



Aalto-yliopisto  
Insinöörیتieteiden  
korkeakoulu

Elina Lehikoinen

**Kadun vastavalmistuneiden huleveden biosuodatusalueiden  
toimivuus Vantaalla**

Espoossa 19.5.2015

Valvoja: Professori Harri Koivusalo

Ohjaajat: DI Marika Orava

FM Pinja Kasvio

---

**Tekijä** Elina Lehikoinen

---

**Työn nimi** Kadun vastavalmistuneiden huleveden biosuodatusalueiden toimivuus Vantaalla

---

**Laitos** Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos

---

**Professori** Tekninen vesitalous**Professuurikoodi** Yhd-12

---

**Työn valvoja** Professori Harri Koivusalo

---

**Työn ohjaajat** DI Marika Orava, FM Pinja Kasvio

---

**Päivämäärä** 19.5.2015**Sivumäärä** 97+13**Kieli** Suomi

---

Työn tavoitteena oli selvittää kahden erilaisen biosuodatusalueen rakentamisen jälkeistä käyttäytymistä niin toimivuuden kuin kunnossapidon näkökulmasta. Biosuodatusalueet sijaitsevat Vantaalla ja niiden tutkimuksen lähtökohtana olivat Etelä-Suomen kylmät ilmasto-olot. Vantaan kaupunki rakennutti Tikkurilantien uuden katualueen rakennustöiden yhteydessä ajoradan ja kevyenliikenteenväylän väliin pitkän kadunsuuntaisen biosuodatusalueen. Biosuodatusalue muodostuu seitsemästä tarkkailukohteesta, joissa pintakasvillisuus ja rakennekerrokset muodostavat erilaisia kombinaatioita. Tikkurilantien lisäksi Vantaan kaupunki rakennutti Meiramitien peruskorjauksen yhteydessä ajoradan ja kevyenliikenteenväylän väliin viisi biosuodatusaluetta ja kaksi viheraluetta, joissa kasvillisuus on monipuolista ja vaihtelee biosuodatusalueittain.

Tikkurilantiella biosuodatusalueen tutkimus keskittyi tarkkailukohteiden keskinäiseen vertailuun ja ajalliseen muutokseen sekä parhaimman kombinaation löytämiseen laboratorioanalyysien avulla. Lisäksi biosuodatusalueiden toimintaa mallinnettiin sadanta-valunta –mallilla (*Storm Water Management Model, SWMM*). Työssä selvitettiin, mitä lähtötietoja biosuodatusalueiden mallintamiseen tarvitaan ja miten mallintamista voidaan hyödyntää biosuodatusalueiden suunnittelussa. Meiramitiellä biosuodatusalueiden toimivuutta ja kunnossapidon vaatimuksia selvitettiin haastatteleamalla Vantaan kaupungin kuntatekniikan keskuksen henkilöstöä sekä tekemällä maastokäyntejä erilaisten sääolosuhteiden aikaan.

Työn tulokset osoittivat, että vastavalmistuneet biosuodatusalueet ovat erityisesti ravinteiden päästölähteitä, mutta osittain lisäävät heti valmistuttuaan myös kiintoainetta, sameutta sekä raskasmetalleja poistuvaan huleveteen. Suurimmaksi kuormittajaksi todettiin kasvualusta, mutta toisaalta pelkkä hiekkasuodatus antoi heikkoja tuloksia etenkin ravinteiden pidättymisessä. Tarkkailujakson aikana biosuodatusalueiden laadullisessa toimivuudessa oli havaittavissa positiivista muutosta sekä määrällisesti biosuodatusalueet toimivat hyvin koko tarkkailujakson ajan luoden viihtyisän maisemakuvan. Haastatteluissa korostettiin biosuodatusalueiden suunnittelun monitieteisyyttä ja avointa kommunikaatiota eri osapuolten välillä. Kadunpidon ja virhealueyksikön kunnossapidon vaatimusten huomioon jo luonnosvaiheessa osoittautui erittäin tärkeäksi.

Jatkotutkimuksia tarvitaan selvittämään, miten vastavalmistuneiden biosuodatusalueiden toimivuus tasaantuu, ja biosuodatusalueiden haitta-aineiden pidätyskyky muuttuu pitkän ajan kuluessa. Vastaavasti tarvitaan myös lisäselvitystä biosuodatusalueiden kasvillisuuden ja rakennekerrosten kunnossapitovälistä, jotta biosuodatusalueiden toimintaan pystytään arvioimaan pitkän aikavälin kokonaistoimivuuden perusteella.

---

**Avainsanat** hulevesi, biosuodatus, Vantaa, rakentamisen jälkeinen toimivuus, tilastollinen analyysi (SPSS), mallintaminen (SWMM)

---

---

<b>Author</b> Elina Lehtikoinen		
<b>Title of thesis</b> The performance of the post-construction bioretention systems in Vantaa		
<b>Department</b> Civil and Environmental Engineering		
<b>Professorship</b> Water Resources Engineering	<b>Code of professorship</b> Yhd-12	
<b>Thesis supervisor</b> Professor Harri Koivusalo		
<b>Thesis advisors</b> M.Sc. Marika Orava, M.A. Pinja Kasvio		
<b>Date</b> 19.5.2015	<b>Number of pages</b> 97+13	<b>Language</b> Finnish

---

The objective of this study was to investigate the performance of two different bioretention systems, Tikkurilantie and Meiramitie, right after their construction from the perspective of functioning and maintenance. The bioretention systems were located in Vantaa in Southern Finland, where cold climate conditions prevail. The bioretention system in Tikkurilantie was built by the City of Vantaa between the roadway and the walkaway. The system consisted of seven different monitoring areas with different combinations of vegetation types and soil layers. The bioretention system in Meiramitie was built by the City of Vantaa during the renovation of the road. In Meiramitie there are five different systems and two greeneries where the vegetation is diverse and varies between the different systems.

