



# RIESASTA RESURSSIKSI

## hulevesien hallinta kasvien ja kasvualustojen avulla

TURUN YLIOPISTO  
Biologian laitos  
MARIKA KARULINNA  
Riesasta resurssiksi –  
hulevesien hallinta kasvien  
ja kasvualustojen avulla  
Pro gradu tutkielma  
Ekologia  
Tammikuu 2020

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu  
Turnitin Originality Check -järjestelmällä.

TURUN YLIOPISTO

Biologian laitos

MARIKA KARULINNA, Riesasta resurssiksi – hulevesien hallinta kasvien ja kasvualustojen avulla

Pro gradu tutkielma, 50 s, 1 liite

Ekologia

Tammikuu 2020

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -järjestelmällä.

---

Hulevedet ovat tiivistyvässä kaupunkirakenteessa koko ajan kasvava huolenaihe, johon halutaan vaikuttaa kestäväillä ja edullisilla ratkaisuilla. Hulevesistä muodostuu ongelma yleensä vain kaupunkialueilla, joissa läpäisevää pintaa on vähän sataneeseen vesi- ja lumimäärään nähden. Kun vesi ei pääse imeytymään maahan, se tulvii kaduille ja saattaa kuormittaa tarpeettomasti viemäriverkostoa. Hulevesiasiat ja hydrologinen kierto ovat myös ilmastonmuutoksen vaikutuspiirissä, ja hulevesien kestävä hallinta on näin ollen myös ilmastonmuutokseen ja sen seurauksiin varautumista. Hulevesien määrän lisäksi ongelmana on myös vesimassojen vesistöihin mukanaan kuljettamat ravinteet ja epäpuhtaudet.

Vuosina 2016-2018 tutkittiin Luonnonvarakeskuksen astiakokeessa, miten hulevesien määrään ja ravinnepitoisuuteen voidaan vaikuttaa istutusten kasvilajivalinnoilla ja viherrakentamisessa käytettävien kasvualustojen avulla. Tutkimuksessa oli mukana seitsemän eri kasvilajia, nurmiso ja pelkkä kasvialusta. Kasvialustoja oli kaksi; hiekkapitoinen ja vähäravinteinen kasvialusta, ja sama kasvialusta, johon oli sekoitettu biohiiltä. Tutkittavia astioita oli yhteensä 90 kappaletta. Hulevesikastelut toteutettiin matalaravinteisella keinohulevedellä kahdesti kesän 2018 aikana; kasvukauden alkupuolella ja loppuun.

Tulokset ovat lupaavia varsinkin hulevesimäärien osalta. Rantatyräkki, viiltosara ja korpikaisla käyttivät vettä erittäin tehokkaasti, ja valumamäärät jäivät hyvin pieniksi. Ravinteiden osalta tulokset vaihtelivat. Kaikki lajit pidättivät fosforia hyvin, ja myös biohiilen havaittiin vaikuttavan fosforipäästöihin merkittävästi. Typen osalta eroja oli lajien ja kasteluajankohtien välillä, kaikkien lajien kyky pidättää typpeä oli parempi kasvukauden loppupuolella.

Muutamien yksittäisten lajien perusteella ei voida antaa yleispäteviä ohjeita hulevesikohteiden viherrakentamiseen. On kuitenkin perusteltua suositella kiinnittämään huomiota kasvilajivalintoihin, sillä alueilla, joilla hulevesikuormitus on suurta, vesi-intensiivisten lajien käyttö on järkevää. Biohiilen käyttö maanrakennuksessa on perusteltua sellaisissa kohteissa, joissa fosforin ja liikennepäästöjen pitoisuus hulevesissä on suuri. Varmaa on kuitenkin, että viherrakentaminen tarjoaa paljon mahdollisuuksia hulevesiongelmiin ratkaisuuksiin.

Asiasanat: Hulevesi, viherrakentaminen, kaupunkiekologia, ilmastonmuutos, varautuminen

# Sisällysluettelo

Käsitteet.....	4
1 Johdanto.....	5
1.1 Mitä hulevesi on .....	5
1.2 Hulevesien hallinnan menetelmät.....	6
1.3 Hulevesien uudet tuulet.....	9
1.4 Hulekas- hanke .....	11
1.5 Tutkimuskysymykset .....	11
2 Aineisto ja menetelmät.....	13
2.1 Koejärjestely .....	13
2.2 Kokeen seuranta .....	16
2.3 Hulevesikastelut kaksi kertaa kesässä .....	18
2.4 Näytteenotto ja laboratorioanalyysit.....	19
2.5 Tilastolliset analyysit.....	20
3 Tulokset .....	22
3.1 Veden määrän hallinta .....	22
3.2 Typen kuormituksen vähentäminen.....	23
3.3 Fosforikuormituksen hallinta.....	26
3.4 Typpi-fosforisuhde.....	28
3.5 Happamuus.....	30
3.6 Kasvualustan ravinnepitoisuus .....	32
3.7 Biohiilen vaikutukset kasvustoon .....	33
4 Tulosten tarkastelu.....	35
4.1 Aiemmat tutkimukset.....	35
4.2 Omat tulokset.....	37
4.3 Yhteenveto.....	44
Lähteet.....	46
Liitteet.....	50

# KÄSITTEET

BAT (Best Available technology): Paras käytettävissä oleva teknologia

Biohiili (engl. biochar): Pyrolyysilla eloperäisestä aineksesta valmistettua hiiltä. Biohiilen ominaisuudet vaihtelevat käytetyn aineksen ja pyrolyysin lämpötilan mukaan.

Biopidätys (engl. bioretention): Kasvillisuudesta ja maa-aineksista koostuva rakennelma, joka pidättää hulevesiä. Myös suure, joka tarkoittaa tehokkuutta, jolla biologisesti aktiivinen, siis esimerkiksi kasvipeitteinen alue vähentää huleveden valumaa (Zhang and Zhang, 2014).

Biosuodatus (engl. biofiltration): Kasvillisuudesta ja maa-aineksista koostuva rakennelma, joka puhdistaa hulevesiä.

BMP (Best management practices): Hulevesiin liitettynä parhaiden käsittelykäytäntöjen määrittelyssä otetaan huomioon sekä veden määrä että laatu.

Hulevesi: Rakennetulla alueella maan pinnalle, rakennuksen katolle tai muulle pinnalle kertyvää sade- tai sulamisvettä (Valtioneuvosto, 2001).

Hydrologisesti kestävä kaupunkisuunnittelu (WSUD- Water sustainable urban design): Kestävää vesitaloutta ajatellen suunniteltu kaupunkikohde, jossa saadaan mm. ekosysteempipalvelu- ja virkistysyötyjä vesitaloudellisten toimintojen ohella.

Kasvualusta: Erilaisten raekokojen, orgaanisten ja epäorgaanisten maa-ainesten ja mahdollisesti muiden aktiivisten materiaalien seos, johon kasveja voidaan istuttaa.

Musta jätevesi: Sellaista jätevettä, jossa on seassa käymälävesiä.

Ravinnevuoto (engl. leaching): Ilmiö, jossa kasvualustasta vuotaa suotoveteen enemmän ravinteita, kuin sinne on päästetty. Koskee etenkin typpeä.

Sadevesipuutarha (engl. raingarden): Viherkohde, joka on suunniteltu siten, että ulkopuolista kastelua ei tarvittaisi, vaan sadevesi kerätään ja siirretään hyötykäyttöön esimerkiksi hyöty- ja puutarhakasveille.

Suotovesi: Vesi, joka on läpäissyt suodatinmateriaalin ja/tai kasvualustan.

Tensiometri: Laite, jolla mitataan kasvualustan kosteuden muutoksia alipaineen avulla.

Viherkatto: Kattorakenne, johon on yhdistetty kasvualusta ja kasvipeite.

Virtaama: Uoman tai pinnan päällä kulkeva vesimäärä. Virtaama kasvaa sademäärän kasvaessa ja läpäisemättömän pinnan kasvaessa.

# 1 JOHDANTO

Kasvipeitteisyyteen perustuvat viherrakentamisen ratkaisut tarjoavat erilaisia ekosysteemipalveluita, tai ainakin mahdollisuuksia edistää monimuotoisesti toimivaa ekologiaa, erilaisia habitaatteja, sekä kehittää muita urbaaneja ekosysteemipalveluita, kuten asukasviihtyvyyttä, väestön terveyttä, veden- ja ravinteiden kiertoa, lämpötilan säätelyä ja mikroilmaston hallintaa. (Faehnle, Bäcklund and Laine, 2009; Suomen ympäristökeskus, 2016; European Environment Agency, 2019; Laatikainen, 2019). Kaupunkiolosuhteissa pienikin viheralue voi tarjota myös taloudellisesti arvokkaita ratkaisuja, sillä harva rakennettu ympäristö toimii yhtä monimuotoisesti hyvinvointia edistävällä tavalla kuin viheralue (Faehnle, Bäcklund and Laine, 2009). Viherrakentamisen potentiaali hulevesien käsittelyssä ja hyödyntämisessä on vielä harvoin valjastettu täysin käyttöön, vaikka hulevesien hallintaan on alettukin kiinnittää entistä enemmän huomiota. Tämä on havaittavissa esimerkiksi nousevana trendinä, jossa hulevesien käsittelystä on alettu monessa kaupungissa ja kunnassa periä kiinteistöiltä hulevesimaksuja (Pantsu, 2018).

Huleveden haitta-ainepitoisuuksista johtuen ruuan tuotanto hulevesikohteissa ei ole välttämättä mahdollista, mutta hulevesiä hallitsemalla on mahdollista ylläpitää luontaista vesitasapainoa laajemmalla alueella. Hulevesiin on pitkään suhtauduttu pakollisena pahana, mutta niihin voidaan suhtautua myös resurssina, jonka avulla voidaan luoda kaupunkiin vihreyttä, viihtyisyyttä ja ekologista monimuotoisuutta.

## 1.1 Mitä hulevesi on

Hulevesi liitetään mielikuvissa useimmiten nimenomaan kaupunkiin, sillä tiiviisti rakennetussa kaupungissa vettä läpäisemätöntä pintaa on paljon, ja pintaa pitkin liikkuvaa vettä on voimakkaiden sateiden aikaan paljon. Kaupunkitulvien mukana hulevedet huuhtovat kuitenkin mukanaan kaiken irtonaisen aineksen, aina roskista maa-ainekseen ja liikenteen päästöistä lemmikkien jätöksiin (Carpenter *et al.*, 1998).

Hulevesien käsittely kannattaa pääsääntöisesti eriyttää muiden jätevesien käsittelystä, sillä hulevesi on kuitenkin varsin vähäravinteista, ja sen mukana kulkeutuvat jäämät verrattain pieniä. Toisaalta hulevesien käsittely onnistuu kevyemmällä teknologialla kuin erittäin ravinteikkaiden ja mikrobiologisesti riskialttiiden, mustien jätevesien käsittely (Komulainen, 2018). Voidaankin ajatella, että jätevesilaitosten kapasiteettia on tarpeetonta tuhlata hulevesien käsittelyyn, kun kapasiteetti on paikoitellen jo valmiiksi riittämätön. Sen sijaan hulevesien käsittelyyn paikan päällä on järkevää panostaa, sillä poistamalla hulevesistä vähäisetkin ravinteet ja ympäristölle haitalliset jäämät, voidaan vaikuttaa esimerkiksi paikalliseen vesistöjen rehevöitymiseen (Carpenter *et al.*, 1998).

## 1.2 Hulevesien hallinnan menetelmät

Hulevesien käsittelyyn ja hallintaan on muutamia vakiintuneita tapoja, ja niiden tehokkuus vaihtelee alueellisesti. Niiden luokittelua, käyttöä ja arviointia on tarkasteltu kattavasti, mutta melko yleisellä tasolla EU:n laajuisesti DayWater-hankkeessa (DayWater Consortium, 2003). Haja-asutusalueilla läpäisemätöntä pintaa on harvoin niin paljon, että erityisiä järjestelyjä tarvitsisi tehdä, mutta kaupunkialueilla Suomessa käytetään sadevesiviemäreitä sekä veden johtamista suoraan avo-ojiin ja vesistöihin. Avo-ojat ovat uomia, joita hoidetaan satunnaisilla avaamisilla, ja muutoin kasvusto saa rehottaa. Tällaisen ratkaisun ensisijainen tarkoitus on johdattaa vesi nopeasti pois sieltä, mihin se laskeutuu. Ojissa ja puroissa saattaakin sateiden aikana virrata suurtenkin alueiden vesimäärä, ja vaihtelut virtaamassa voivat olla melkoisia. (Kuntaliitto.fi, 2015). Virtaava vesi kuljettaa yleensä mukanaan kiintoainesta, jonka vaikutukset lähivesistöjen vedenlaatuun voivat olla suuria. (Bilotta and Brazier, 2008). Eroosion vaikutukset kertautuvat, ja aiemmin kasvipeitteisestä purosta voi hävitä kasvillisuus, penkereet saattavat sortua, ja yleensä uomat syvenevät. Tämä johtaa siihen, että ennen pitkää vesi virtaa entistä suuremmalla voimalla. (Vakkilainen, Kotola and Nurminen, 2005).

Ojista ja puroista hulevedet päätyvät käsittelemättöminä, ravinteineen, roskineen ja kiintoaineksineen suoraan vesistöihin, ja useimmiten myös

sadevesiviemäreiden purkupaikka on vesistö. Paikoitellen myös hulevedet on voitu johtaa samaan viemäriin muiden jätevesien kanssa. Rankkojen sateiden aikana jätevesiviemäreiden kapasiteetti voi osoittautua kuitenkin turhan pieneksi, ja järjestelmä vuotaa yli. Tällaisissa tilanteissa vesistöihin pääsee suoraan käsittelemätöntä mustaa jätevettä, joka on kemialliselta ja mikrobiologiselta laadultaan huomattavasti huonompaa kuin käsittelemätön hulevesi. Pirkanmaalla selvitettiin ylivuotojen ja puhdistamon ohitusten yleisyyttä, ja jätevesipäästöjä tapahtuu Pirkanmaalla jopa kuukausittain. (Siintoharju, 2016). Kaupungin väkimäärän ja vedenkäytön lisääntyessä tilanne voi päästä kroonistumaan, jos viemäriverkkoa kuormitetaan myös sadevesillä. Nykyaikaisessa suunnittelussa panostetaan parhaaseen mahdolliseen, käytettävissä olevaan teknologiaan (BAT) ja parhaisiin tunnettuihin käytäntöihin (BMP).

Hulevesiä voidaan kuitenkin myös imeyttää maaperään, mikä edellyttää läpäisevää pintaa ja riittävän karkearakenteista maata imeytyskohtaa laajemmalla alalla, jotta vesi pääsee leviämään maaperässä. Tässä tapauksessa kaupungin pinnan alla oleva maa-aines huokosineen toimii vesivarastona, josta se siirtyy luonnollisesti pois. (Vakkilainen, Kotola and Nurminen, 2005). Pohjoisissa oloissa, missä läpäisevä pintamaa jäätyy, tai kaupungeissa, joissa tiivis rakentaminen on ulotettu syvälle maan alle, tällaista ratkaisua voi olla vaikea toteuttaa. Vettä voidaan kyllä pienissä yksiköissä ja pieniä määriä saada varastoitua jopa tarkoitusta varten rakennettuihin säiliöihin, mutta yksinään kapasiteetti ei välttämättä riitä suuren ja tiiviin kaupunkirakenteen tarpeisiin.

Sadevettä voidaan myös viivyttää matkalla, jotta se ei pääsisi aiheuttamaan ainakaan yhtä voimakasta tulvaa. Ajattelussa täytyy siis tehdä täyskäännös perinteiseen viemärointiin nähden – sen sijaan, että vesi virtaisi mahdollisimman vauhdilla pois, sen halutaan virtaavan hitaasti ja viettävän paikallaan mahdollisimman pitkään. Viivytyksratkaisuja ovat esimerkiksi erilaiset kosteikot ja vesielementit, joissa vesi virtaa luonnollisissa, kasvipeitteisissä ja mutkitteluvoimissa, ja kerääntyy välillä seisomaan esimerkiksi patoaltaisiin. (Kuntaliitto.fi, 2015).

Myös viherkatot ovat osittain viivytysratkaisu, jossa kasvit ja niiden kasvualusta hyödyntävät vettä ja hidastavat sen valumista alas, jolloin katualueille tuleva vesimäärä ei välttämättä olennaisesti laske, mutta virtaaman huippu on matalampi ja kestoaltaan hieman pidempi, mikä mahdollistaa viemäriverkoston jatkuvan toiminnan ilman ylivuotoja. Patoaltaat ja maa-aineksen läpi virtaaminen paitsi hidastaa, myös mahdollistaa ravinteiden ja kiintoaineksen vähentymisen. Patoaltaissa kiintoaines ja siihen sitoutuneet ravinteet laskeutuvat altaan pohjalle, ja koska vesi virtaa hitaammin, eroosiovaikutus on muutenkin pienempi. Massan läpi virtaavan veden puhdistaa maarakeiden pinnalla oleva mikrobisto, joka käyttää kiintoainesta ja ravinteita ravintonaan. Samaa menetelmää käytetään yleisesti vedenpuhdistamoissa, ja yleisesti puhdistuminen on tehokkainta, kun virtaama pysyy tasaisena (Blecken *et al.*, 2009).

