan akkreditointielimen toimesta. Tämä tutkimustodistus on luotu sähköisesti ja se on tarkastettu ja hyväksytty. Mittausepävarmuuksien osalta lisätietoja saatavilla pyydettäessä.

= tulos poikkeaa viitearvosta

[] = Mahdolliset viitearvot ovat tuloksen perässä hakasuluissa.

FV = Analysoiva laboratorio on Eurofins Viljavuuspalvelu (Mikkeli).

Eurofins Viljavuuspalvelu Oy

FI-50101 Mikkeli
FINLANDpuhelin +358 15 320 400
Fax +358 15 225 205
viljavuuspalvelu@eurofins.fi
www.eurofins.fi
www.viljavuuspalvelu.fi
www.markkarteringstjanst.fi

FINAS
Finnish Accreditation Service
T096 (EN ISO/IEC 17025)

Liite 4

Charcoal Finland Oy:n hiili. Määrytykset 2014 ja 2015. Kaikissa määrytyksissä 2 toistoa.

Elan 6000 ICP-MS, näytteiden esikäsitely MARS 6 mikroaaltomärkäpolttolaitteistolla, carbon-menetelmällä, 0,1 g näytettä + 10 ml väk. HNO₃

	m(dry weight)	Cd-112	Al	Co	Cr-53	Cu	Mn	Ni	Fe-57	Zn-66	P	As	Se	Pb-sum	Be
	mg	mg/kg dw	mg/kg dw	mg/kg dw	mg/kg dw	mg/kg dw	mg/kg dw	mg/kg dw	mg/kg dw	mg/kg dw	mg/kg dw	mg/kg dw	mg/kg dw	mg/kg dw	mg/kg dw
LOQ*		0,549	300	4,31	17,3	11,9	4,99	13,4	64,2	106	104	8,03	2,44	3,15	0,352
	101,9	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	170	<LOQ	3100	<LOQ	330	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ

ka	tuhkapitoisuus %	pH	N %	C %	C/N	Tilavuuspaino g/L	BET-pinta-ala m ² /g
0,96	1,41 %	6,6	0,43	865	2012	269,35	7

Menetelmät

Kuiva-aine: 50 g maata 105 °C, 24 h (Standard ASTM D2216, ASTM, 2010).

Tuhkapitoisuus (4 h, 550 °C; Radojević and Bashkin, Tuhkapitoisuus hehkutushäviönä 2006)

N ja C: määrittäminen hiilimurskasta Leco C/N/S-analysaattorilla

pH: 1:5 (v/v) maa:tislattu vesi

Liite 5

Lannoitus (g)	** N-tot	NO ₃ -N	** NO ₂ + NO ₃ - N	** NH ₄ -N	NH ₂ -N	** P-tot	** PO ₄ -P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Ntot*	Ptot*
Kevätlannoitus, viikko 18	1,909	0,759		1,150		0,805		3,036	1,380	0,621	1,725	0,009	0,005	0,014	0,044	0,0003	0,007		
Koekastelu, viikko 27	0,029	0,025	0,023	0,004	0,001	0,024	0,024	0,128		0,009	0,025	0,0001	0,0001	0,001	0,0003	0,0000	0,0001	1,938	0,829
Lannoitus, viikko 28	3,133	2,660		0,352	0,120	2,160		10,274	0,891	0,687	2,034	0,012	0,005	0,057	0,027	0,002	0,010		
Koekastelu, viikko 33	0,032	0,025	0,024	0,005	0,001	0,025	0,025	0,128		0,009	0,025	0,0001	0,0001	0,001	0,0003	0,0000	0,0001	5,103	3,014
Lannoitus, viikko 33	3,133	2,660		0,352	0,120	2,160		10,274	0,891	0,687	2,034	0,012	0,005	0,057	0,027	0,002	0,010		
Koekastelu, viikko 39	0,032	0,025	0,024	0,005	0,001	0,025	0,025	0,128		0,009	0,025	0,0001	0,0001	0,001	0,0003	0,0000	0,0001	8,267	5,199
Lannoitus, viikko 39 tai 40	3,133	2,660		0,352	0,120	2,160		10,274	0,891	0,687	2,034	0,012	0,005	0,057	0,027	0,002	0,010		
Yhteensä:	11,40	8,81	0,07	2,22	0,37	7,36	0,07	34,24	4,05	2,71	7,90	0,04	0,02	0,19	0,13	0,01	0,04		

* Koekasteluun mennessä annetut ravinteet

** Laskettu laboratoriotulosten perusteella

Muut luvut laskettu lannoitepakkausten tietojen mukaan