In Tikkurilantie the study of the bioretention systems was focused on their mutual comparison, the temporal change of the system behavior, and the identification of the best vegetation and soil layer combination. In addition to the laboratory analyses of water samples, one bioretention system was modeled with rainfall-runoff simulation model SWMM (*Storm Water Management Model*). The modeling objective was to explore the input data requirements and utilization of SWMM for designing the bioretention systems. In Meiramitie the study was performed by interviews with the focus on the functionality and maintenance of the bioretention systems. The interviews were complemented with field visit during different weather conditions.

The results showed that during the post-construction period the bioretention systems can release especially nutrients but partially also increase solids, turbidity and heavy metals in stormwater outflow. The growth media was discovered to be the major source of pollutants. In the system with sand as the sole filter material the retention was found to be poor. Despite the poor retention performance of the systems a positive change was detected in the quality of the stormwater within the monitoring period, and the systems retained the stormwater well and created a diversity in the local landscape. Interdisciplinary work and open communication between different parties were emphasized during the interviews. Especially maintenance requirements need to be taken into consideration during the design process.

Further research is needed to find out how long time it takes before the bioretention systems start to work properly after the construction and systems achieve their real pollutant retention capacity. Additionally, more research is also required to find out the maintenance interval for vegetation and soil layers in an order to evaluate the long term performance of the systems.

---

**Keywords** stormwater, bioretention, Vantaa, post-construction performance, statistical analysis (SPSS), modeling (SWMM)

---

## ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Vantaan kaupungille ja Suomen Ympäristökeskukselle, joita haluan kiittää erittäin mielenkiintoisen työn tarjoamisesta sekä luottamuksen osoittamisesta läpi työn. Lisäksi haluan kiittää Vantaan kaupunkia työn rahoittamisesta sekä Maa- ja vesitekniikan tuki ry:tä työn rahallisesta tukemisesta.

Ensimmäiseksi haluan kiittää työni valvojaa, Aalto-yliopiston professoria Harri Koivusaloa, joka järjesti aina aikaa tapaamisiin sekä antoi tukensa ja arvokkaita neuvoja koko prosessin ajan. Haluan kiittää myös Vantaan kaupungin Marika Oravaa työn ohjaamisesta ja mielenkiinnon jakamisesta biosuodatuksen pulmallisiin kysymyksiin sekä Suomen Ympäristökeskuksen Pinja Kasviota uusien näkökulmien ideoimisesta ja Jukka Jormolaa pitkän kokemuksen omaavista kommentteista.

Työn SWMM –mallintaminen ei olisi onnistunut ilman Gerald Krebsin ja Harri Keinäsen neuvoja ja kannustusta. Laboratorionäytteiden analysoinnissa sain korvaamatonta apua Aino Peltolalta, Marina Sushkolta ja Ville Lindgreniltä. Lisäksi haluan kiittää Vantaan kaupungin kuntatekniikan Esa Karhua, Seija Tulosta ja Jyrki Vättöä, jotka suostuivat haastatteluun ja kertoivat avoimesti biosuodatusalueiden onnistumisista ja haasteista. Keskustelut Nora Sillanpään kanssa auttoivat viemään työtä oikeille raiteille sekä ymmärtämään biosuodatuksen laajempaa kontekstia. Kiitoksen ansaitsevat myös Vantaan kaupungin kuntatekniikan ja Aalto-yliopiston vesilaboratorion henkilöstö hauskoista kahvihetkistä sekä tsempistä työn suhteen.

Lopuksi haluan kiittää loistavaa perhettäni, joka on ehdoitta tukenut ja kannustanut minua niin tämän työn kuin myös läpi elämän, kaikessa. Olen teistä hyvin kiitollinen. Myös rakkaat isovanhempani ovat kanssaeläneet seikkailujani niin Otaniemessä kuin ympäri maailmaa, mikä on tehnyt matkanteosta kevyempää. Lisäksi suuren kiitoksen ansaitsevat huikeat ystäväni niin lähellä kaukaa, te tuotte iloa ja naurua elämäni.

*“There is a delight in the hardy life of the open.  
There are no words that can tell the hidden spirit of the wilderness,  
that can reveal its mystery, its melancholy and its charm.  
The nation behaves well if it treats the natural resources as assets  
which it must turn over to the next generation increased; and not impaired in value.  
Conservation means development as much as it does protection.”*