Vettä voidaan ohjata oja-, putki- ja pinnanmuotoratkaisuilla hyötykäyttöön, esimerkiksi kaupunkien virkistysalueiden, katupuiden tai hyötypuutarhojen kasteluun. Tässä ratkaisussa hulevesi nähdään ongelman sijaan resurssina, ja menetelmässä pyritään yhdistämään kaikkien edellä mainittujen tapojen hyvät puolet. Kokonaisvaltaisesti suunnitellut sadevesipuutarhat mahdollistavat sen, että vesimäärät eivät liiku pitkiä matkoja pintavaluntana, vaan mahdollisimman suurelta osin maakerrosten sisällä, josta soveltuva kasvillisuus hyödyntää parhaassa tapauksessa vedessä olevat ravinteet ja sitoo haitallisia aineita (Vakkilainen, Kotola and Nurminen, 2005).

Biopidätys ja hydrologisesti kestävä kaupunkiratkaisut ovat osa uudenlaista ajattelutapaa, jossa hulevedet halutaan nähdä ongelman sijaan resurssina ja mahdollisuutena. Biosuodatuksella pyritään vaikuttamaan ennen kaikkea veden kemialliseen ja myös mikrobiologiseen laatuun. Hydrologisesti kestävä kaupunkisuunnittelun tavoitteena on toteuttaa veden kannalta kestävästi, älykkäästi ja tehokkaasti rakennettuja urbaaneja kohteita. Kohde voi olla pinta-alaltaan pieni tai suuri, pääasia on, että sen suunnittelussa on huomioitu veden kierto ja pyritty sen tehokkaaseen käyttöön (Hoyer *et al.*, 2010).

Ekosysteemipalveluiden kustannuksia on laskettu useissakin tutkimuksissa, mutta laskentaperusteet vaihtelevat. Suomessa tehdyssä arviossa läpäisevät



alueet tiiviisti rakennetussa kaupunkiympäristössä ovat myös kustannusnäkökulmasta kannattavampi valinta, kuin perinteisen hulevedenpoistoinfrastruktuurin rakentaminen. Lisäksi tutkimuksessa todetaan, että ekosysteemipalveluiden arvo kasvaa, mitä tiiviimpi kaupunkiympäristö palvelua ympäröi. (Silvennoinen *et al.*, 2017).

On resurssitehokasta ja ennakoivaa yrittää ehkäistä hulevesitulvat sen sijaan, että niitä pyritäisiin hallitsemaan. Suomen olosuhteissa ja keväisin, ennen kunnollista kasvukauden alkua tämä on suunnittelullisesti haastavampaa kuin maissa, joissa kasvipeite on vihreä ympäri vuoden. Toisaalta harvaan rakennetussa Suomessa tilaa vievien ratkaisujen sijoittaminen ympäristöön voi olla helpompaa, ja hyödyt esimerkiksi uhanalaiselle lajistolle voivat olla merkittäviä (Hassall and Anderson, 2014). Esimerkiksi kosteikot maatalousvaltaisilla alueilla ovat jo osoittaneet voimansa paikallisen rehevöitymisen hallinnassa (WWF Suomi, 2013), ja niillä viihtyvät esimerkiksi monet lintulajit. Varsinais-Suomalainen kosteikkojen menestystarina on Littoisissa sijaitseva Järvelän kosteikko, jolla on havaittu jopa 163 lintulajia (Kaarinan kaupunki, 2019).

### 1.3 Hulevesien uudet tuulet

Hulevedet ovat aiheena ajankohtainen, sillä monissa suurkaupungeissa tulvaongelmia on jo nykyisellään, eivätkö ongelmat tule todennäköisesti helpottamaan ilman toimia kaupunkien tiivistyessä entisestään. Lisäksi yleisesti otaksutaan ja ollaan yhtä mieltä siitä, että ilmastonmuutos lisää tulvia ainakin useissa Euroopan valtioissa. Tähän on pyritty vaikuttamaan ja varautumaan EU:n tulvadirektiivin (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2007) ja sitä seuranneen, kansallisen lainsäädännön (Valtioneuvosto, 2010) avulla. Tähän mennessä on keskitytty tulviin varautumiseen ja tietoisuuden lisäämiseen (Suomen ympäristökeskus, 2017), mutta yhä enemmän keskustelussa on ollut esillä tulvien ennaltaehkäisy, jota hulevesien hallinnalla voidaan edistää. Varsinkin alueilla, joilla tulvat aiheutuvat rankoista sateista, hulevesien hallinnalla voi olla suuri merkitys. (Euroopan komissio, 2015).

Ilmastonmuutoksen myötä myös kuivuuden odotetaan eräillä alueilla lisääntyvän, mikä tarkoittaa sitä, että vedestä voi myös Euroopassa ajoittaista pulaa. Vesipuidedirektiivin määritelmässä linjataan esimerkiksi, että vesi on perintö, jota tulee sellaisenaan suojella. Määritelmän mukaan vesihuolto on yleishyödyllinen palvelu. Vesipuidedirektiivin tarkoituksena on suojella kaikkien vesien hyvää tilaa, niin kemiallisesti kuin ekologisestikin. (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2000). Direktiivin ensisijainen tarkoitus ohjata panostamaan yhteisöjen juoma- ja kasteluveden saantiin jo nyt, kun ongelmat eivät ole vielä eskaloituneet. Toimivat hulevesiratkaisut voivat auttaa pidättämään vettä siellä, missä sitä eniten tarvitaan. Jos hulevesiä saadaan pidätettyä esimerkiksi kosteikoissa ja keinotekoisissa varastoissa, viljelyksien kuivumista voidaan saada viivytettyä, ja keinokastelun tarve vähenee.

Toisaalta vesipuidedirektiivi on myös luotu takaamaan, että vesiekosysteemit ja hydrologinen kierto toimivat myös tulevaisuudessa, ja vesien mahdollistama tuotanto, ekologiset arvot ja elinympäristöt säilyvät. Hulevesien hallinta, käsittely ja hyötykäyttö ovat suoraan linjassa direktiivin mukaisen pintavesien hyvän laadun tavoittelun kanssa, sillä ravinteiden pidättäminen ehkäisee rehevöitymistä niin pinta- kuin pohjavesissä. Hulevesiratkaisuista saadaan hyvällä suunnittelulla myös ekologisesti monimuotoisia vihervirkistysalueita, joissa vaihtelevaa veden pinnan korkeutta voidaan hyödyntää erilaisten viherrakennusratkaisujen avulla. Koska vesi pyritään hyötykäyttämään paikallisesti, vesistöön tulee huomattavasti pienempi pistekuormitus ja pintavalunta, minkä tulisi puolestaan vaikuttaa positiivisesti pintavesien laatuun (Carpenter *et al.*, 1998). Pohjavesien osalta oikein ohjatut hulevesiratkaisut voivat myös edistää pohjavesivarantojen uudistumista ja ehkäistä liikakulutusta. Pohjavesivarat ovat elintärkeitä juomavesinä, ja niiden käyttö muuhun, kuten kasteluun, on kestävämpää. Sen sijaan kastelussa voidaan hyödyntää sellaista vettä, joka ehkä muutoin olisi ongelma.

Suomessa tulvaongelmat johtuvat usein keväisistä sulamisvesistä ja niiden johdosta nousseesta virtaamasta joissa ja puroissa. Nämä yhdistettynä jäiden lähtöön ja muodostuviin jääpatoihin sekä routaiseen, läpäisemättömään maaperään voi nostaa vedenpintaa lyhyessä ajassa dramaattisesti. Sulamisvedet nousevat tyypillisesti pelloille, joilta vesien mukaan huuhtoutuu

myös arvokasta peltomaata ja ravinteita, jotka taas päätyvät Itämereen. (Suomen ympäristökeskus, 2019). Menneiden vuosikymmenten aikana toteutetut soiden ojitukset ovat nostaneet virtaamaa aikojen saatossa, sillä luonnontilaiset suot ovat toimineet virtausta viivyttävänä elementtinä, usein nimenomaan jokien latvaosissa (Klöve *et al.*, 2012).

#### 1.4 Hulekas- hanke

HULEKAS on Luonnonvarakeskuksessa vuosina 2015-2019 käynnissä ollut hulevesien hallintaan ja käsittelyyn liittyvä hanke, jossa tutkittiin erilaisten kasvien ja kasvualustojen kykyä pidättää ja haihduttaa vettä ja sitoa ravinteita. Hankkeessa on koealoja kaupunkiympäristössä, ja lisäksi kontrolloidussa ympäristössä toteutettiin astiakoe, jossa käytettiin seitsemää eri putkilokasvia, joita verrattiin nurmeen, ja kontrollina toimii kasviton kasvualusta.

Varsinaisena tutkimuskohteena astiakokeessa olivat hulevesikasteluiden vaikutukset valumiin ja biomassakertymään. Kastelut tehtiin tyypillisten hulevesien kaltaisella, matalaravinteisella keinohulevedellä kaksi kertaa kesän 2018 aikana. Kasteluun liittyen mitattiin astian läpi kulkevan veden valumaa ja vesinäytteistä analysoitiin mm. ravinteita. Tavoitteena oli löytää eroja erilaisten kasvien ja kasvualustojen kyvyssä sitoa ravinteita, sekä pidättää ja haihduttaa vettä, jotta hulevesiä pystyttäisiin jatkossa käsittelemään kaupunkialueilla biologisesti tehokkaasti, ja vesistökuormitusta kyettäisiin hillitsemään.

#### 1.5 Tutkimuskysymykset

Kiinnostaviksi tutkimuskysymyksiksi valittiin tässä yhteydessä kolme olennaista teemaa: suotoveden määrä ja ravinteisuus sekä kasvualustan kasvuominaisuudet. Jokainen teema koostui vielä kahdesta erillisestä tutkimuskysymyksestä, joita pyrittiin tulosten avulla selittämään kasvilajilla sekä biohiilen vaikutuksella. Lisäksi oltiin myös kiinnostuneita biohiilen vaikutuksesta kasveihin.

##### 1. Suotoveden määrä

- a. Onko kasvilajilla vaikutusta suotoveden määrään?
  - b. Onko alustan biohiilellä vaikutusta suotoveden määrään?
2. Suotoveden ravinteisuus
- a. Onko alustan biohiilellä vaikutusta suotoveden ravinteiden määrään?
  - b. Onko kasvilajeilla vaikutusta suotoveden ravinteiden määrään?
3. Kasvualustan ominaisuudet
- a. Onko alustan biohiilisyksellä vaikutusta maaperän ominaisuuksiin?
  - b. Onko kasvilajeilla vaikutusta maaperän ominaisuuksiin?
4. Vaikuttaako biohiili kasvien kasvuun?

Ensimmäinen, suodatetun huleveden määrään liittyvä teema tarjoaa vastauksia kaupunkitulvien hallinnan keinoihin, mutta myös siihen, miten paljon hulevesien mukana voi päätyä ravinteita lähivesiin. Ilman liikkuvaa vettä myöskään ravinteet eivät liiku. Veden laatuun liittyvä toinen teema kertoo siitä, voidaanko lähivesien tilaa parantaa biologisen hallinnan keinoin. Kolmas ja neljäs teema taas pyrkivät selvittämään, millaisissa olosuhteissa kasvit kasvavat parhaiten. Oletettavasti kasvit toimivat ympäristöissään parhaiten, kun niiden kasvuolosuhteet ovat parhaat mahdolliset.

## 2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Hulekas- astiakoe toteutettiin Luonnonvarakeskuksen Kaarinan koetoiminta- asemalla vuosina 2016-2018. Astiakokeen perusidea oli koejärjestely, jossa voidaan testata 7 eri kasvilajin, nurmen ja kasvittoman verrokin sekä kahden erilaisen kasvualustan ominaisuuksia veden- ja ravinteidenpidätyksen osalta. Kokeeseen valittiin kontrolliksi nurmiseos, joka on nykyisin kaupunkialueiden yleisimpiä viherrakenteita, sekä kasviton verrokki, jotta kasvipeitteisyyden merkitystä ylipäättään voitiin havainnoida.

Koekasvit istutettiin samanlaisiin astioihin 2016. Kumpaakin kasvualustaa oli 5 toistoa lajia kohti, eli yhteensä koeastioita oli 90 kappaletta. Tämä tutkimus on tehty vuoden 2018 aikana kerätystä aineistosta, jolloin kasvien tulkittiin jo vakiintuneen paikalleen. Syksyisin kasvit leikattiin tuleentumisen jälkeen alas, ja ne talvehtivat paikallaan saaveissa, jotka oli peitetty pakkaspeitteillä. Niiden kasvuun lähtöä seurattiin varhaisesta keväästä alkaen.

### 2.1 Koejärjestely

Astiakoe rakennettiin muovitettuun katokseen (UV-suojattu PE-kausihuonekalvo 0,09 mm, valonläpäisy noin 66 %, Avagro Oy), jotta sadevesi ei pääsisi astioihin, ja voitaisiin olla varmoja kunkin astian saamasta vesimäärästä. Katos sijaitsi kahden kasvihuoneen kulmauksessa, ja Rivi 6 sijaitsi hieman varjossa. Paikka on suojaisa, mutta pääasiassa valoisa ja aurinkoinen. Olosuhteiden vaihtelu koealueella huomioitiin astiatoistojen sijoittelussa, jotta olosuhteista johtuva satunnaisvirhe saataisiin tilastollisissa testeissä minimoitua.

Taulukko 1 Hulekas-astiakokeen kasvilajikäsittelyt

Nro	Kasvityyppi	Suomeksi	Laji	Kpl/astia
1	Sara 1	Viiltosara	<i>Carex acuta</i>	3
2	Sara 2	Jänönsara	<i>Carex ovalis</i>	7
3	Vihvilä	Röyhyvihvilä	<i>Juncus effusus</i>	4
4	Heinä 1	Korpikaisla	<i>Scirpus sylvaticus</i>	3

5	Heinä 2	Luhtakastikka	<i>Calamagrostis stricta</i>	3
6	2-sirkkainen	Rantatyräkki	<i>Euphorbia palustris</i>	2
7	1-sirkkainen	Suovehka	<i>Calla palustris</i>	7
8	Nurmi	Nurmi, leikataan	<i>Viherrakentajaseos</i> 2	
9	Ei kasvia	Kontrolli		

Kasvilajeiksi valittiin eri kasviryhmistä lajeja, jotka kuuluvat Suomen kotoperäiseen lajistoon, ja joita on yleisesti saatavilla kotimaisilta taimistoilta (Taulukko 1 Hulekas-astiakokeen kasvilajikäsittelyt). Suurin osa taimista tilattiin taimistoilta, ja kutakin istutettiin tai kylvettiin niin monta tainta, että astian pohja hyvissä olosuhteissa kehittyisi kokonaan kasvipeitteiseksi.

Lajien valinnassa kiinnitettiin erityistä huomiota niitä koskevaan ja aiemmin kertyneeseen tietoon. Esimerkiksi Australiassa vihviläsuvun lajeja on todettu erittäin tehokkaiksi veden- ja ravinteidenkäyttäjiksi (Read *et al.*, 2007; Bratieres *et al.*, 2008; Blecken *et al.*, 2009). Kiinalaisten tutkijoiden lähes vastaavassa koeasetelmassa oli käytetty myös röyhyvihvilää, jonka todettiin olevan tehokas typensitoja (Wang *et al.*, 2017). Aiemmissä tutkimuksissa on kuitenkin valtaosin käytetty eri lajeja, joten tähän kokeeseen valittujen lajien vedenkäytöstä ja ravinteiden sitomiskyvystä ei ollut kovin tarkkaa ennakkotietoa.

Rantatyräkki ja korpikaisla lisättiin koeasemalla kasvukaudella 2016. Osa rantatyräkin taimista oli jakotaimia Yltöisten geenivarakokoelmasta ja osa ruohovartisia latvapistokkaita Yltöisten puiston perennanäytemaalta, molemmat kuitenkin samaa kantaa. Latvapistokkaat juurrutettiin sumutunnelissa. Istutusvaiheessa latvapistokastaimet olivat pienikokoisempia. Kummallakin tavalla lisättyjä taimia istutettiin yksi kuhunkin rantatyräkkiastiaan. Korpikaislan pistokkaat haettiin Yltöisten arboretumin alueelta keväällä 2016. Sekä rantatyräkit että korpikaislat ruukutettiin ja kasvatettiin kasvihuoneessa. Astioihin kasvaneet muut kasvilajit kitkettiin pois hoitotoimien yhteydessä. Lajit viihtyvät kosteissa tai märissä olosuhteissa. Useimpia on käytetty myös jo toteutetuissa hulevesirakenteissa eri puolilla Suomea. Näiden lajien menestystä

ja soveltuvuutta hulevesikosteikoihin arvioidaan myös Hulekas-hankkeen kenttäosiossa.