*Theodore Roosevelt*

Espoossa 19.5.2015

Elina Lehikoinen

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
SISÄLLYSLUETTELO	i
LYHENTEET JA MERKINNÄT	iii
TERMINOLOGIA	vi
KUVALUETTELO	viii
TAULUKKOLUETTELO	x
1 JOHDANTO	1
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	4
2.1 Huleveden hallinnan historia ja nykytilanne	4
2.2 Huleveden hallinnan lainsäädäntö ja raja-arvot	5
2.3 Huleveden ominaispiirteet	7
2.3.1 Lämpisemättömien pintojen vaikutus huleveden muodostumiseen	7
2.3.2 Liikenteen vaikutus huleveden laatuun	8
2.3.3 Valunnan vaikutus hulevesipitoisuuksiin	9
2.3.4 Hulevesinäytteiden kerääminen ja tulosten analysointi	11
2.4 Huleveden hallinta biosuodatuksella	13
2.4.1 Biosuodatuksen toimintaperiaate ja rakenne	13
2.4.2 Biosuodatuksen hydraulinen johtavuus	16
2.4.3 Kylmien ilmasto-olojen vaikutus biosuodatuksen toimivuuteen	17
2.4.4 Huleveden haitta-aineiden pidäytyminen biosuodatuksen avulla	20
2.4.5 Biosuodatuksen rakentaminen ja kunnossapito	22
2.5 Motivaatio tutkimukseen	24
3 TARKKAILUKOHTTEIDEN KUVAUS	26
3.1 Tikkurilantien biosuodatusalueet	26
3.2 Meiramitien biosuodatusalueet	29
3.3 Tarkkailukohteiden kunnossapito	32
3.4 Tarkkailukohteiden etukäteen tunnistetut onnistumiset ja ongelmat	33
4 AINEISTO JA TUTKIMUSMETODOLOGIA	35
4.1 Valitut tutkimusmenetelmät	35
4.2 Tikkurilantien biosuodatusalueiden aineisto ja määrällinen tutkimus	37
4.2.1 Näytteenottopäivät ja laboratoriotutkimukset	37
4.2.2 Vallitsevat sääolosuhteet	39
4.2.3 Katualueen hulevesinäytteet	40
4.2.4 Biosuodatusalueiden maanäytteet	41
4.2.5 Biosuodatusalueiden hulevesinäytteet	41
4.2.5.1 Kolmitasoinen aineisto	41
4.2.5.2 Keskinäinen vertailu	43
4.2.5.3 Ajallinen muutos	43
4.2.6 Näytteenottoajankohdan tärkeys	44
4.2.7 Hulevesinäytteiden tilastollinen tarkastelu	45
4.2.8 Valunnan ja kuormituksen arviointi	45
4.2.8.1 Storm Water Management Model (SWMM) –mallinnusohjelma	45
4.2.8.2 Laskennallisen valunta- ja LID –mallin rakentaminen	46
4.2.8.3 Rakennekerrosmateriaalien ja –paksuuden vaikutus	48
4.2.8.4 Toimivuuden tarkastelu vesitaseen avulla	49

4.2.8.5	Sääolosuhteiden merkitys .....	49
4.2.8.6	Maaperän alkukosteuden vaikutus .....	50
4.2.8.7	Tarkastelujakson kuormituksen arviointi .....	51
4.3	Meiramitien biosuodatusalueiden aineisto ja laadullinen tutkimus .....	51
5	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....	52
5.1	Tikkurilantien biosuodatusalueiden määrällisen tutkimuksen tulokset ja tulosten tarkastelu .....	52
5.1.1	Katualueen hulevesinäytteet .....	52
5.1.2	Hulevesinäytteiden keskinäinen vertailu .....	53
5.1.2.1	Ominaisuusalueiden (OA1, OA2 ja OA3) keskinäinen vertailu .....	53
5.1.2.2	Biosuodatusalueiden (BS1–BS7) keskinäinen vertailu .....	55
5.1.3	Hulevesinäytteiden ajallinen muutos .....	57
5.1.3.1	Valuma-alueiden (VA1, VA2 ja VA3) ajallinen muutos .....	57
5.1.3.2	Biosuodatusalueiden (BS1–BS7) ajallinen muutos .....	60
5.1.4	Näytteenottoajankohdan tärkeys .....	65
5.1.5	Hulevesinäytteiden tilastollinen tarkastelu .....	67
5.1.6	Valunnan ja kuormituksen arviointi .....	70
5.1.6.1	Laskennallinen LID –malli .....	70
5.1.6.2	Rakennekerrosmateriaalien ja –paksuuden vaikutus .....	71
5.1.6.3	Toimivuuden tarkastelu vesitaseen avulla .....	72
5.1.6.4	Sääolosuhteiden merkitys .....	73
5.1.6.5	Maaperän alkukosteuden vaikutus .....	74
5.1.6.6	Tarkastelujakson kuormituksen arviointi .....	75
5.2	Meiramitien biosuodatusalueiden laadullisen temahaastattelun koonti .....	76
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET .....	86
	LÄHDELUETTELO .....	90
	LIITTELUETTELO .....	97
	Liitteet	

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

1- $\alpha$	Luottamustaso
AHT	Liikennemäärän aamuhuipputunti
$\alpha$	Riskitaso
BOD <sub>5</sub>	Biologinen hapenkulutus
$C$	Virtaamanopeus [mm/h]
$C_t$	Haitta-ainepitoisuuksien vaihtelu [mg/l]
$Cl$	Kloridi [mg/l]
$COD_{Mn}$	Kemiallinen hapenkulutus
$Cr$	Kromi [ $\mu$ g/l]
$Cu$	Kupari [mg/l]
$d$	Alemman ja ylemmän luottamusrajan etäisyys
$D$	Varastotilan korkeus [mm]
$e_a$	Absoluuttinen sallittu virhe ( $\pm$ keskiarvosta)
$E$	Haihdunta [ $m^3$ ]
EMC	Tapahtumakohtaisella valunnalla painotettu pitoisuuskeskiarvo [mg/l]
EPA	United States Environmental Protection Agency
$ET_C$	Kokonaishaihdunta [mm]
$ET_0$	Kasvillisuuden haihdunta [mm]
$f$	Suotautumisnopeus [mm/h]
$F$	Suotautumismäärä [mm]
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
$FC$	Vedenpidätyskyky
$Fe$	Rauta [mg/l]
GI	Green Infrastructure
$\Phi$	Huokoisuus
$h$	Varastotilan korkeus [mm]
H	Yleinen hypoteesi
$H_d$	Kuivatuskorkeus [mm]
$h_t$	Vesipatsaan korkeus
$H_0$	Nollahypoteesi
$H_1$	Vaihtoehtoinen hypoteesi
$H_d$	Kuivatuskorkeus [mm]
IHT	Liikennemäärän iltahuipputunti
ISM	Innovative Stormwater Management (Kanada)
$\Psi$	Kapillaarinen imukorkeus [mm]
$K$	Kyllästyneen maan hydraulinen johtavuus [h]
$K_c$	Satokerroin
$K_{sat}$	Hydraulinen johtavuus
$kok.N$	Kokonaistyyppi [ $\mu$ g/l]
$kok.P$	Kokonaisfosfori [ $\mu$ g/l]
KVL	Keskimääräinen vuorokausiliikenne
LID	Low Impact Development (Yhdysvallat)

<i>M</i>	Kokonaismassa [mg]
MTBE	Metuulitertiäributyylieetteri
<i>n</i>	Lukumäärä
<i>n<sub>d</sub></i>	Kuivatuseksponentti
<i>Na</i>	Natrium
<i>NaCl</i>	Natriumkloridi
<i>NH<sub>4</sub></i>	Ammoniumtyppi [µg/l]
<i>Ni</i>	Nikkeli
<i>NO<sub>2</sub></i>	Nitriitti [µg/l]
<i>NO<sub>3</sub></i>	Nitraatti [µg/l]
OA1	Ominaisuusalue 1
OA2	Ominaisuusalue 2
OA3	Ominaisuusalue 3
PAH	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt
<i>Pb</i>	Lyijy [µg/l]
PCB	Polyklooratut bifenyylit
<i>pF</i>	Veden imukyvyn kymmenlogaritmi
pl.	Paaluväli
<i>PO<sub>4</sub></i>	Fosfaatti [µg/l]
<i>q</i>	Ulosvirtaama [mm/h]
<i>Q<sub>L</sub></i>	Poistuva vesimäärä [m <sup>3</sup> ]
<i>Q<sub>t</sub></i>	Virtaama [l/min]
<i>R<sub>a</sub></i>	Avaruuden /ilmakehään tuleva säteily [MJ m <sup>2</sup> d <sup>-1</sup> ]
<i>R<sub>T</sub></i>	Tuleva vesimäärä [m <sup>3</sup> ]
RIL	Suomen Rakennusinsinöörien Liitto
<i>R<sub>P</sub></i>	Pintavalunta [m <sup>3</sup> ]
SMC	Paikkakohtaisella valunnalla painotettu pitoisuuskeskiarvo [mg/l]
SYKE	Suomen Ympäristökeskus
SWMM	Storm Water Management Model
<i>S<sub>A</sub></i>	Varastotilavuus tarkasteluhetken alussa [m <sup>3</sup> ]
<i>S<sub>H</sub></i>	Ympäröivään maaperään tihkuva varastotilavuus [m <sup>3</sup> ]
<i>S<sub>L</sub></i>	Varastotilavuus tarkasteluhetken lopussa [m <sup>3</sup> ]
<i>σ</i>	Standardipoikkeama
<i>σ<sup>2</sup></i>	Varianssi
<i>t</i>	Aika [mm] tai [h]
<i>T<sub>max</sub></i>	Päivän ylin lämpötila [°C]
<i>T<sub>mean</sub></i>	Päivän keskilämpötila [°C]
<i>T<sub>min</sub></i>	Päivän alin lämpötila [°C]
TMDL	Total Maximum Daily Load
TSS	Kiintoaine [mg/l]
VHVSY	Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry
SUDS	Sustainable Urban Drainage Systems (Iso-Britannia)
<i>φ</i>	Valuntakerroin
<i>V</i>	Kokonaisvalunta [l]



VA1	Valuma-alue 1
VA2	Valuma-alue 2
VA3	Valuma-alue 3
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet
VOC	Variaatiokerroin (coefficient of variation)
WP	Lakastumispiste
WSUD	Water Sensitive Urban Design (Australia)
$Z_{1-\alpha}$	Z:n tulos vastaamaan luottamustasoa ( $1-\alpha$ )
Zn	Sinkki [mg/l]

## TERMINOLOGIA

Hulevesien hallintaan liittyvä terminologia on esitetty alla olevassa taulukossa. Terminologia on kerätty Kuntaliiton tekemästä hulevesioppaasta (2012), ja joitakin selityksiä on muokattu vastaamaan paremmin tämän tutkimuksen terminologiaa.

Termi	Selitys
Biosuodatus	veden suodattuminen ja puhdistuminen orgaanisessa maakerroksessa
Huleveden imeytysrakenne	järjestelmä, jonka tarkoituksena on edistää huleveden imeytymistä ja suodattumista maakerrosten läpi maaperään
Hulevesi	maan pinnalta, rakennusten katolta tai muilta vastaavilta pinnoilta pois johdettavaa sade tai sulamisvettä
Hulevesikaivo	hulevesien kokoamiseen tarkoitettu kaivo, jossa voi olla ritiläkansi ja/tai liete/hiekkapesä
Imeyntä, infiltraatio (mm)	sadannasta maaperään suotautuva veden määrä
Imeyttäminen	(huleveden) tarkoituksellinen imeyttäminen maaperään
Imeytyskaivanto	kaivanto, joka on täytetty huokostilavuudeltaan suurella materiaalilla (kuten kiviaineksella) ja johon ohjattu hulevesi varastoituu täytemateriaalin huokostilaan ja imeytyy hiljalleen ympäröivään maaperään (kaivannot voidaan sijoittaa myös maan alle, jolloin hulevedet johdetaan niihin hulevesiviemäreillä tai salaojilla)
Imeytyskenttä	(huleveden) imeytykseen rakennettu laajahko alue
Imeytyspainanne	ympäristöään alempana oleva, yleensä kasvillisuuden peittämä alue tai loivaluiskainen oja, johon hulevesi voi väliaikaisesti kertyä ja lyhyessä ajassa imeytyä maaperään
Läpäisemätön pinta	tiivis pinta, joka ehkäisee huleveden imeytymistä maaperään ja lisää pintavaluntaa
Luonnonmukainen hulevesien hallinta	luonnon veden kiertoon ja veden laatuun vaikuttavien tekijöiden hyödyntäminen ja tukeminen taajamien hulevesien hallinnassa
Läpäisevä pinta	rakentamaton tai rakennettu pinta, missä hulevesien imeytymistä tapahtuu