Kasvualustoja astiakokeeseen otettiin mukaan kaksi. Ensimmäinen oli 80% hiekasta ja 20% mullasta valmistettu seos. Toinen kokeen kasvualusta muodostettiin sekoittamalla edelliseen seokseen noin 10% biohiiltä. Biohiili on luonnossa pitkään kestävä, puusta tai muusta biomassasta pyrolyysin kautta valmistettua, melko karkearakeista ja kevyttä massaa. Biohiilen ominaisuuksiin on liitetty aiemmin veden- ja ravinteidenpidätyskyky, sekä myös kyky adsorboida raskasmetalleja (Kuoppamäki *et al.*, 2016; Richards, Dawson and Stutter, 2019). Sen käyttäminen kasvualustoissa varsinkin kaupunkien liikennealueilla ja runsasravinteisilla alueilla voisi olla siis perusteltua ajatellen terveydellistä näkökulmaa ja vesistöjen ravinnekuormitusta. Biohiilen vaikutukset kasvien hyvinvointiin on aiemmin todettu melko vähäisiksi (Hagner *et al.*, 2016; Güereña *et al.*, 2019). Kuitenkin esimerkiksi puuvillan ja ohran viljelyssä pienellä biohiililisäyksellä yhdessä lannoituksen kanssa on saatu positiivisia vaikutuksia satoon (Agegnehu, Nelson and Bird, 2016; Wu *et al.*, 2019). Biohiilen vaikutus onkin todennäköisesti dynaaminen, ja sen toiminta riippuu muista ympäristötekijöistä.

Koeastiat ja kolme vara-astiaa sijoitettiin tutkimusalueelle satunnaistetusti (Kuva 1) vuonna 2016 ja kasvit istutettiin niihin.

Hulekas-astiakoe 2016-2018																
											Rinne					
											Vihreä = ei biohiiltä, alusta 1 Musta = biohiili 10 %, alusta 2					
Sarake																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Vara	12	13	14	15
Rivi																
1	5	4	7	3	1	7	5	6	3	9	6		8	4	2	8
2	4	7	2	5	9	9	2	1	8	6	3	V1	5	7	3	1
													V1: Carex acuta 6 kpl			
Käytävä																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Vara	12	13	14	15
3	9	2	1	8	5	6	6	2	4	7	4		9	1	5	3
4	7	8	6	9	3	1	4	9	2	8	5	V2	6	5	1	2
													V2: tyhjä			
Käytävä																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Vara	12	13	14	15
5	6	6	3	7	8	4	7	3	9	4	1	V3	1	2	8	5
6	1	5	9	2	4	2	3	8	6	3	9		7	8	7	4
													V3: Calla palustris 7 kpl			

Kuva 1 Astioiden järjestys satunnaistetussa koeastelemassa. Numerot viittaavat eri kasvilajeihin (ks. taulukko 1).

## 2.2 Kokeen seuranta

Kaikista astioista mitattiin kasvukauden alettua tensiometrien lukema ja valuma kolme kertaa viikossa ja kasteltiin tarvittaessa vesijohtovedellä. Valuman mittaaminen tapahtui saavin alareunassa olevan hanan kautta, ja valuma-aikaa oli aina vähintään 15 minuuttia. Valuma mitattiin 100 millilitran tarkkuudella. Kastelu tehtiin kuivimpien astioiden perusteella. Mikäli yhdenkin astian tensiometri näytti alle  $-100$  mbar-arvoa, kaikki astiat kasteltiin samalla tavalla. Kastelu suoritettiin suihkuletkulla, johon oli liitetty virtausmittari. Jokaisella kasvustolla on kastelun jälkeen ollut sama aika käyttää vettä, pääsääntäisesti noin kaksi vuorokautta. Kastelun yhteydessä annettu vesimäärä vastasi joka tilanteessa rankkaa sadetta (Ilmatieteenlaitos, 2019), koska kastelun kesto oli lyhyt ja astian pinta-ala pieni. Kokeen aikana käytetyt mittausvälineet on listattu jäljempänä (Taulukko 2).

Kasvuston tyyppitoisuutta mitattiin SPAD-arvoilla. SPAD perustuu lehtivihreän optiseen mittaamiseen, ja jokaisella lajilla on lajikohtainen, tyyppinen SPAD-arvohaarukkinsa. SPAD-mittauksia käytetään maataloudessa jonkin verran



määrittämään typpilannoituksen tarvetta, koska mittaaminen on verrattain nopeaa ja yksinkertaista, ja arvot korreloivat hyvin kasvuston typpipitoisuuden vaihtelun kanssa (Markwell, Osterman and Mitchell, 1995; Hoel and Solhaug, 1998). Tässä kokeessa mittaukset tehtiin täysikasvuisista, ehjistä ja hyväkuntoisista lehdistä. Mittarin anturi sijoitettiin pituussuunnassa noin lehden puoliväliin. Lehtiruodin päältä tai lippulehdistä ei mitattu, ja mikäli lehti oli leveä, mittaus tehtiin noin 3 mm päästä lehden ulkoreunasta. Mittaus toistettiin samasta astiasta kolmesti, eri kasviyksilöistä tai vähintään eri puolilta kasvia. Suoralle auringonvalolle altistuvia lehtiä ei käytetty mittauksissa.

Kasvustot kitkettiin väärin lajien versoista muiden hoitotoimien ohessa, ja nurmiastioiden nurmi leikattiin. Kasvustojen vallitsevat ja maksimikorkeudet mitattiin viikoittain mittakepin tai viivaimen avulla, ja lisäksi havainnoitiin esimerkiksi peittävyyttä, tuholaisien ja tautien esiintyvyyttä ja tuleentumista, toisin sanoen tekijöitä, jotka antavat viitteitä kasvuston yleisestä hyvinvoinnista. Kasvustoon liittyvien havaintojen lisäksi havainnoitiin ympäristöä, katoksen lämpötilaa ja astioiden lämpötiloja. Kokeen purkamisen yhteydessä mitattiin mm. maan kiinteyttä, juuriston syvyyksiä sekä havainnoitiin juuripaakkujen rakennetta. Yleisluontoisten havaintojen tuloksia ei esitetä tässä yhteydessä tarkemmin.

Taulukko 2 Käytetty mittausvälineistö

Mitattava kohde	Mittausväline	Tarkkuus
<b>Tensiometrin lukeminen</b>	Aalsmeer-Holland Tensiometer	TM-93 1mbar
<b>Valuma</b>	2l ja 5l mittakannut	100ml
<b>Kastelu</b>	Gardena virtausmittari	0,1l
<b>SPAD-mittaus</b>	alkukesästä Konic Chlorophyll Meter SPAD-502Plus, myöhemmin Rexolin 6 Tracer	0,1 SPAD-units
<b>Lämpötilat</b>	Volmatic TM-84	0,1 °C
<b>Maan kiinteysmittaus</b>	Dickey John Soil compaction tester	n. 20 psi - laitteessa on tulkinta-asteikko
<b>Kasvien korkeus</b>	30cm viivain, 1m - ja 2 m mittakepit	5 cm

Lämpömittarin lämpöanturi hajosi kesken kesän, eikä lämpötiladataa astioista saatu loppukesältä. Myös SPAD-mittari vaihtui kesken kesän, sillä ensimmäisestä, Konica-merkkisestä mittarista hajosivat leuat.

### 2.3 Hulevesikastelut kaksi kertaa kesässä

Hulevesikastelussa kasteltiin 6 litraa matalaravinteisella keinohulevedellä, joka sekoitettiin kahdesta eri liuoslannoitteesta (Kristalon Orange ja Ferticare UP). Keinohuleveden reseptin mukainen pitoisuus oli kokonaistyppeä 5 mg/l ja kokonaisfosforia 4,6 mg/l. Astioista seurattiin vuorokauden (24h) ajan veden valumisnopeutta ja määrää. Viimeiset lukemat otettiin tasan 24h kuluttua kastelusta, minkä jälkeen suotovesistä otettiin viimeisen valumalukeman ja mahdollisen tarkistusmittauksen jälkeen vesinäytteet, jotka viilennettiin ja lähetettiin vielä saman päivän aikana laboratorioon.

Kasvit lannoitettiin kahdesti kesän aikana, sillä niiden kasvualustat olivat vähäravinteisia, ja keinohulevesien sisältämät ravinnemäärät eivät riittäneet kasvien tarpeisiin, vaan niillä oli jo varhaisessa vaiheessa selkeitä typenpuutoksen oireita. Lannoitusten ajankohta ajoitettiin kastelun jälkeen, jotta kasvualustaan jäävät ravinteet eivät vaikuttaisi hulevesikasteluiden tuloksiin, ja kasveilla olisi riittävästi aikaa hyödyntää lannoituksesta saadut ravinteet ennen toista kastelua. Lannoituksen tarkemmat yksityiskohdat on dokumentoitu hankkeen loppuraportin yhteyteen (Juhanoja and Tuhkanen, 2019).

Astiakoe lopetettiin 20.-24.8.2018, välittömästi toisen koekastelun jälkeen. Tällöin tehtiin erilaisia havaintoja kasvustojen ja juuristojen kunnosta ja laajuudesta. Kasveista otettiin lehtinäytteet ja astioiden keskiosasta maanäyte jokaisesta koeastiasta. Maanäytteistä teetettiin kattava viljavuusanalyysi. Lisäksi juuripaakkuja arvioitiin strukturoidusti ja kuvaillen. Kokeen lopetukseen liittyvistä tuloksista tässä yhteydessä on käsitelty ainoastaan maanäytteiden kokonaistypen ja -fosforin arvoja, ja muut tulokset on esitetty hankkeen loppuraportissa (Juhanoja and Tuhkanen, 2019).

#### 2.4 Näytteenotto ja laboratorioanalyysit

Laboratorio-analyysit tilattiin Luonnonvarakeskuksen muilta yksiköiltä, Viikistä ja Jokioisilta. Nämä laboratoriot ovat akkreditoituja ja niiden käyttämät menetelmät maa- vesi- ja kasvustonäytteiden analysointiin yleisesti hyväksytyjä ja standardien mukaisia. Näytteiden otto ja käsittely tapahtui laboratorion ohjeiden mukaan, ja näytteet toimitettiin analysoitavaksi mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen. Vesinäytteistä analysoitiin typen ja fosforin yhdisteet sekä hiili, jälkimmäisestä hulevesikastelusta myös sameus, sillä kesän havaintojen mittaan vesien värit poikkesivat jo silmin nähden toisistaan, ja haluttiin selvittää, onko liuenneilla ravinteilla tai muilla tekijöillä mahdollisesti yhteys suotoveden väriin.

Tässä työssä hyödynnettiin vain osaa maa- ja vesinäytteiden tuloksista. Vesinäytteiden osalta keskityttiin kokonaistypen- ja fosforin pitoisuuksiin, typen ja fosforin suhteeseen sekä happamuuteen. Maanäytteiden analyyseista

tarkasteltiin tässä yhteydessä ainoastaan kokonaistyyppiä ja -fosforia. Muita analyysituloksia on tarkasteltu hankkeen loppuraportissa. (Juhanoja and Tuhkanen, 2019).

## 2.5 Tilastolliset analyysit

Tilastollisessa testaamisessa käytettiin SAS EG- ohjelmistoa ja pääasiassa GLIMMIX-proseduuria. Koska koeasetelma oli suunniteltu tilastollista analysointia silmällä pitäen, satunnaistekijöiksi määritettiin kaikkiin analyyseihin rivi ja paririvi, mikäli se oli mahdollista. Pääasiassa testattavat parametrit yritettiin selittää kasvilajilla, alustalla tai näiden yhteisvaikutuksena. Biomassan määrän vaikutus huleveden koostumukseen testattiin muista poikkeavalla tavalla, sillä selittäväksi muuttujaksi valittiin ainoastaan kuivamassa. Testi tehtiin kuitenkin muutoin samoin GLIMMIX-proseduurilla.

Koko kesän kattavan, valumien määrää ja SPAD-arvoja seuraavan aineiston analysointi vaati toistomittausanalyysin (repeated), koska koeastioiden päästämät vesimäärät olivat riippuvaisia edellisistä mittauskerroista. Heterogeeninen Toeplitz (TOEPH)-toistomittausanalyysi lisää laskettavan datamassan määrää, ja TOEPHin todettiin olevan tälle aineistolle paras analyysi eri analyysien välisten AIC-arvojen perusteella. SPAD-aineiston kohdalla AIC-arvojen perusteella parhaiten sopiva toistomittausmalli oli heterogeeninen "compound symmetry" (CSH). (Littell *et al.*, 2002). Analyyseihin, joissa sama parametri oli mitattu korkeintaan kahdesti samasta yksilöstä, toistoanalyysia ei nähty tarpeelliseksi, sillä kaikkiin näihin vaikuttavat tekijät pyrittiin esim. lannoituksen avulla "nollaamaan" välillä.

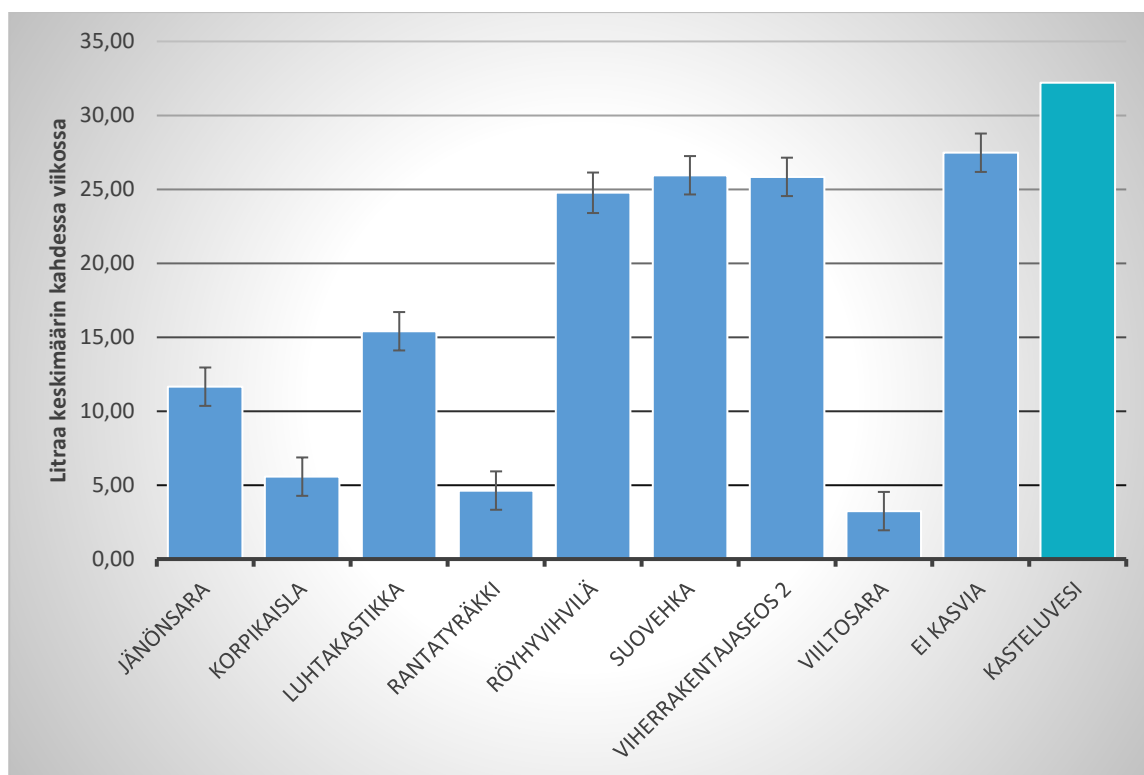
Valumamittauksia kertyi kesän ajalta kaikkiaan 51, ja tämä niputettiin noin kahden viikon jaksoihin, pääasiassa kuuden mittauksen yksiköiksi, jotta toistojen määrä saatiin laskettavaan muotoon. Lisäksi aineistoon lisättiin muuttujaksi jakso, kevät ja kesä. Kevätjakso päättyi ensimmäiseen hulevesikasteluun, ja kesä käsitti kasteluiden välisen aikajakson. On kuitenkin huomattava, että jaksot eivät olleet ulkoisten olosuhteiden osalta identtiset, sillä esimerkiksi kastelumäärät olivat alkukesällä maltillisempia.

Datasta poistettiin yksilö ID:45 (R3S15), kuollut röyhyvihvilä, sekä vara-astiat, joista ei mitattu tutkimusjakson aikana kaikkia parametreja. Yksilöä 45 ei voida kuolleena pitää edustavana tutkimusyksilönä, eikä sitä ole mielekäästä näin ollen analysoida. Spad-tuloksia ei voitu mitata ja myöskään hyödyntää nurmen ja röyhyvihvilän osalta, joten tämän parametrin kohdalla aineisto koostuu kuudesta lajista (viiltosara, korpikaisla, suovehka, luhtakastikka, jänönsara ja rantatyräkki).

### 3 TULOKSET

Astiakokeen päämääränä oli selvittää, millaisia vaikutuksia kasvilajin valinnalla ja eri alustoilla oli suotovesien määrään ja koostumukseen, maaperään ja kasvien kasvuun.