Painanne	ympäröivää maanpintaan alempi maaston kohta
Painannesäilyntä (mm)	se osa sadannasta tai sulannasta, joka kastelee maan pinnan ja lätäköityy painanteisiin
Pidättäminen	valuma-alueelta purkautuvan huleveden määrän vähentäminen ja varastointi imeyttämällä ja säännöstelytilavuutta kasvattamalla
Pidätysallas	huleveden pidättämiseen tarkoitettu allas, jossa on pysyvästi vettä
Pintavalunta (mm)	maan pinnalla valuva sadannan osa
Sadanta, sademäärä (mm)	tietylle alueelle tietyssä aikana sataneen vesimäärän paksuus
Sateen intensiteetti (mm/h)	tietyssä aikavälissä (esimerkiksi tunnin tai minuutin) keskimääräinen sadanta
Sulanta (mm)	sen vesikerroksen paksuus, joka tietyssä ajassa vapautuu lumipeitteestä
Valuma (mm/ha)	alueelta aikayksikössä purkautuva vesimäärä pinta-ala-yksikköä kohden
Valuma-alue	maaston korkeimpien kohtien (vedenjakajien) rajaama alue, jolta (hule)vedet virtaavat samaan puroon, jokeen, järveen tai mereen (taajamissa hulevesiverkostolla valuma-alueiden rajoja on voitu muuttaa maaston muodosta poikkeaviksi)
Valunta (mm)	se sadannan osa, joka valuu kohti uomaa maan pinnalla tai sisällä
Valuntakerroin	suhdeluku, joka kuvaa valuma-alueelta pintavaluntana välittömästi purkautuvan veden osuuden alueelle satavasta kokonaisvesimäärästä erilaisten häviöiden – kuten haihtumisen, pintavarastoitumisen, imeytymisen ja pidättymisen – jälkeen
Valuntatapahtuma	valuntatapahtuma alkaa, kun pintavalunnan alkamisen tai tietyn raja-arvon määrittävä sadanta on tapahtunut ja loppuu, kun pintavalunta loppuu tai tietty raja-arvo alitetaan
Viivyttäminen, viivytys	pintavalunnan jakaminen pitkälle ajanjaksolle

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Lämpäsemättömän pinnan vaikutus huleveden muodostumiseen (Keinänen, 2013) .....	7
Kuva 2. Virtaaman ja ainepitoisuuksien suhde ensihuuhtouman aikana (muokattu Roth, 2004) .....	11
Kuva 3. Hulevesinäytteiden keräämisessä, mittaamisessa ja tulosten analysoinnissa huomioitavia asioita (suomennettu Barbosa ym., 2012) .....	12
Kuva 4. Katualueelle sijoitetun biosuodatuksen periaatekuva (Sirpa Törrönen, Vantaan kaupunki) .....	14
Kuva 5. Vedenpidätyskäyrä eri maalajeille (Mustonen, 1986) .....	16
Kuva 6. Tammistonranta talvella 2013 (Marika Orava, Vantaan kaupunki) .....	18
Kuva 7. Tarkkailukohteiden sijainti Vantaalla. Tikkurilantien (Länsi-Vantaa) biosuodatusalueet on osoitettu punaisella tähdellä ja Meiramitien (Keski-Vantaa) biosuodatusalueet on osoitettu sinisellä tähdellä (Vantaan kaupunki, 2014) .....	25
Kuva 8. Karttakuva Tikkurilantiestä, jossa biosuodatusalueet ovat osoitettu sinisellä laatikolla (Google Maps, 2015) .....	26
Kuva 9. Tikkurilantien katualueen poikkileikkaus, jossa esitetty myös biosuodatusalueen poikkileikkaus ja mitoitus (WSP Finland Oy, 2012) .....	27
Kuva 10. Tikkurilantien monipuolinen kasvillisuus (alkusyksy 2014) .....	29
Kuva 11. Karttakuva Meiramitiestä, jossa biosuodatusalueet ovat osoitettu sinisellä laatikolla (Google Maps, 2014) .....	30
Kuva 12. Meiramitien katualueen poikkileikkaus, jossa esitetty myös biosuodatusalueen poikkileikkaus ja mitoitus (Ramboll, 2011) .....	31
Kuva 13. Meiramitien biosuodatuksen pituusleikkaus (Ramboll, 2011) .....	31
Kuva 14. Meiramitien biosuodatusalueet sadetapahtumien yhteydessä syksyn 2014 aikana .....	32
Kuva 15. Tutkimusmetodologian lohko-kaavio .....	36
Kuva 16. Helsinki-Vantaan lentoaseman lumensyvyiden keskiarvo vuosina 1981–2010 sekä vertailuna talven 2013–2014 lumensyvyys (Ilmatieteen laitos, 2014) .....	39
Kuva 17. Havainnekuva biosuodatusalueiden salaoja- ja ylivuotokaivoista sekä kaivojen purkupaikoista .....	42
Kuva 18. SWMM:n valuntamallin periaatekuva, jossa valuma alue jaettiin osavalmu-alueisiin .....	46
Kuva 19. Esimerkki yksiköllisen LID –mallin rakentamisesta (SWMM) .....	47
Kuva 20. Kiintoainepitoisuuden (a) ja pH-arvon (b) laatikkokuvaajat 18.10.2013–20.10.2014 .....	61
Kuva 21. Sameuden (a) ja sähkönjohtokyvyn (b) laatikkokuvaajat 18.10.2013–20.10.2014 .....	62
Kuva 22. Kokonaistyyppipitoisuuksien (a) laatikkokuvaaja 18.10.2013–20.10.2014 ja ammoniumtyyppipitoisuuksien (b) laatikkokuvaaja 22.9.2014–20.10.2014 .....	63
Kuva 23. Nitraattityyppipitoisuuksien (a) laatikkokuvaaja 18.10.2013–20.10.2014 ja nitriittityyppipitoisuuksien (b) laatikkokuvaaja 22.9.2014–20.10.2014 .....	63
Kuva 24. Kokonais- (a) ja fosfaattifosforipitoisuuksien (b) laatikkokuvaajat 18.10.2013–20.10.2014 .....	63
Kuva 25. Kloridi- (a) ja natriumpitoisuuksien (b) laatikkokuvaajat 18.10.2013–12.6.2014 .....	64
Kuva 26. Kromi- (a) ja kuparipitoisuuksien (b) laatikkokuvaajat 18.10.2013–12.6.2014 .....	64

Kuva 27. Lyijypitoisuuden (a) laatikkokuvaaja 18.10.2012–12.6.2014 ja rautapitoisuuden (b) laatikkokuvaaja 18.10.2013–20.10.2014 .....	65
Kuva 28. Sinkkipitoisuuden (a) laatikkokuvaaja 18.10.2013–12.6.2014 .....	65
Kuva 29. Jatkuvatoiminen sameuden mittaus ja sadanta kahden vuorokauden ajan (24.–26.9.2014) .....	67
Kuva 30. Jatkuvatoiminen sähkönjohtokyvyn mittaus ja sadanta kahden vuorokauden ajan (24.–26.9.2014) .....	67
Kuva 31. LID –mallin raportointiajan valitseminen tarkastelujakson alusta näytteenottopäivään 18.10.2013 saakka (a) ja raportointiajan valitseminen vain näytteenottopäivän 18.10.2013 ajan (b) .....	72
Kuva 32. Viheralueen puustoa (a) ja olemassa oleva kunnallistekniikka (b) .....	79
Kuva 33. Meiramitien pilaristabilointi (Ramboll Finland Oy, 2011) .....	80
Kuva 34. Nollareunakivi (a) ja aukotettu reunakivi (b) .....	80
Kuva 35. Kivetyspainanteen laskeutumiskynnys pidättää hulevesiä erittäin tehokkaasti. Samalla roskat kerääntyvät kivetyspainanteelle, mistä ne on helpompi siivota lakaisukoneella .....	81
Kuva 36. Aukotettujen reunakivien merkkipaalut (a) sekä jäänyt aukotettu reunakivi (b) ja kivetyspainanne (c) (Jukka Jormola, SYKE) .....	82
Kuva 37. Meiramitien biosuodatusalueet toimivat kadun lumitilana, helmikuussa 2015 .....	82
Kuva 38. Huleveden pintavalunnan aiheuttamat vahingot viheralueelle .....	83
Kuva 39. Biosuodatusalueiden kasvillisuus tuo vaihtelevan maisemakuvan Meiramitielle .....	83
Kuva 40. Viheralueyksikön esittämä huomiokohdat kunnossapidossa. Viheralueella olevien rakenteiden ympärillä tulisi olla vähintään metrin työskentelytila, jotta kunnossapito onnistuu ilman erikoiskoneita .....	84