#### 3.1 Veden määrän hallinta



Kuva 2 Kasvilajien keskimääräinen valumasumma ja keskihajonnat kahden viikon jaksoilla. Tulokset on saatu heterogeenisestä Toeplitz-toistomittausanalyysistä. Analyysin tilastoarvot löytyvät alla olevasta taulukosta (Taulukko 3).

Taulukko 3 Valuman määrän tilastolliset tunnusluvut

Muuttuja	Vapausasteet	F-arvo	p-arvo
Laji	8	246,29	<0,0001
2 viikon jakso	8	1102,84	<0,0001
2 viikon jakso *laji	64	41,64	<0,0001

Suotoveden valuman määrää seurattiin koko kesän ajan, ja kasvilajilla havaittiin niin kokeen kuluessa kuin tilastollisessa tarkastelussa olevan merkittävä vaikutus suotoveden määrään ( $p < .0001$ ). Kaikki kasvipeitteiset astiat sitoivat vettä enemmän kuin kasviton verrokki. Nurmi oli kasvittoman verrokin jälkeen heikoimmin valumaa vähentävä kasvipeite. Röyhyvihvilä ja suovehka käyttivät melko vähän vettä, lähes yhtä vähän kuin nurmi. Jänönsaran ja luhtakastikan vedenkäyttö oli tässä koeasetelmassa keskinkertaista. Tehokkaimpia vedenkäyttäjiä tutkituista olivat viiltosara, rantatyräkki ja korpikaisla.

Myös alustan biohiilen vaikutusta suotoveden määrään testattiin toistomittausanalyysillä, eikä biohiilellä ollut suotoveden määrään merkitsevää vaikutusta. Lisäksi testattiin biohiilen vaikutusta valuman nopeuteen, ja ensimmäisen puolen tunnin aikana tehtyjen kahden mittauksen perusteella biohiili vaikutti siten, että biohiiliastiat olivat valuttaneet keskimäärin noin 200 ml vähemmän vettä kuin biohiilettömät astiat. Alustan havaittiin vaikuttavan valuman nopeuteen, sillä käsittelyjen ero oli 15 minuutin valuma-ajan kohdalla selkeästi merkitsevä ( $p = 0,0128$ ) mutta puolen tunnin kohdalla enää täpärästi merkitsevä ( $p = 0,0418$ ). 45 minuutin kohdalla tilastollista eroa käsittelyjen välillä ei enää ollut.

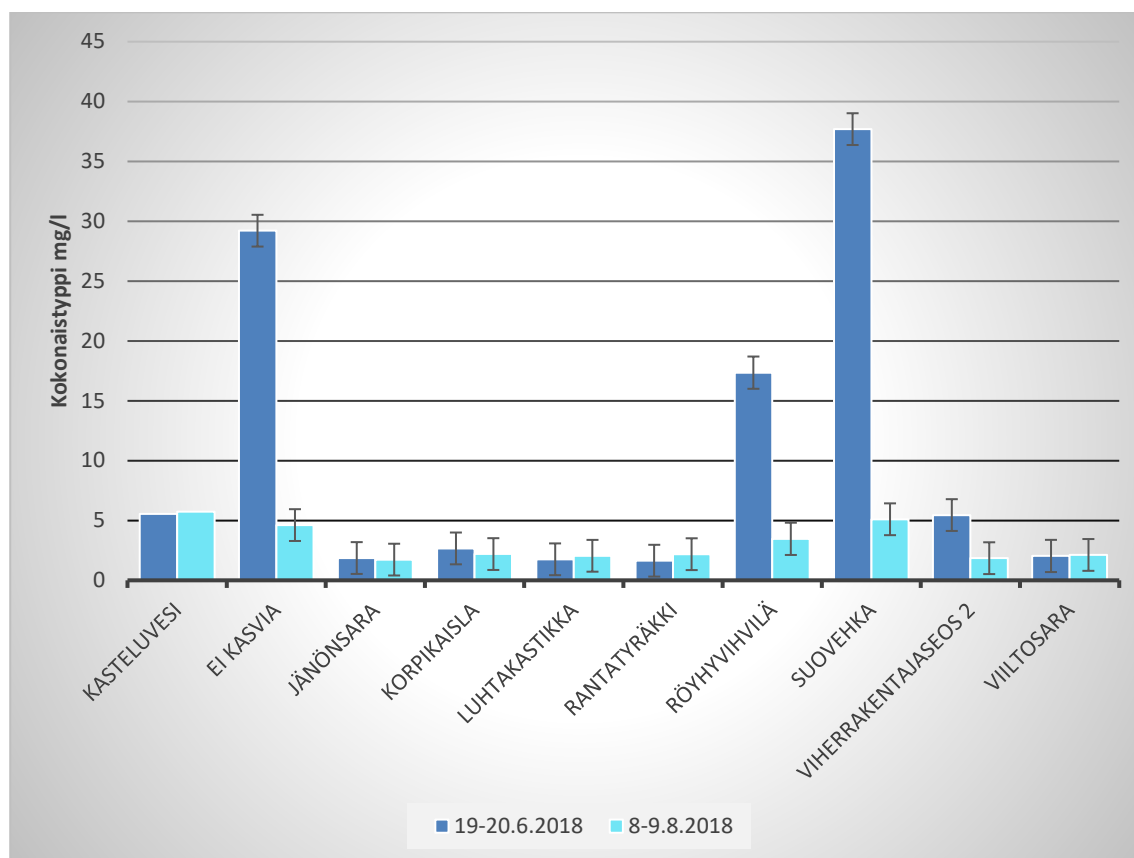
Myös kasvun vaihe vaikutti siihen, miten kasvit käyttivät vettä. Kun aineiston jakso otettiin huomioon muuttujana, aikajakson havaittiin olevan selvästi merkitsevä tekijä ( $p < .0001$ ).

### 3.2 Typen kuormituksen vähentäminen

Kasvien erot kyvyssä sitoa ravinteita olivat melko suuria, ja erot korostuivat entisestään kasteluiden välillä (Kuva 2). Kaikki kasvit paitsi suovehka kuitenkin sitoivat typpeä hyvin kesän toisessa kastelussa. Alkukesästä suovehka, röyhyvihvilä ja kasviton verrokki päästävät typpeä pois enemmän kuin kastelueden pitoisuus oli. Suovehkan suotoveden typpipitoisuus on jopa suurempi kuin kasvittoman verrokin.

Vesinäytteiden typpipitoisuudelle löydettiin useita selittäviä tekijöitä. Merkitseviä ( $p < 0,0001$ ) olivat laji, kastelun ajankohta, lajin ja alustan sekä lajin ja

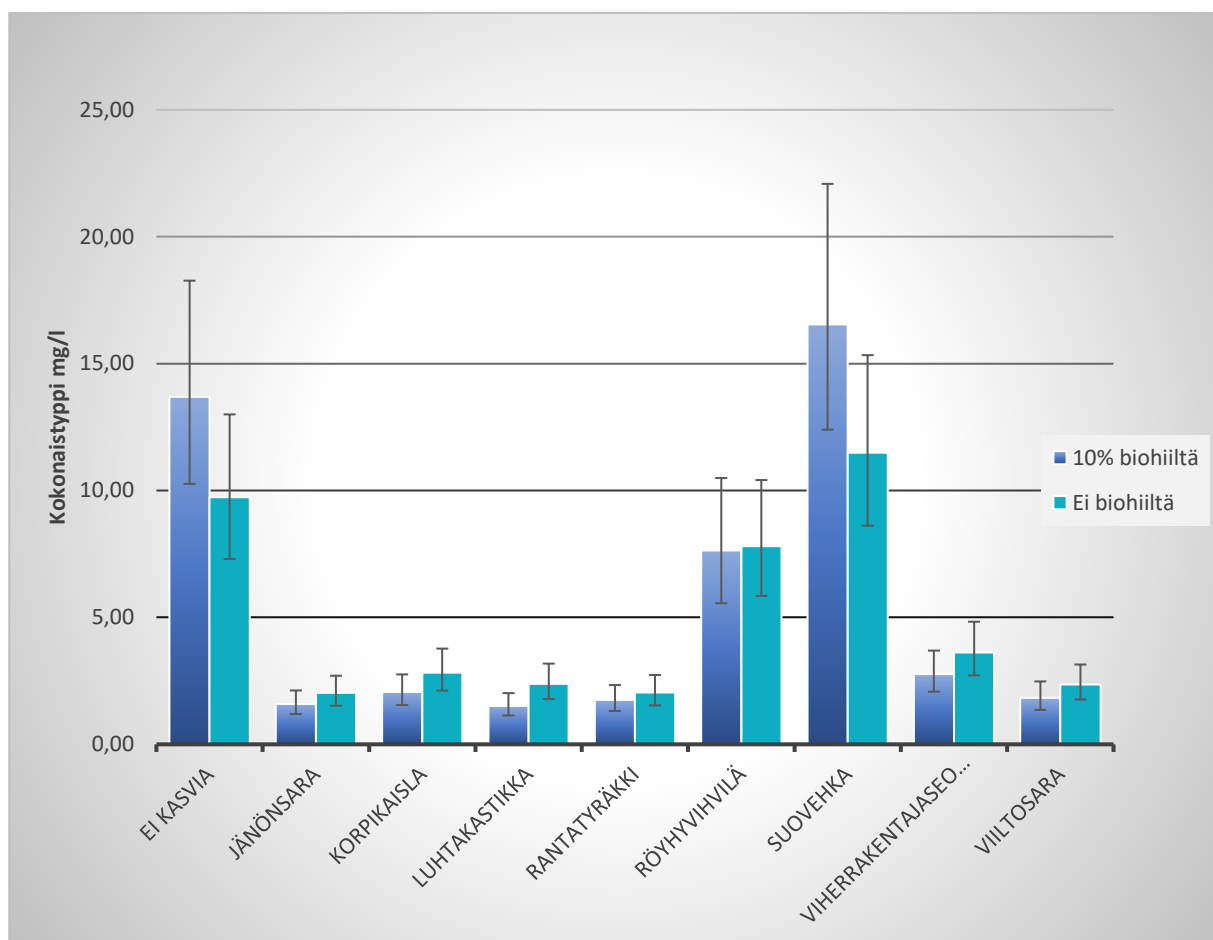
ajankohdan yhteisvaikutukset. Valumaveden pienimmät typpipitoisuudet havaittiin jänönsaralla, mutta myös luhtakastikan, rantatyräkin, viiltosaran ja korpikaislan valumavesissä typpipitoisuudet olivat matalia (Kuva 3).



Kuva 3 Suotoveden typpipitoisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat lajeittain ja niiden vertailu koekoekasteluiden välillä. Ks. taulukko 4.

Alustan vaikutuksen p-arvo ei noussut mallissa merkitseväksi yksinään, kun sen sijaan lajin ja alustan yhdysvaikutus oli merkitsevä. Yhdysvaikutus tarkoittaa, että laji-alusta yhdistelmät reagoivat toisistaan poikkeavalla tavalla, mikä nähdään kuvasta 4, jossa biohiiletön vaihtoehto on alustasta riippuen korkeampi tai matalampi kuin saman lajin biohiiltä sisältävä kasvualusta.





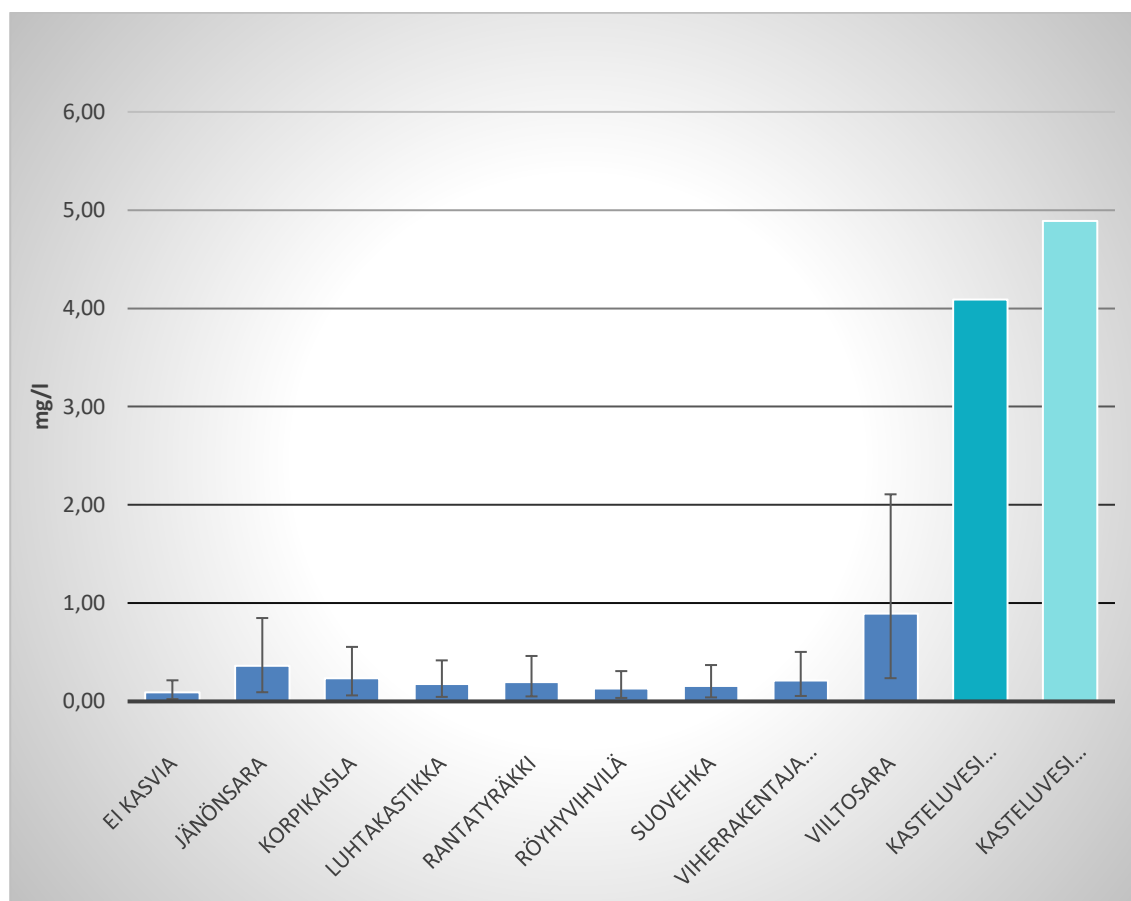
Kuva 4 Suotoveden typpipitoisuuden vaihtelu lajin ja alustan yhdysvaikutuksena. Yhdysvaikutus on saatu molempien koekasteluiden keskiarvona, ja kuvaajassa on esitetty myös keskihajonnat. Ks. taulukko 4.

Taulukko 4 Suotovesien typpipitoisuuteen vaikuttavat tekijät (ks. myös kuvat 3 ja 4)

Muuttuja	Vapausasteet	F Value	p-arvo
Alusta	1	3,1947	0,0649
Laji	8	83,41	<0,0001
Päivämäärä	1	138,57	<0,0001
Laji*alusta	8	2,1937	0,0203
Laji*päivämäärä	8	26,86	<0,0001

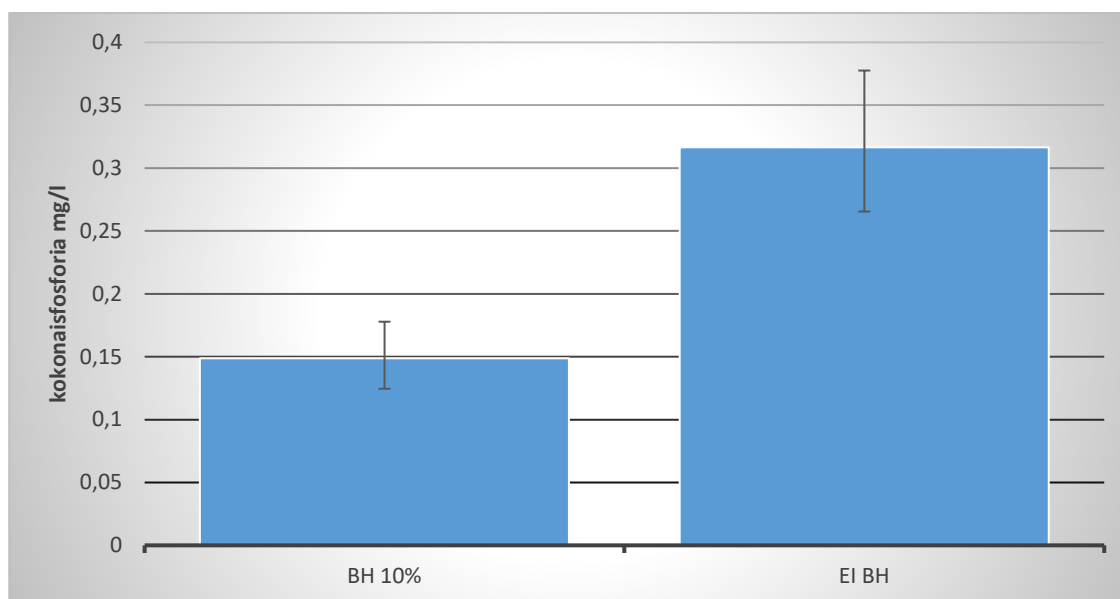
### 3.3 Fosforikuormituksen hallinta

Suotovesien fosforipitoisuuteen vaikuttivat merkitsevästi sekä kasvilaji että alusta (Kuva 5), joiden molempien  $p < 0.0001$ , mutta yhdysvaikutusta näillä ei havaittu. Myöskään kastelun ajankohdalla ei ollut merkitystä suotoveden fosforipitoisuuteen.



Kuva 5 Suotovesien keskimääräinen fosforipitoisuus ja keskihajonnat esitettynä kasvilajeittain. Tässä analysissa on huomioitu molempien koekasteluiden yhteydessä otetut vesinäytteet.

Biohiili laski suotoveden fosforipitoisuutta selvästi, sillä vesinäytteissä oli selkeä, yli kaksinkertainen ero (Kuva 6).



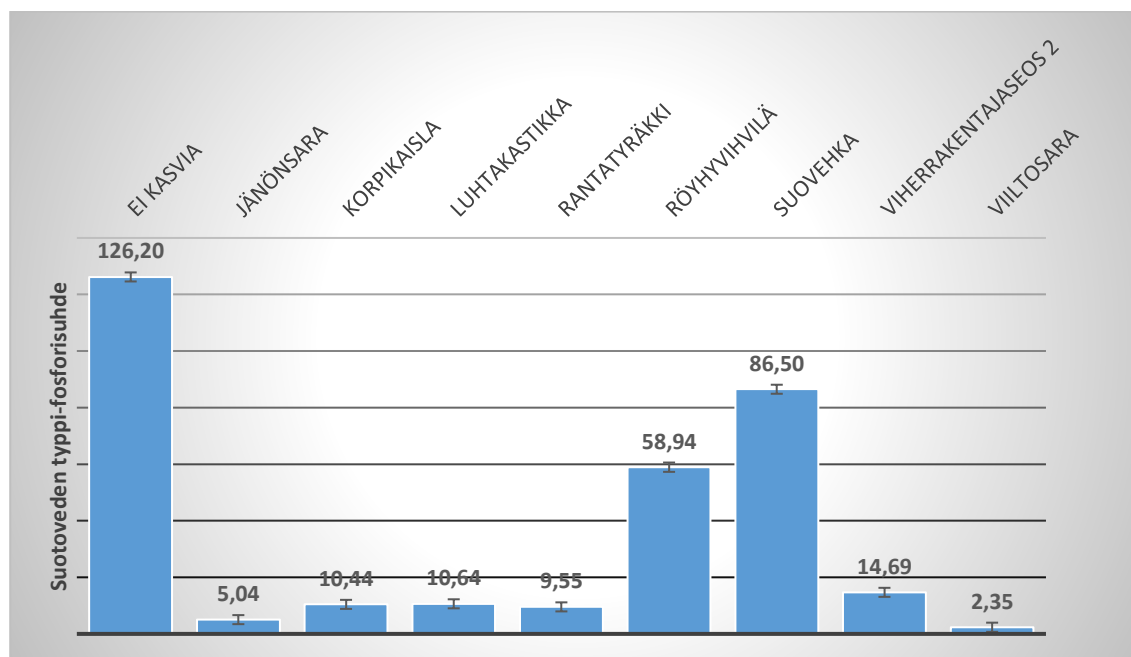
Kuva 6 Biohiilen vaikutus suotoveden keskimääräiseen fosforipitoisuuteen ja molempien alustojen keskihajonnat. Tässä analyysissä on huomioitu kaikkien astioiden vesinäytteet.

Taulukko 5 Eri kasvualustojen vaikutus suotovesien fosforipitoisuuksiin (ks. kuvat 5 ja 6)

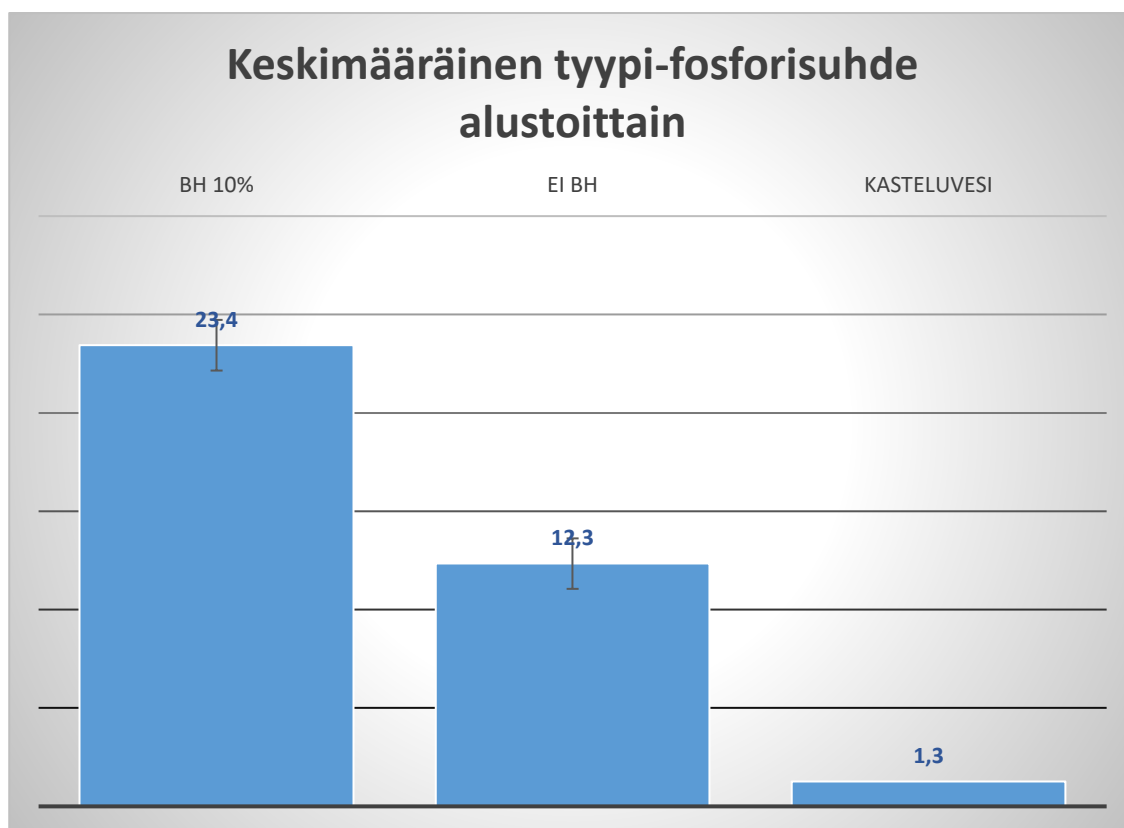
Muuttuja	Vapausasteet	F-arvo	p-arvo
<b>Alusta</b>	1	65,56	<0,0001
<b>Laji</b>	8	21,18	<0,0001
<b>Laji*alusta</b>	8		0,0772

### 3.4 Typpi-fosforisuhde

Niillä lajeilla, joilla typpipitoisuus suotovedessä oli pieni (jänönsara, luhtakastikka, korpikaisla ja rantatyräkki), oli myös matala typpi-fosforisuhde. Myös alustalla oli merkitsevä vaikutus typpi-fosforisuhteeseen.



Kuva 7 Kasvilajien vaikutus suotoveden keskimääräiseen typpi-fosforisuhteeseen ja typpi-fosforisuhteen keskihajonta. Tässä analyysissä ovat mukana molempien koekasteluiden aikana otetut vesinäytteet. Ks. myös taulukko 6.



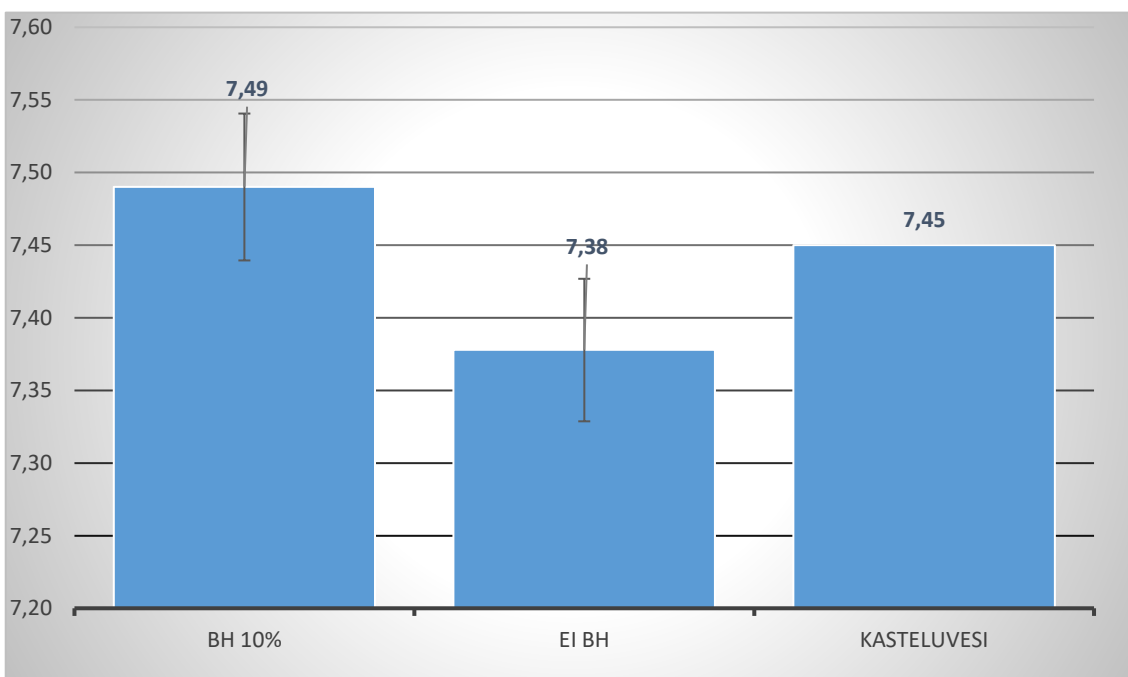
Kuva 8 Alustojen väliset erot keskimääräisessä typpi-fosforisuhteessa. Tässä analysissa ovat mukana molempien koekasteluiden aikana otetut vesinäytteet. Ks. myös taulukko 6.

Taulukko 6 Eri tekijöiden vaikutus suotovesien typpi-fosforisuhteeseen (kuvat 7 ja 8)

Muuttuja	Vapausasteet	F-arvo	p-arvo
Alusta	1	17,42	<0,0001
Laji	8	33,53	<0,0001
Laji*alusta	8	0,78	0,6192

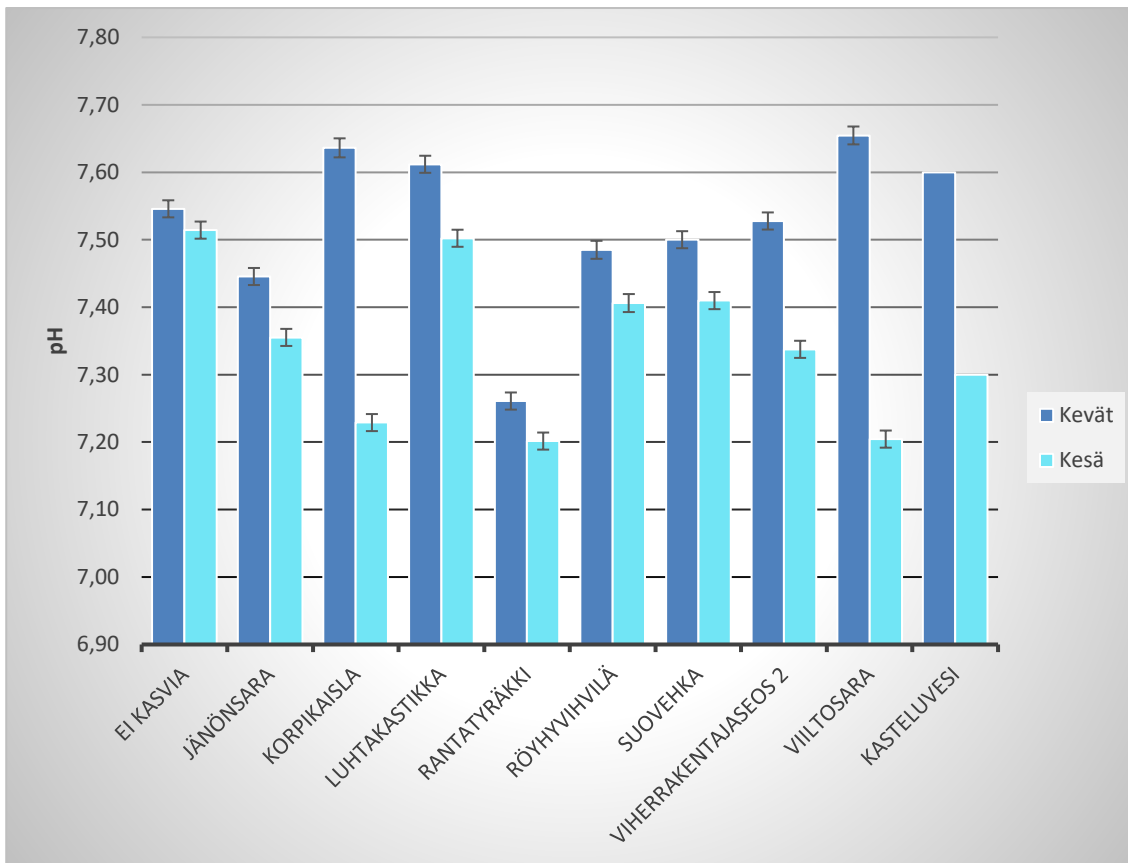
### 3.5 Happamuus

Suotoveden happamuuteen vaikutti merkittävästi useita tekijöitä: kasvilaji, kastelun ajankohta, alusta sekä lajin ja alustan yhdysvaikutus. Toisaalta pH liikkui koko aineistossa hyvin kapeassa haarukassa, lähellä neutraalia. Biohiilialustojen suotovesi oli hieman emäksisempää kuin biohiilettömän alustan.



Kuva 9 Biohiilellisen ja tavallisen kasvualustan välinen ero valumaveden keskimääräisessä happamuudessa keskihajontoineen. Tässä analyysissä on huomioitu kaikkien astioiden vesinäytteet molempien koekasteluiden osalta. Ks. myös taulukko 7.

Kaikilla lajeilla jälkimmäisen koekastelun pH-arvot olivat matalampia kuin ensimmäisen, mutta myös kasteluv veden pH:ssa on selvä ero kasteluiden välillä.



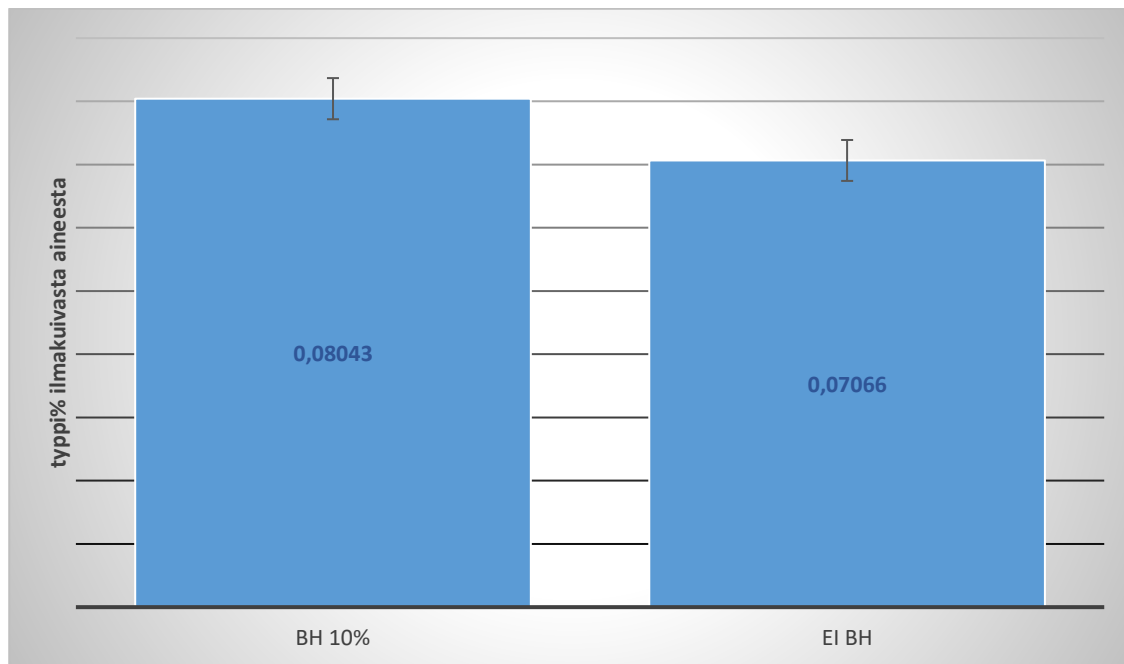
Kuva 10 Keskimääräiset erot vesinäytteiden happamuuksissa esitettynä lajeittain ja eri kastelukertojen välillä. Ks. myös taulukko 7.