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Tukholman hulevesien pitoisuuksien laatuluokitus (Aldheimer & Bennerstedt, 2003; Sankiaho & Sillanpää, 2012) .....	6
Taulukko 2. Huleveden haitta-aineet ja haitta-aineiden yleisimmät lähteet (muokattu Barbosan ym., 2012 & Roth, 2004) .....	8
Taulukko 3. Liikennemäärän vaikutus haitta-aineisiin ja ravinnepitoisuuksiin sekä COD –arvoon maanteiden hulevesissä. Esitetty arvo ilmaisee pitoisuuden keskiarvon ja suluissa olevat arvot pitoisuuksien minimiä ja maksimia (Jokela, 2006) .....	9
Taulukko 4. Tärkeimmät valuntaan vaikuttavat sadannan ominaisuudet (Mustonen, 1986) .....	10
Taulukko 5. Eri muuttujien EMC –arvojen vähimmäismäärä, kun SMC –pitoisuudella sallitaan 10 % virhe (Järveläinen, 2014) .....	13
Taulukko 6. Yleistä tietoa biosuodatusalueiden toiminnasta ja mitoituksista (Vakkilainen ym., 2006) .....	15
Taulukko 7. Tutkimusalueiden (UMN1, RWMDW4 ja RWMDW5) hydraulisen johtavuuden ( $K_{sat}$ ) näytemäärät, mediaanit, standardipoikkeama ja variaatiokerroin vuonna 2006 ja 2010 .....	17
Taulukko 8. Keskiarvot sisään- ja ulosvirtaukset ( $mg\ l^{-1}$ tai %) eri lämpötiloissa $\pm$ keskiahajonta (Blecken ym., 2010 & 2011) .....	19
Taulukko 9. Biosuodatusalueen kunnostustoimenpiteet eri vuodenaikojen mukaan (muokattu Prince Georgy's County, 2007) .....	24
Taulukko 10. Biosuodatusalueiden (BS1–BS7) tarkempi kuvaus .....	28
Taulukko 11. Tikkurilantien ja Meiramitien vuosittain ja määrävuosin tehtävät hoitotoimenpiteet sekä niiden laatuvaatimukset (Ramboll, 2011) .....	33
Taulukko 12. Tikkurilantien hulevesiennäytteen kerääjät ja keräämisajankohta .....	37
Taulukko 13. Tutkimuksessa käytetyt muuttujat, muuttujien lyhenteet ja yksiköt .....	38
Taulukko 14. MetropoliLab Oy:n ja Aalto-yliopiston käyttämät analyysimenetelmät ..	38
Taulukko 15. Näytteenottopäivän lämpötila [ $^{\circ}C$ ], sadanta [mm] ja edeltävien päivien sadanta [mm] (Ilmatieteen laitos, 2014) .....	40
Taulukko 16. Katualueen hulevesinäytteiden mediaanit, minimi- ja maksimit. HV1 kuvaa ajoradalta kerättyä hulevettä, HV2 ja HV3 edustavat kadun hulevesikaivoista kerättyjä hulevesinäytteitä .....	40
Taulukko 17. Maanäytteiden perusmuuttujien, ravinteiden ja raskasmetallien pitoisuudet, jossa M1 kuvaa puuhaketta, M2 kuvaa kasvualustaa ja M3 kuvaa suodatinkerrosta .....	41
Taulukko 18. Ensimmäisen tason valuma-alue tarkastelu (VA1, VA2 ja VA3) .....	42
Taulukko 19. Toisen tason ominaisuustarkastelu (OA1, OA2 ja OA3) .....	42
Taulukko 20. Kolmannen tason kasvillisuus- ja rakennekerrosvertailu .....	43
Taulukko 21. Rakennekerroksen maaperäominaisuudet (Rossmann, 2010), jossa BS4:n LID –malliin yhdistettiin harmaalla korostetut arvot .....	47
Taulukko 22. SWMM:ssä käytetyn laskennallisen LID –mallin parametrit sekä parametrit hiekkaiselle savimullalle, hiekkalle, hiesulle, savimullalle ja savelle 18.10.2013 sadetapahtumalla (Rossmann, 2010) .....	49
Taulukko 23. Mitoitussateet [mm/mim], joiden avulla tarkasteltiin LID –mallin toimivuutta erilaisilla sadetapahtumilla (Kuntaliitto, 2011) .....	50
Taulukko 24. Ominaisuusalueita OA1, OA2 ja OA3 keskinäinen vertailu sekä vertailu maanäytteisiin M1, M2 ja M3 18.10.2013 .....	54

Taulukko 25. Ominaisuusalueiden (OA1, OA2 ja OA3) koko tarkastelujakson mediaanien vertaaminen 18.10.2013 kerättyihin maanäytteisiin (M1, M2 ja M3).....	55
Taulukko 26. Biosuodatusalueiden (BS1–BS7) muuttujien pitoisuuksien mediaanien vertailu pisteytysmenetelmällä.....	57
Taulukko 27. Tulevan huleveden (HV1) ja valuma-alueiden (VA1–VA3) hulevesinäytteiden vertailu.....	59
Taulukko 28. Valuma-alueiden (VA1, VA2 ja VA3) koko tarkastelujakson mediaanien vertaaminen biosuodatusalueille tulevaan huleveteen, jossa positiivinen merkki kuvaa kuormittavaa vaikutusta ja negatiivinen merkki pidättävää vaikutusta .....	60
Taulukko 29. Luode Consulting Oy:n jatkuvatoimisen (vasemmalla) sameuden ja sähkönjohtokyvyn vertailu tämän työn satunnaisnäytteisiin (oikealla) .....	66
Taulukko 30. Valuma-alueiden ja ominaisuusalueiden hulevesinäytteiden pitoisuuksien keskinäisen vertailun merkitsevyystarkastelu p-arvon avulla.....	68
Taulukko 31. Valuma-alueiden ja ominaisuusalueiden hulevesinäytteiden pitoisuuksien ajallisen vertailun merkitsevyystarkastelu p-arvon avulla .....	69
Taulukko 32. Valuma-alueiden ja ominaisuusalueiden hulevesinäytteiden ajallinen merkitsevyystarkastelu 25.9.2014 sadetapahtuman aikana (otos: kaksi näytettä) .....	70
Taulukko 33. Laskennallisen LID –mallin manuaalissa suositellut parametrit (Rossman, 2010) .....	70
Taulukko 34. Rakennekerrosten materiaalin (laskennallinen, savi, hiekka, hiesu, savimulta) vaikutus biosuodatusalueen tuloksiin sadetapahtuman 18.10.2013 aikana...	71
Taulukko 35. Rakennekerrosten paksuuden vaikutus laskennallisen biosuodatusalueen vedenpidätyskykyyn.....	71
Taulukko 36. Tikkurilantien valuman tarkastelu BS4:n kohdalla yksittäisen 18.3.2013 sadetapahtuman avulla .....	73
Taulukko 37. Laskennallisen LID –mallin toimivuuden tarkastelu yksittäisen 18.3.2013 sadetapahtuman avulla .....	73
Taulukko 38. Kasvillisuuden ja satokertoimen ( $K_c$ ) vaikutus haihduntaan sadetapahtuman 18.10.2013 aikana.....	73
Taulukko 39. Mitoitussateiden vaikutus laskennallisen biosuodatusalueen poistuvan huleveden määrään [ $m^3$ ]. Mitoitussateina 15 min, 1 h, 6h ja 12 h sateet 1/2 a, 1/5 a ja 1/10 a toistuvuudelle .....	74
Taulukko 40. Alkukosteuden (0 %, 5 %, 10 %, 15 % ja 20 %) vaikutuksen tarkastelu 18.10.2013 sadetapahtumalla laskennallisen biosuodatusalueen vesitaseeseen .....	75
Taulukko 41. Kuormitusten arviointi laskennallisella valunta- ja LID –mallien perusteella. Pitoisuudet ovat BS4:n hulevesinäytteiden koko tarkastelujakson (1.10.2013–1.11.2014) mediaaneja.....	75