Taulukko 7 Eri tekijöiden vaikutus suotovesien happamuuteen

Muuttuja	Vapausasteet	F-arvo	p-arvo
Alusta	1	29,52	<0,0001
Laji	8	9,2014	<0,0001
Päivämäärä	1	66,29	<0,0001
Laji*alusta	8	1,194	0,2021
Laji*PVM	8	6,2019	<0,0001

### 3.6 Kasvualustan ravinnepitoisuus

Maanäytteiden perusteella biohiilen vaikutus kasvualustan typpipitoisuuteen oli merkitsevä ( $p < 0,0001$ ), kuten myös kasvilajin ja kasvualustan yhdysvaikutus ( $p = 0,01$ ). Kasvilajin vaikutus maanäytteiden typpipitoisuuteen sen sijaan ei ollut merkitsevä.

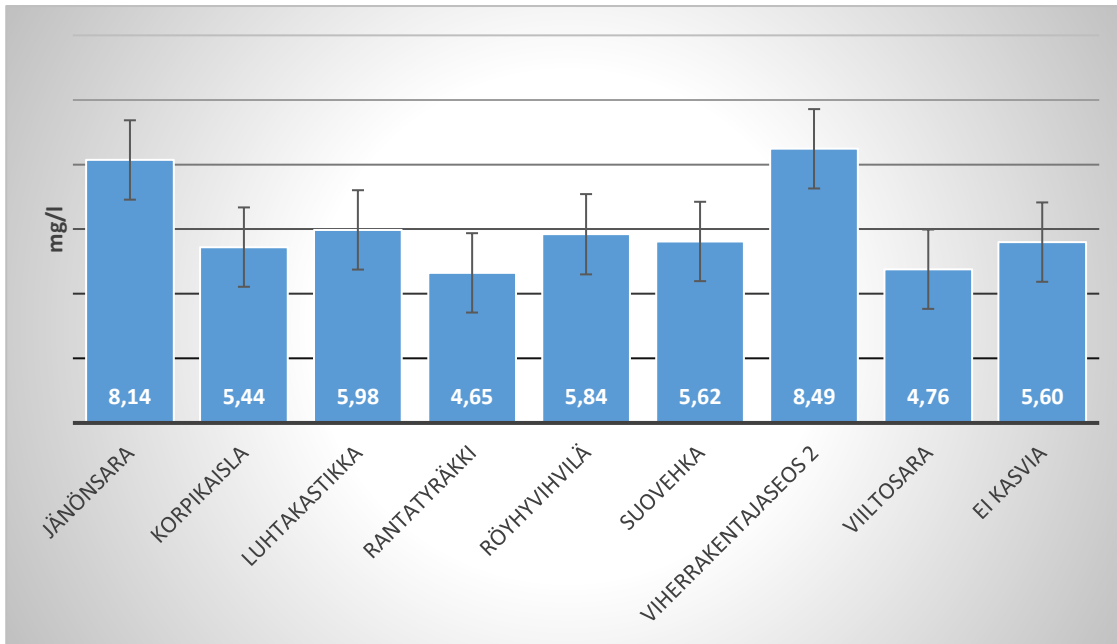


Kuva 11 Maanäytteiden keskimääräiset typpipitoisuudet ja niiden keskihajonnat biohiilialustoilla ja tavallisilla kasvualustoilla. Analyysissa on huomioitu kaikkia astiat, mutta maanäytteet otettiin vain kokeen lopetuksen yhteydessä. Ks. myös taulukko 8.

	Muuttuja	Vapausasteet	F-arvo	p-arvo
laji	8,00	52,00	0,62	0,76
alusta	1,00	52,00	42,93	<0,0001
laji*alusta	8,00	52,00	2,20	0,01

Taulukko 8 Eri tekijöiden vaikutus maanäytteiden typpipitoisuuteen





Kuva 12 Maanäytteiden keskimääräinen fosforipitoisuus ja keskihajonnat esitettynä kasvilajeittain. Tuloksissa on huomioitu kaikki astiat ja molemmat eri kasvualustat. Maanäytteet otettiin vain kokeen lopussa, ja fosforipitoisuuden osalta tilastoarvot. Ks. myös Taulukko 9.

Taulukko 9 Eri tekijöiden vaikutus maanäytteiden fosforipitoisuuteen

	Muuttuja	Vapausasteet	F-arvo	p-arvo
laji	8,00	52,00	5,11	<0,0001
alusta	1,00	52,00	0,43	0,52
laji*alusta	8,00	52,00	1,20	0,09

### 3.7 Biohiilen vaikutukset kasvustoon

Biohiilen merkitystä kasvien kasvuun analysoitiin koko aineistosta sekä maksimi- että vallitsevan korkeuden avulla, sekä SPAD-lukemien perusteella. Alustan biohiillisyksen ei havaittu vaikuttavan kasvuston korkeuteen. Lisäksi testattiin, vaikuttaako biohiili biomassan muodostukseen, mutta kuivapainojen perusteella eroa kasvualustojen välillä ei havaittu.

Koska SPAD-arvot ovat lajityypillisesti vaihteleva parametri, myös analyysi tehtiin lajikohtaisesti. Kasviyksilöille laskettiin keskiarvo ja keskihajonta, jotka ajettiin GLIMMIX-testeinä erikseen. Luhtakastikan kohdalla hajonta osoittautui

tilastollisesti merkittäväksi ( $p=0,0101$ ), mutta muutoin SPAD-arvojen perusteella biohiili ei vaikuttanut kasvien typpipitoisuuteen.

## 4 TULOSTEN TARKASTELU

Hulevesiin liittyneitä tutkimushankkeita on tehty maailmalla paljonkin, mutta jokaisella on omat rajoitteensa. Jotta kasvilajien ja erilaisten materiaalien merkitys hulevesien hallinnassa saataisiin selville, täytyy jokainen komponentti testata erikseen kontrolloidussa ympäristössä ja verrata tuloksia toisiinsa. On kuitenkin huomattava myös, että kasvilajien välinen dynamiikka voi vaikuttaa yksittäiseen kasvilajiin ja biopidätyksen tehokkuuteen (Trowsdale and Simcock, 2011). Kun Suomessakin aletaan entistä enemmän kiinnittää huomiota hulevesikohteiden suunnitteluun, ja jo suunnitteluvaiheessa otetaan huomioon puhdistusvaikutusten seurantamahdollisuus, on helppo kerätä dataa käytännön vaikutuksista. Muuallakin maailmalla tehtyjen kokeiden, tai varsinkaan kokeellisten rakennelmien merkityksestä on harvoin riittävää, vertailukelpoista seurantadataa. Näin ollen vertailukelpoisen aineiston tuottaminen ja virtaamien ja vedenlaadun seurannan turvaaminen ja jatkuvuus on erityisen tärkeää.

### 4.1 Aiemmat tutkimukset

Biopidätys- ja biosuodatus-systeemeitä on rakennettu ympäri maailmaa, ja pääsääntöisesti niitä pidetään onnistuneina ratkaisuina. Eräässä tutkimuksessa selvitettiin kahdeksan rakennetun biopidätysvaihtoehdon toimintaa veden määrän, kiintoaineksen, saasteiden ja ravinteiden pidätyksen osalta neljän vuoden ajalta. Tutkimuksessa vertailtiin erilaisia kasvukokoonpanoja, joista osaan oli lisätty fosforia saostavaa kemikaalia. Tutkimus on sinänsä poikkeuksellinen, että seurannan kesto oli niin pitkä. Tutkimuksen tulokset antavat ymmärtää, että erilaiset biopidätysvaihtoehdot ovat tehokkaimmillaan, kun niihin tulevat vesi-, saaste- ja ravinne määrät ovat maltillisia – puhdistustulokset heikkenevät selvästi sadannan kasvaessa. Kuitenkin myös tulvahuiput laskevat merkittävästi, vaikka sataisi runsaastikin. Tutkimuksessa myös todetaan, että ravinteiden päästöt ovat dynaamisia muuttujia, eikä yhtä oikeaa ja toimivaa tapaa ole, vaan myöskin kasvualustan ravinnevuodot ovat olemassa oleva ilmiö. (Shrestha, Hurley and Wemple, 2018).

Australiassa tehdyssä tutkimuksessa saatiin hyviä tuloksia kasvien ravinteidenkäytöstä ja sedimentoitumisesta biopidätysysteemeissä (Laurenson *et al.*, 2013). Kenttätutkimuksessa teollisuusalueella Uudessa Seelannissa saatiin erittäin lupaavia tuloksia etenkin huippuvirtaaman hallinnasta, vaikka koekohde oli mitoitettu selvästi liian pieneksi paikallisiin ohjearvoihin nähden. Maaperä oli kyseisessä kohteessa erittäin läpäisevää, ja sademäärästä riippuen kohteen läpi virrannut vesimäärä vaihteli 14-100% välillä siten, että kohde ei kyennyt pidättämään suurimpia sademääriä. Kohde pidätti erittäin hyvin kiintoaineista ja lyijyä, mutta kuparin ja sinkin osalta tulokset olivat vaihtelevia. (Trowsdale and Simcock, 2011).

Pohjoisten kylmien alueiden olosuhteita jäljittelevä laboratorioskoe ravinteiden sitomisesta osoitti, että varsinkin typen ravinnevuoto on tyypillistä kylmissä olosuhteissa ja lämpötilan vaihdellessa. Sen sijaan fosfori, varsinkin fosfaatti, sitoutuu helposti kiintoainekseen, ja jää suodatinmateriaaliin kiintoainekseen sitoutuneena. (Blecken *et al.*, 2010). Lahden alueella mitattiin hulevesien laadun ja määrän vuodenaikaisvaihtelua kolmessa kenttäkohteessa, ja vuodenajan havaittiin olevan merkitsevä tekijä tutkimuskokonaisuuden päästöille. Päästöjen määrä ja vuodenajan vaikutuksen suunta kuitenkin vaihteli kohteen ja sadannan mukaan sekä parametreittain. Lisäksi päästöjen laatu vaihteli huomattavasti liikennemääristä ja valuma-alueen pinnan läpäisevyydestä riippuen. (Valtanen, Sillanpää and Setälä, 2015).

Shangaissa tutkittiin hieman samankaltaisessa koeasetelmassa eri kasvien ja eri maa-ainesten vaikutusta suotoveden laatuun. Tässä tutkimuksessa todettiin, että kasveilla oli merkittävä vaikutus biosuodatuksen toimintaan. Biosuodattimet vaikuttivat kaikkiin ravinnepäästöihin, mutta erityisesti typpeen, ja kasvien juuristolla otaksuttiin olevan merkitys nitrifikaation tehostumiselle etenkin astioissa, joissa muodostui makrosporeja. Sameudesta jopa 95% suodattui pois, mikä tarkoittaa todennäköisesti kiintoaineksen vähentymistä. Tämä tutkimus tehtiin aidolla hulevedellä, ja koeasetelmaan käytettiin kolmea erilaista suodatusmateriaalia ja kolmea kasvilajia sekä niiden sekoituksia. (Wu *et al.*, 2017).

## 4.2 Omat tulokset

Astiakokeessa käytettyjen lajien elinympäristöt tunnetaan, ja tutkimustuloksia tulkittaessa on huomioitava esimerkiksi suovehkan ja röyhyvihvilän mieltymys ravinteikkaisiin ja humuspitoisiin vesiin/kasvualustoihin. Kesä 2018 oli kuuma ja kuiva, ja kasveja kasteltiin todella paljon. Kosteassa ja jopa seisovassa vedessä viihtyvät lajit, lähinnä suovehka ja röyhyvihvilä, joiden osalta kastelumäärä ylitti niiden vedentarpeen, viihtyivät ilmeisen hyvin, vaikka ravinteisuus ei niille ilmeisesti optimaalinen ollutkaan. Suovehka kärsi jonkin verran typenpuutteen oireista ja tuholaisista, mutta molemmat lajit olivat pääsääntöisesti edustavan kokoisia ja kukkivat lähes normaalisti. Näiden lajien osalta tensiometrien lukemat pysyivät koko kesän kosteina (-30 - -60), lukuun ottamatta esimerkiksi vuotaneesta hanasta aiheutunutta kertaluontoista kuivumista.

Liiallinen kastelu saattoi aiheuttaa tarpeetonta stressiä luhtakastikalle, joka sai vettä tarpeeseensa nähden ilmeisesti liikaa, koska kaikkia astioita kasteltiin samalla tavalla, kuivimpien astioiden mukaan. Alkukesän kasvukauden luhtakastikan kasvustot voivat erinomaisesti, mutta kesän lopulla havaittiin selkeitä tautioireita (ruostepilkkuja), ja astioiden kasvustot tummuivat varsinkin alaosistaan. Astiakokeen järjestelyt loivat ääri rajoillaan eläville lajeille stressiä, mikä todennäköisesti näkyi tavallista kehnompana tautikestävyytenä, alhaisena peittävyysnä tai heikkona kasvuna, ja näistä syistä edellä mainittujen lajien osalta tuloksiin tulee suhtautua varauksella.

Kesä 2018 asetti myös omat haasteensa koko kokeen toteutukselle. Kasvien vedenkulutus oli kesän aikana erittäin suurta, sillä lämpötilat olivat korkeat ja sää aurinkoinen. Jos kasveille annettu vesi olisi ollut riittävää ja kasvualusta olisi pysynyt kaikilla lajeilla kosteana, kastelua ei olisi tarvinnut suorittaa samassa määrin. Erot kasvualustojen kosteudessa korreloivat täysin valuman kanssa siten, että kasvualusta oli tensiometrimittauksessa kuiva niillä lajeilla, joiden valumat olivat pieniä. Autokorrelaation vuoksi tensiometriä ei käytetty tilastoanalyseissa. Tehokkaimmat vedenkäyttäjät olivat sekä kokeen aikana tehtyjen havaintojen että tilastoanalyysien perusteella viiltosara, korpikaisla ja rantatyräkki. Sen sijaan kasviton verrokki päästi hyvin suuren osan vedestä läpi. Kuitenkin jokainen yksittäinen kasvilaji oli selvästi

tehokkaampi, kuin kasviton verrokki, ja nurmen tehokkuus vedenkäytössä oli kasvipeitteisistä selvästi heikoin.

Huomionarvoista on kuitenkin, että lajista riippumatta kasvipeite on aina parempi valinta kuin paljas maa, jos vesi on tarkoitus saada imeytymään. Tämä tulos on linjassa Helsingin yliopiston tutkimuksen kanssa, jossa todettiin, että kasvipeitteiset lysimetrit päästivät veden läpi nopeammin, kuin kasvittomat. Kasvilajin valinnalla hulevesikohteessa on siis selvästi merkitystä vesimäärään, jonka hulevesikohde voi pidättää tai haihduttaa. Mitä suurempi läpäisemättömän maanpinnan osuus valuma-alueella on, ja mitä pienempi hulevesikohde on suhteessa koko valuma-alueeseen, sitä tärkeämmäksi nousee kasvilajien kyky haihduttaa vettä ja edistää sen imeytymistä maahan. (Valtanen, Sillanpää and Setälä, 2017; Kuoppamäki, 2019).

Suotoveden määrään biohiillisyksellä ei havaittu olevan merkitsevää vaikutusta. On kuitenkin mahdollista, ja loppuhavaintojen perusteella todennäköistä, että biohiili vaikuttaa maan rakenteeseen ja näin ollen valumanopeuteen. Tälläkin voi joissakin olosuhteissa olla merkitystä. Kesän aikana tehtyjen havaintojen perusteella vaikutti siltä, että lajit jakaantuivat ekologisten ominaisuuksiensa vuoksi kahteen ryhmään - niihin, joille vesi ei millään meinaa riittää, ja niihin, jotka saivat vettä koko ajan liikaa. Kumpikaan ryhmä ei siis käyttänyt vettä optimaalisella tavalla, minkä vuoksi mahdolliset kasvualustasta johtuvat erot saattavat jäädä veden saannin epätasapainosta johtuvien erojen varjoon.

Kokeen aikana eroa biohiiltä sisältävän kasvualustan ja biohiilettömän kasvualustan välillä suotoveden määrässä oli vaikea havaita, eikä toistomittausanalyysissä vaikutusta havaittu lainkaan. Biohiilen kyky sitoa vettä huokosiinsa on rajallinen, ja toisenlaisissa olosuhteissa myös biohiili saattaisi vaikuttaa. Biohiilen raaka-aineiden ja valmistuslämmön vaikutusta vedensitomisominaisuuksiin on lopulta tutkittu melko vähän (Riikonen, 2017), vaikka biohiilelle on markkinoinnissa annettu melkoisia lupauksia (Carbons, 2019). Tässä koeasetelmassa lajien vaikutus suotoveden määrään oli niin merkittävä, että ne astiat, joissa oli vettä tehokkaasti hyödyntävä kasvi, todennäköisesti hyödynsivät myös biohiilen huokosiin jäänyttä vettä, kun taas

märkien astioiden biohiilen huokoset olivat jatkuvasti täynnä, eikä biohiileen siten enää voinut sitoutua uutta vettä. Mikäli tähän olisi otettu mukaan kunnollinen tilastanalyysi valumanopeudesta, on hyvinkin mahdollista, että biohiilen kohdalla olisi havaittu alustan kosteutta tasaavaa vaikutusta, ja huippuvaluman kesto olisi ollut matalampi ja kestoaltaan pidempi. Kokeen purkuprosessissa oli hyvin havaittavissa biohiilen maan rakennetta kuohkeuttava vaikutus.

Alustan vaikutus typen valumaan oli yksinäänkin tilastollisesti miltei merkitsevä ( $p=0,0649$ ), eli alustan biohiilikin todennäköisesti todella sitoo typpeä oikeissa olosuhteissa. Aidosti merkitseväksi ( $p=0,0203$ ) vaikutus muuttui yhdessä kasvilajin kanssa. Kasvit näyttivät reagoivan biohiiltä sisältävään kasvualustaan eri tavoin. Toisilla biohiili rajoitti typen valuntaa, kun taas toisilla typen valumat lisääntyivät (Kuva 3). Koko aineistosta suovehka, kasviton verrokki ja röyhyvihvilä erottuivat suurilla typpivalumillaan. Erytisen huomioitavaa on biohiilen merkittävä negatiivinen vaikutus suovehkan ja kasvittoman verrokin suotoveden typpipitoisuuteen, muilla lajeilla biohiili vaikutti positiivisesti ja vain lievästi. Tämä voisi viitata alustasta riippuvaan ravinnevuotoon, joka on ilmiönä tunnistettu aiemminkin (Buffam, Mitchell and Durtsche, 2016; Kuoppamäki *et al.*, 2016). Jo johdannossa mainittiin, että biohiilen vaikutus ravinnevuotoihin on ilmeisesti monesta seikasta riippuvainen asia, ja näin ollen tulokset saattaisivat näiltä osin olla erilaiset, jos muut ympäristötekijät olisivat kokeessa suosineet röyhyvihvilää ja suovehkaa.

Tilastotulosten mukaan kasviton verrokki näytti päästävän kaikkein vähiten fosforia suotovesiin, mikä poikkesi odotuksista. Kasvittomissa saaveissa oli myös pisin valumaveden viipymä. Sen sijaan hyvä vedenkäyttäjät, viiltosara, päästää kaikkein runsaimmin fosforia. mikä vaikuttaa myös mielenkiintoiselta. Veden pidempi viipymä kasvittomassa alustassa saattaa tehostaa puhdistumista ja etenkin fosforin sitoutumista maapartikkeleihin. Fosforin käyttäytyminen kasvualustassa vaihtelee muiden käytettävissä olevien mineraalien vaikutuksesta, ja ilmeisesti myös juurten ja mykoritsojen vuorovaikutuksesta (Risto Uusitalo, 2003). Hiekan tehokkuus tunnetaan myös vedenkäsittelymenetelmänä. Hiekkasuodatus on jo pitkään käytössä ollut ja tehokas vedenpuhdistuskeino, jota käytetään suuressa mittakaavassa sekä

jäteveden, että myös tekopohjaveden valmistamiseen (Kivimäki, 1992; Ymparisto.fi, 2013b, 2013a).

Toisaalta fosforin tehokas sitoutuminen kasvittomiin koeastioihin sopii yhteen Helsingin yliopistossa tehtyjen kokeiden tulosten kanssa. Näiden kokeiden perusteella biohiili ei ollut paras mahdollinen alusta ravinnepäästöjä ajatellen, sillä hiekka-alusta pidatti ravinteita selvästi paremmin. Tämä johtui ilmeisesti siitä, että hiekan ilmavuus ja raekoko suosivat ravinteita sitovan biofilmin muodostusta, hiekka-alustan happamuus sopi hyvin mikrobeille ja vesi kulki hiekan läpi sopivan hitaasti. Biohiililisäys ei silti ole täysin turha, mutta sitä olisi todennäköisesti järkevää yhdistellä erilaisiin kasvualustoihin. (Kuoppamäki, 2019). Varsinkin liikenne rakenteissa kyky sitoa raskasmetalleja puoltaa biohiilen käyttöä, ja tiiviimmissä maamassoissa se voisi olla oivallista salaojakerroksessa.

Xu tutkimustiimeineen osoitti, että kelluvissa kosteikoissa mikrobisto vaikutti huomattavasti kasvillisuuden ravinteiden sidontaan. Tämä tutkimus myös muistutti, että biomassa, joka korjataan hyötykäyttöön, vie ravinteita pois kierrosta, joten tässäkin suhteessa kasvipeitteiset hulevesiratkaisut tarjoavat laajalti mahdollisuuksia. (Xu *et al.*, 2017). Mikrobisto vaihtelee kasvilajien, olosuhteiden, kasvualustan ja kosteuden myötä suuresti eri paikkojen välillä. Tässä työssä mikrobiston osuutta ei huomioitu, joten sen merkitystä voidaan vain spekuloida. On luultavaa, että myös hiekkapohjaisissa maa-aineksissa ravinteiden ja etenkin typen sidonta perustuu nimenomaan mikrobitoimintaan. Kasvialustan kosteus lienee yksi merkittävä tekijä mikrobiston hyvinvoinnin kannalta. Kasvittoman, röyhyvihvilän, suovehkan ja luhtakastikan astioiden kosteus luultavasti pysyi kosteissa kasvialustoissa mikrobistolle tasaisen sopivana, eivätkä astiat ehtineet kuivua kasteluiden välissä. Korpikaislan ja Viiltosaran astiat taas kuivuivat kasteluiden välillä, ja rajusti vaihtelevat olosuhteet voivat olla mikrobiston pysyvyydelle haastelliset.

Koekastelun ajankohtaan liittyvä vaihtelu selittynee sillä, että kaikkien kasvien kasvu ja typen hyödyntäminen ei ollut vielä tehokkaimmillaan, kun ensimmäinen kastelu tehtiin. Suomen talven vaikutus mm. kosteikkojen toimintaan on tunnettu jo kauan – keväisten sulamisvesien mukanaan kuljettamat ravinteet on



paljon vaikeampi sitoa kasvustomassaan, joka ei vielä kasva kunnolla, kuin kesäaikaan, jolloin kasvien ravinteidenkäyttö on huipussaan (Himken *et al.*, 1997).

Typen ja fosforin suhde on erityisen kiinnostavana parametri siinä suhteessa, että kasvit tarvitsevat typpeä ja fosforia noin suhteessa 1:7 voidakseen yhteyttää ja kasvaa tehokkaasti. Rehevöitymisen kannalta typpi-fosforisuhde on tosin melko toissijainen, sillä Itämeren alueella ongelmana on nimenomaan fosfori, typpeä on yleensä muutoinkin riittävästi tarjolla (Särkkä, 1996). Vesistöissä fosforipäästöt mahdollistavat nimenomaan typpeä ilmasta sitovien eliöiden, kuten sinibakteerien massaesiintymät, sillä näille typensaanti ei ole ongelma, ja sinibakteerit hyötyvät kun suhde on alle 20 (Sammalkorpi and Järvinen, 2017). Toisaalta bakteerimassan itseensä sitoma typpi lisää vesiekosysteemissä kiertävän typen määrää, sillä vesien viilennyttyä bakteerimassa kuolee ja laskeutuu pohjaan muiden eliöiden hyödynnettäväksi.

Mikäli typpi-fosforisuhde poikkeaa paljon siitä, mitä kasvit kykenevät hyödyntämään, jää jompaakumpaa ravinnetta yli, ja se pääsee joko vuotamaan kasvualustasta eteenpäin vesistöihin tai aiheuttaa rehevöitymistä paikallisesti. Typpi-fosforisuhteen erot olivat kasvilajien välillä huomattavia. On kuitenkin huomattava, että suuri suhde ei sinänsä välttämättä tarkoita korkeita absoluuttisia ravinnepäästöjä, vaan se voi tarkoittaa myös sitä, että kasvit ovat kyenneet sitomaan vedestä kaiken typen, mutta eivät kaikkea fosforia. Toisaalta pieni suhde voi tarkoittaa, että typpeä on päässyt valumaan ulos paljon, vaikka absoluuttiset määrät olisivatkin pieniä. Absoluuttiseen päästöön kun vaikuttaa konsentraation lisäksi myös valuman määrä.

Valumaveden typpi-fosforisuhteeseen vaikutti myös kasvualusta, mikä sinänsä on loogista, jos kasvualusta vaikuttaa fosforiin, muttei juurikaan typpeen. Biohiilettömällä alustalla vaikuttaisi olevan fosforia noin 23-kertaisesti typpeen nähden, kun biohiilen kanssa suhde putoaa hieman yli 12:een. Sama koskee kastelukertojen välisiä eroja. Edeltäviä tuloksia heijastellen tämäkään ei yllätä, sillä ajankohta vaikutti vesinäytteiden typpipitoisuuteen, mutta ei fosforipitoisuuteen.

Vesinäytteiden happamuus (pH) on myös kiinnostava parametri, sillä ravinteiden liukoisuus muuttuu happamuuden mukana, ja esimerkiksi raskasmetallien liukoisuus lisääntyy happamissa olosuhteissa. pH-arvot olivat kautta linjan neutraaleja, eikä eroja muissakaan parametreissa voida selittää happamuuden ja ravinteiden liukoisuuksien kautta. Toisaalta kasvilajisto, happamuus ja mikrobisto ovat todennäköisesti vuorovaikuttavia keskenään. On myös huomattavaa, että nimenomaan mikrobisto on se tekijä, joka lisää ravinteiden liukoisuutta, ja muuntaa niitä kasveille käyttökelpoisempaan muotoon. Tässä tutkimuksessa olosuhteet eivät olleet välttämättä kovin otolliset mikrobeille niissä astioissa, joissa kosteus vaihteli merkittävästi. Tämä voisi selittää myös paljon vettä käyttäneiden kasvien kehnompaa ravinteiden sidontaa, sillä kosteuden vaihtelu saattoi mahdollistaa ravinnevuodot. Läpäisevässä alustassa vesi kulkee nopeasti, ja kasvi hyödyntää sitä tehokkaasti, jolloin mikrobistolla on vain lyhytaikaisesti mahdollisuus lisääntyä. Kasvualustan kuivuessa lisääntynyt mikrobisto kuolee, ja kun seuraava vesiansios tulee, kuolleen mikrobimassan sisältämät ravinteet huuhtoutuvat jälleen liikkeelle.

Keinohuleveden ravinteisuus oli varsin matala, ja tilanne on sama myös aitojen hulevesien kanssa. Aito hulevesi kuljettaa mukanaan myös runsaasti roskaa ja kiintoainesta, ja kiintoaineksen sitominen onkin yksi kasvipeitteen tärkeimpiä tehtäviä. Yleensä, kun kiintoainesta saadaan pysäytettyä, myös suurin osa ravinteista jää kiinni. Koeasetelmassa myös kasvualusta on erittäin vähäravinteinen, kun taas rakennetussa kaupunkiympäristössä kasvualustojen ominaisuudet voivat vaihdella paljonkin ympäristön mukaan. Tilannetta kompensoitiin kokeessa lannoittamalla kasveja hulevesikasteluiden jälkeen, jotta kasveilla olisi käytössään riittävästi ravinteita normaaliin kasvuun. Koska koekasteluiden välillä oli reilusti aikaa, oletan, että kasvit käyttivät kaikki saatavilla olleet ravinteet, tai ne huuhtoutuivat peruskastelun mukana pois, eivätkä näin päässeet vaikuttamaan koekasteluissa vesinäytteiden ravinteiden määrään.

Kasvilajien välillä on luontaisesti eroja kasvussa ja erilaisten olosuhteiden toleransseissa. Oletettiin, että biohiili voisi heikentää kasvien korkeuskasvua, koska biohiili sitoo itseensä kasvien tarvitsemia ravinteita, mikä tarkoittaa, että

ne eivät välttämättä olisi kasvien käytettävissä. Vaikutusta kasvuun testattiin sekä kasvuston vallitsevalla että maksimikorkeudella, jälleen lajikohtaisesti, sillä lajit tietysti poikkeavat toisistaan. On positiivista, että biohiili ei vaikuttanut kasveihin millään tässä havaitulla tavalla negatiivisesti. Tulos ei kutienkaan ollut erityisen yllättävä, sillä aiemminkin on todettu lähinnä matalissa lämpötiloissa valmistettujen biohiilien vaikuttavan kasveihin, ja seisottamisen vähentävän haitallisia vaikutuksia (Hagner *et al.*, 2016).

Kasvien kyky käyttää ravinteita hyödykseen vaikuttaa niiden omaan kasvuun ja biomassan muodostukseen. Maanäytteiden fosforipitoisuuteen vaikutti tässä kokeessa kasvilaji, mutta ei alusta. On jälleen todennäköistä, että ero johtui kasvien luontaisesta erosta hyödyntää kasvualustan ravinteita ja siitä, miten rehevään ympäristöön ne ovat lähtökohtaisesti sopeutuneet. Koska biohiilellä ei ollut vaikutusta, on täysin mahdollista, että kasvit kykenivät irrottamaan fosforia myös biohiilestä. Fosforinsitomispotentiaalin perusteella olisi voinut odottaa, että biohiilellä käsitelty kasvualusta olisi sisältänyt enemmän fosforia.

Biohiilen on todettu sitovan ravinteita itseensä (Kuoppamäki *et al.*, 2016), mutta sen sijaan ei tiedetä, miten hyvin kasvit voivat sen sieltä vapauttaa, mikäli tarvitsevat lisää ravinteita. On mahdollista, että tässä koeasetelmassa kaikki lajit käyttivät kaiken liikenevän typen kasvualustoistaan, sillä typpi vaikutti kasvustohavaintojen perusteella olevan kriittinen ravinne kasveille, ja typenpuutteeseen liittyviä oireita oli havaittavissa useilla lajeilla. Rehevämmässä kasvualustassa tilanne voisi siis olla toinen. Silloin biohiilen korkeampi tyypipitoisuus olisi selitettävissä yksinkertaisesti sillä, että biohiileen on sitoutunut typpeä, jota kasvit eivät ole saaneet siitä hyödynnettyä.

On myös oletettavaa, että ravinteiden puute saattaa tehostaa kasvien ravinteiden hyödyntämistä vedestä, eikä tilanne tältäkkään osin välttämättä vastaa tilannetta kaupunkiympäristössä. Oli kuitenkin yllättävää, että varsinkin alkukesän vesinäytteissä näytti vahvasti siltä, että kasvualustaan kaadettu hulevesi huuhtoi mukanaan vielä lisää ravinteita sen sijaan, että ravinteet olisivat sitoutuneet kasvualustan partikkeleihin tai biohiileen. Hulevesikohteen suunnitteluvaiheessa onkin syytä kiinnittää huomiota myös siihen, että veden viipymä kohteessa on riittävän pitkä, jotta kasveilla ja mikrobistolla on aikaa

hyödyntää sitä koko potentiaalillaan, ja mahdolliset ravinnevuodot saataisiin siten minimoitua.

Kaikki kasvipeitteet sitoivat kastelun aikana kasvualustan tehokkaasti paikalleen, ja kastelun yhteydessä ainoastaan kasvittomien astioiden pinnalle jäänyt vesi sameni läpinäkymättömäksi. Röyhyvihvilän ja suovehkan astioissa havaittiin myös samentumaa, mutta näillä lajeilla paljasta kasvualustaakin oli paljon. Kasvittomien astioiden pinnalle suihkutettu tai kaadettu vesi myös hävisi kaikkein hitaimmin. Molemmat ominaisuudet edesauttavat kiintoaineksen laskeutumista hulevesikohteeseen. Juuristojen erot ovat lajityypillisiä, ja kaikki kasvipeitteiset sitovat kuitenkin pintamaata paikoilleen. Kunnollisten juuristojen paikalleen sitoma kasvualusta ei lähde liikkeelle helposti sademäärien ja virtaamien voimasta.

#### 4.3 Yhteenveto

Tämän tutkimuksen pohjalta voidaan sanoa, että kasvilajit vaikuttavat merkittävästi sekä suotoveden määrään että suotoveden ravinnepitoisuuksiin. Biohiilellä voidaan sopivissa oloissa todennäköisesti hillitä vesistöihin päätyvien ravinteiden määriä, ja mahdollisesti vaikuttaa tulvahuippujen voimakkuuteen ja kestoon. Biohiili voi myös parantaa kasvualustan ominaisuuksia siellä, missä tapahtuu herkästi tiivistymistä, mutta tässä tutkimuksessa ei havaittu biohiilen vaikuttavan kasvien hyvinvointiin. Sekä kasvilajilla että biohiilellä oli myös vaikutusta kasvualustan ravinneominaisuuksiin.

Oikeanlaisen suunnitteluratkaisun merkitys on urbaaneilla alueilla erittäin olennainen. Hyvä suunnittelu mahdollistaa yhden tavan sijaan monen tavan yhtäaikaisen käytön, ja näin ollen sama ratkaisu voi palvella monta tarkoitusta. Vesitaloutta ajatellen biomassan sekä vesi- ja ravinnepäästöjen välinen yhteys vaikuttaa selkeältä. Mitä enemmän biomassaa kohteessa on, sitä paremmin se myös sitoo ravinteita (Wang, Sample and Bell, 2014). Tässä tutkimuksessa saadut tulokset viittaavat samaan, sillä pääsääntöisesti suurimmat kasvilajit sitoivat tehokkaimmin vettä, ja vaikka valumien ravinnepitoisuus saattaa olla suurempi, tehokas veden haihdutus voi jättää kokonaispäästön kuitenkin

huomattavasti pienemmäksi. On kuitenkin huomattava, että käytännössä suunnittelukohteisiin valitaan aina useampia lajeja, ja lajien ja alustan yhdistelmäratkaisulla kokonaistuloksesta voidaan saada erinomainen (Mangangka *et al.*, 2015).

Merkittävää kuitenkin on, että pääasiassa ravinteita kuitenkin sitoutuu biomassaan ja maaperään, mikä puoltaa viheralueiden käyttöä hulevesien hallinnassa. Viheralueiden tarjoamat ekosysteemipalvelut käsittävät myös muita elämän osa-alueita kuin ainoastaan hulevesien hallinnan. Ne parantavat ilmanlaatua, tasaavat ilman lämpötilaa ja kosteutta sekä lievittävät stressiä.

Oikeastaan kaikki aiheesta tehdyt tutkimukset peräänkuuluttavat pitkäaikaisseurannan perään, ja suomalainen aineisto korostaa lisäksi erityisesti vuodenaikaisvaihteluita ja erilaisten maa-ainesten käyttöä hulevesikohteissa.

## LÄHTEET

- Agegnehu, G., Nelson, P. N. and Bird, M. I. (2016) 'The effects of biochar, compost and their mixture and nitrogen fertilizer on yield and nitrogen use efficiency of barley grown on a Nitisol in the highlands of Ethiopia', *Science of The Total Environment*, 569–570, pp. 869–879. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.033.
- Bilotta, G. S. and Brazier, R. E. (2008) 'Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota'. doi: 10.1016/j.watres.2008.03.018.
- Blecken, G.-T. *et al.* (2009) 'Influence of intermittent wetting and drying conditions on heavy metal removal by stormwater biofilters'. doi: 10.1016/j.watres.2009.07.008.
- Blecken, G. T. *et al.* (2010) *Laboratory study on stormwater biofiltration: Nutrient and sediment removal in cold temperatures*, *Journal of hydrology*. Available at: <https://seafire.utu.fi/lib/0581ac36-df4c-4e1f-a60d-c6ef102aefd6/file/Literature/1-s2.0-S0022169410006116-main.pdf> (Accessed: 6 September 2018).
- Bratieres, K. *et al.* (2008) 'Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: A large-scale design optimisation study'. doi: 10.1016/j.watres.2008.06.009.
- Buffam, I., Mitchell, M. E. and Durtsche, R. D. (2016) 'Environmental drivers of seasonal variation in green roof runoff water quality', *Ecological Engineering*, 91, pp. 506–514. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.02.044.
- Carbons (2019) *Biohiili | Carbons Finland Oy*. Available at: <https://carbons.fi/biohiili/> (Accessed: 14 December 2019).
- Carpenter, S. R. *et al.* (1998) 'Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen', *Ecological Applications*, 8(3), pp. 559–568. doi: 10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2.
- DayWater Consortium (2003) *Review of the Use of stormwater BMPs in Europe*. Available at: <https://www.leesu.fr/daywater/REPORT/D5-1.pdf> (Accessed: 9 May 2019).
- Euroopan komissio (2015) *Komission tiedonanto jäsenvaltioille 9.3.2015*. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52012DC0670>. (Accessed: 29 August 2018).
- Euroopan parlamentti ja neuvosto (2000) *Direktiivi 2000/60/EY*. Available at: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0010.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0010.02/DOC_1&format=PDF) (Accessed: 8 May 2019).
- Euroopan parlamentti ja neuvosto (2007) *Direktiivi 2007/60/EY*. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0060&from=FI> (Accessed: 8 May 2019).
- European Environment Agency (2019) *CICES, Revision Highlights*. Available at: <https://cices.eu/revision-highlights/> (Accessed: 29 April 2019).
- Faehnle, M., Bäcklund, P. and Laine, M. (2009) *Kaupunkiluontoa kaikille*. Available at: [www.hel.fi/tietokeskus/](http://www.hel.fi/tietokeskus/) (Accessed: 14 December 2019).
- Güereña, D. T. *et al.* (2019) 'Nodulation of beans with inoculant carriers from pyrolyzed and non-pyrolyzed sugarcane bagasse in response to different pre-planting water availability', *Applied Soil Ecology*, 143, pp. 126–133. doi: 10.1016/j.apsoil.2019.06.010.
- Hagner, M. *et al.* (2016) 'The effects of birch (*Betula* spp.) biochar and pyrolysis temperature on soil properties and plant growth', *Soil & Tillage Research*, 163, pp. 224–234. doi: 10.1016/j.still.2016.06.006.

- Hassall, C. and Anderson, S. (2014) 'Stormwater ponds can contain comparable biodiversity to unmanaged wetlands in urban areas', *Hydrobiologia*. doi: 10.1007/s10750-014-2100-5.
- Himken, M. *et al.* (1997) *Cultivation of Miscanthus under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization, Plant and Soil*. Kluwer Academic Publishers.
- Hoel, B. O. and Solhaug, K. A. (1998) 'Effect of Irradiance on Chlorophyll Estimation with the Minolta SPAD-502 Leaf Chlorophyll Meter', *Annals of Botany*. No longer published by Elsevier, 82(3), pp. 389–392. doi: 10.1006/ANBO.1998.0683.
- Hoyer, J. *et al.* (2010) *Water Sensitive Urban Design Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future*, J. Lee. Available at: [www.switchurbanwater.eu](http://www.switchurbanwater.eu) (Accessed: 30 May 2019).
- Ilmatieteenlaitos (2019) *Sade - Ilmatieteen laitos, Ilmatieteenlaitos web pages*. Available at: <https://ilmatieteenlaitos.fi/sade> (Accessed: 1 November 2019).
- Juhanoja, S. and Tuhkanen, E. (2019) *Luonnonkasvit ja biohiili hulevesien hallinnassa Luonnonkasvit ja biohiili hulevesien hallinnassa*.
- Kaarinan kaupunki (2019) *Visit Kaarina: Järvelän kosteikko*. Available at: [http://www.visitkaarina.fi/nauti/luonto/fi\\_FI/jarvela/](http://www.visitkaarina.fi/nauti/luonto/fi_FI/jarvela/) (Accessed: 14 December 2019).
- Kivimäki, A.-L. (1992) *Tekopohjavesiläitökset suomessa*. Vesi- ja ympäristöhallinto.
- Klöve, B. *et al.* (2012) 'Turvetuotannon kuormitus'.
- Komulainen, M. (2018) *Kaupunkien pienvedet kunniaan ja hulevedet hallintaan! – Turun ammattikorkeakoulu*. Available at: <https://www.turkuamk.fi/fi/ajankohtaista/1813/kaupunkien-pienvedet-kunniaan-ja-hulevedet-hallintaan/> (Accessed: 6 February 2019).
- Kuntaliitto.fi (2015) *Hulevesiopas* |. Available at: <https://www.kuntaliitto.fi/asiatuntijapalvelut/yhdyskunnat-ja-ymparisto/tekniikka/hulevesien-hallinta/hulevesiopas> (Accessed: 6 February 2019).
- Kuoppamäki, K. *et al.* (2016) 'Biochar amendment in the green roof substrate affects runoff quality and quantity', *Ecological Engineering*, 88, pp. 1–9. doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.12.010.
- Kuoppamäki, K. (2019) 'Biosuodatus Kasvillisuuden ja suodatusmateriaalien', in *Hule Smart&Clean*.
- Laatikainen, T. E. (2019) *Environments for Healthy and Active Ageing*. Aalto University. Available at: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-3779-0> (Accessed: 14 December 2019).
- Laurenson, G. *et al.* (2013) *1-s2.0-B978012407686000004X-main.pdf - Private Seafile, Advances in Agronomy*. Available at: <https://seafile.utu.fi/lib/0581ac36-df4c-4e1f-a60d-c6ef102aefd6/file/Literature/1-s2.0-B978012407686000004X-main.pdf> (Accessed: 6 September 2018).
- Littell, R. C. *et al.* (2002) *SAS for linear models*. 4. ed. SAS Institute. Available at: <https://utu.finna.fi/Record/volter.1131907> (Accessed: 30 May 2019).
- Mangangka, I. R. *et al.* (2015) 'Performance characterisation of a stormwater treatment bioretention basin'. doi: 10.1016/j.jenvman.2014.11.007.
- Markwell, J., Osterman, J. C. and Mitchell, J. L. (1995) 'Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter', *Photosynthesis Research*. Kluwer Academic Publishers, 46(3), pp. 467–472. doi: 10.1007/BF00032301.
- Pantsu, P. (2018) *Katso lista: Ottaako kuntasi käyttöön hulevesimaksun? 34 kuntaa laskuttaa jo | Yle Uutiset | yle.fi, Yle Uutiset*. Available at: <https://yle.fi/uutiset/3-9998438> (Accessed: 29 April 2019).

Read, J. *et al.* (2007) 'Variation among plant species in pollutant removal from stormwater in biofiltration systems', *Water Research*, 42. doi: 10.1016/j.watres.2007.08.036.

Richards, S., Dawson, J. and Stutter, M. (2019) 'The potential use of natural vs commercial biosorbent material to remediate stream waters by removing heavy metal contaminants', *Journal of Environmental Management*. Academic Press, 231, pp. 275–281. doi: 10.1016/J.JENVMAN.2018.10.019.

Riikonen, A. (2017) *Biohiili ja sen käyttömahdollisuudet viherrakentamisessa esiselvitys*.

Risto Uusitalo, E. (2003) *Potential bioavailability of particulate phosphorus in runoff from arable clayey soils Doctoral Dissertation, Agrifood Research Reports*. Available at: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met53.pdf> (Accessed: 14 December 2019).

Sammalkorpi, I. and Järvinen, M. (2017) 'Miksi sinileväkukinnat vähenevät toisella järvellä mutta toisella eivät?', in.

Särkkä, J. (1996) *Järvet ja ympäristö: limnologian perusteet*. Gaudeamus, Tamperepaino. Available at: <https://utu.finna.fi/Record/volter.621940> (Accessed: 28 September 2019).

Shrestha, P., Hurley, S. E. and Wemple, B. C. (2018) 'Effects of different soil media, vegetation, and hydrologic treatments on nutrient and sediment removal in roadside bioretention systems', *Ecological engineering*, 112. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.12.004.

Siintoharju, P. (2016) *Jätevedenpumppaamoiden ylivuotojen ja jätevedenpuhdistamoiden ohitusten ympäristöriskit ja hallinta Pirkanmaalla PIIA SIINTOHARJU*.

Silvennoinen, S. *et al.* (2017) 'Monetary value of urban green space as an ecosystem service provider: A case study of urban runoff management in Finland', *Ecosystem Services*. Elsevier, 28, pp. 17–27. doi: 10.1016/J.ECOSER.2017.09.013.

Suomen ympäristökeskus (2016) *Suomen keskeisimmät ekosysteemipalvelut | Luonnontila.fi, Luonnontila.fi*. Available at: <https://www.luonnontila.fi/ekosysteemipalvelut/etusivu/> (Accessed: 29 April 2019).

Suomen ympäristökeskus (2017) *Hulevesitulvariski*. Available at: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin\\_varautuminen/Tulvariskien\\_hallinta/Tulvariskien\\_hallinnan\\_suunnittelu/Tulvariskien\\_alustava\\_arviointi\\_hulevesitulvat](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelu/Tulvariskien_alustava_arviointi_hulevesitulvat) (Accessed: 8 May 2019).

Suomen ympäristökeskus (2019) *Tulvariskialueet*. Available at: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin\\_varautuminen/Olenko\\_tulvariskialueella?f=VarsinaisSuomen\\_ELYkeskus](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Olenko_tulvariskialueella?f=VarsinaisSuomen_ELYkeskus) (Accessed: 8 May 2019).

Trowsdale, S. A. and Simcock, R. (2011) 'Urban stormwater treatment using bioretention'. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.11.023.

Vakkilainen, P., Kotola, J. and Nurminen, J. (2005) *Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta*. Available at: <http://www.ymparisto.fi/julkaisut> (Accessed: 14 December 2019).

Valtanen, M., Sillanpää, N. and Setälä, H. (2015) 'Key factors affecting urban runoff pollution under cold climatic conditions', *Journal of Hydrology*, 529, pp. 1578–1589. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.08.026.

Valtanen, M., Sillanpää, N. and Setälä, H. (2017) 'A large-scale lysimeter study of stormwater biofiltration under cold climatic conditions', *Ecological Engineering*, 100, pp. 89–98. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.12.018.

Valtioneuvosto (2001) 'FINLEX ® - Ajantasainen lainsäädäntö: Vesihuoltolaki 119/2001'. Oikeusministeriö, Edita Publishing Oy. Available at: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2001/20010119> (Accessed: 29 August 2018).

Valtioneuvosto (2010) 'Laki tulvariskien hallinnasta'. Oikeusministeriö, Edita Publishing Oy. Available at: <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2010/20100620> (Accessed: 8 May 2019).



Wang, C. Y., Sample, D. J. and Bell, C. (2014) 'Vegetation effects on floating treatment wetland nutrient removal and harvesting strategies in urban stormwater ponds', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 499(1), pp. 384–393. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.08.063.

Wang, S. *et al.* (2017) 'Nitrogen removal from urban stormwater runoff by stepped bioretention systems', *Ecological Engineering*, 106, pp. 340–348. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.05.055.

Wu, J. *et al.* (2017) 'Performance of biofilter with a saturated zone for urban stormwater runoff pollution control: Influence of vegetation type and saturation time', *Ecological Engineering*, 105, pp. 355–361. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.05.016.

Wu, X. *et al.* (2019) 'Investigating the effect of biochar on the potential of increasing cotton yield, potassium efficiency and soil environment', *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 182, p. 109451. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109451.

WWF Suomi (2013) *Menestystarinoita kosteikoista*. Available at: <https://wwf.fi/mediabank/4488.pdf> (Accessed: 13 May 2019).

Xu, B. *et al.* (2017) 'Improving Urban Stormwater Runoff Quality by Nutrient Removal through Floating Treatment Wetlands and Vegetation Harvest.', *Scientific reports*. Nature Publishing Group, 7(1), p. 7000. doi: 10.1038/s41598-017-07439-7.

Ymparisto.fi (2013a) *Vedenhankinta kaivosta > Kaivoveden käsittely*. Available at: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset\\_jarjestelmat\\_LVI/Vedenhankinta\\_kaivosta/Kaivoveden\\_kasittely](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset_jarjestelmat_LVI/Vedenhankinta_kaivosta/Kaivoveden_kasittely) (Accessed: 15 December 2019).

Ymparisto.fi (2013b) 'Vedenkäsittelymenetelmien toimintaperiaatteet'.

Zhang and Zhang, S. (2014) 'Water resources management.', *Water Resources Management*. Kluwer Academic Publishers, 28(1), pp. 149–168. Available at: <https://utu.finna.fi/PrimoRecord/pci.proquest1468833083> (Accessed: 6 February 2019).

## LIITTEET

### Liite 1; Kuvaus koeastioiden perustamisesta

Saaveihin, joiden vetoisuus oli 200 litraa, laitettiin pohjalle salaojakerrokseksi 10 cm pestyä sepeliä, jonka partikkelikoko on 16-32 mm. Sepelin päälle asetettiin suodatinkangas. Saaviin lisättiin noin 140 litraa jompaakumpaa kasvualustaa astiaa kohti. Biohiili oli Charcoal Finland Oy:n koivupohjainen tuote. Biohiili sai seistä Tyhjää tilaa jokaiseen saaviin jätettiin noin 10 cm yläreunasta. Lisäksi astioihin on asennettu salaojakerrokseen hana, josta valunnan saa kerättyä talteen.

Kasvualusta 1 sisäsi 20 % sokerijuurikkaiden pesusta jäänyttä peltomultaa ja 80 % kivennäismaata. Maa-analyysien mukaan kivennäismaa-aines oli pääasiassa hiekkaa ja karkeaa hietaa. Samaa kasvualustaa on käytetty valtatie 8:n tienvarsi-istutuksiin.

Kasvualusta 2:een lisättiin 10% biohiiltä. Biohiili oli Charcoal Finland Oy:n koivusta valmistettua tuotetta, ja sen annettiin seistä ennen kasvien istutusta, jotta biohiileen mahdollisesti pyrolyysiprosessin jälkeen jääneet, kasvua haittaavat haihtuvat yhdisteet haihtuvat.