# 1 JOHDANTO

Nopea kaupungistuminen on muuttanut merkittävästi pintavalunnan laatua ja määrää viime vuosikymmenien aikana (Muthanna, 2007; Bratieres ym., 2008; Liu ym., 2014). Kaupungistumisen myötä useat vettä läpäisevät pinnat on muutettu läpäisemättömiksi eikä hulevesi pysty enää imeytymään, suodattumaan tai varastoitumaan maaperään luontaisesti (Muthanna, 2007). Huleveden laadun ja määrän muutoksista seuraa erilaisia ongelmia vastaanottavien vesistöjen eliöstölle sekä mahdollisia aineellisia tuhoja rakennuksiin tai rakenteisiin niin kaupungeissa kuin taajamissa (Villarreal ym., 2004; Blecken ym., 2010).

Hulevesien laatu vaihtelee maankäyttömuodoittain, ja yleisimpiä maankäyttömuotoja ovat tie- ja pysäköintialueet, keskusta-alueet, teollisuusalueet ja rakennustyömaat. Katualueiden tyypillisimpiä huleveden haitta-aineita ovat muun muassa kiintoaine, typen ja fosforin eri muodot, raskasmetallit, PAH- ja VOC –yhdisteet sekä öljy ja hiilivedyt (Valtanen ym., 2010). Hulevesien hallinta on kokenut suuria muutoksia viimeisen 30 vuoden aikana ympäri maailmaa (Thevonot, 2008) ja määrän lisäksi on alettu kiinnittää huomiota myös laatuun (Sillanpää, 2013). Huleveden laadusta on kerätty paljon tietoa, jota on alettu vertailemaan maankäyttömuodoittain kansainvälisellä tasolla. (Rodriguez-Hernandez ym., 2013).

Kansainvälisesti hulevesien luonnonmukaisesta hallinnasta puhutaan termillä *Best Management Practices* (BMPs), mikä on joukko erilaisia menetelmiä, joiden avulla pyritään vähentämään huleveden määrällisiä vaikutuksia, mutta vaikuttamaan myös sen laatuun (Hsieh ym. 2005). Tässä työssä tarkasteltu biosuodatus on yksi BMP –menetelmistä, jota Yhdysvalloissa kutsutaan termillä *Low Impact Development* (LID), Australiassa *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) ja Iso-Britanniassa *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS) sekä Kanadassa *Innovative Stormwater Management* (ISM) (Barbosa ym., 2012; Bratieres ym. 2008). Viime vuosien aikana biosuodatuksesta on tullut suosittu hulevesien luonnonmukainen käsittelyvaihtoehto (Paus ym., 2013).

Biosuodatusalueet ovat matalia kasvillisuuspainanteita, joissa luonnollinen maaperä on korvattu tyypillisesti kasvualustalla, suodatinkerroksella ja salaojakerroksella (Paus ym., 2013). Biosuodatuksen onnistuneesta huleveden laadun parantamisesta on raportoitu useissa tutkimuksissa (esim. Roseen ym., 2009; Liu ym., 2014) ja sen edut tulevat esiin niin teknisessä toimivuudessa kuin esteettisessä tavassa käsitellä hulevesiä (Towsdale & Simcock, 2010). Biosuodatus tasaa tulvavaihteluita monikerroksisella rakenteella (Blecken ym., 2010), mutta vaikuttaa myös huleveden laatuun kemiallisin, biologisin ja fysikaalisin menetelmin, joissa kasvit, mikrobit ja maaperä poistavat hulevedestä haitta-aineita. Lisäksi prosessit pitävät sisällään mm. haihdunnaa, sedimentaatiota, adsorptiota, ioninvaihtoa ja maaperän hajotustoimintaa (Prince George's County, 2007)



## **Tutkimuksen tausta**

Vantaan kaupunki on kiinnittänyt erityistä huomiota hulevesien hallintaan viime vuosina ja tehnyt toisena kaupunkina Suomessa Hulevesiohjelman vuonna 2009, joka päivitettiin myöhemmin Hulevesien hallinnan toimintamalliksi (Orava ym., 2014). Toimintamalli sisältää perustietoa hulevesien luonnonmukaisesta hallinnasta niin suunnittelijoille kuin rakentajille, ja siinä käydään läpi hulevesien eri hallintamenetelmät sekä niiden suunnittelu ja rakentaminen. Toimintamallissa kuvaillaan hulevesien hallinnan pää tavoitteet, joiden lähtökohtana on vähentää muodostuvien hulevesien määrää. Ensimmäisenä hallintakeinona on hulevesien laadun ja määrän hallinta paikallisesti hulevesien syntypaikalla. (Orava ym., 2014)

Vantaan kaupunki on rakentanut useita huleveden luonnonmukaisia käsittelykohteita, kuten Osumapuiston viivytyksaltaat ja Tammistonrannan maisema-altaat, joissa on ensisijaisesti kiinnitetty huomiota huleveden määrään. Määrän lisäksi kaupunki haluaa kiinnittää huomiota myös huleveden laatuun ja on rakentanut biosuodatusalueita vastamaan huleveden määrän ja laadun asettamiin haasteisiin. Tämän tutkimuksen tarkkailukohteiksi valittiin Tikkurilantien biosuodatusalueet, jotka rakennettiin Tikkurilantien uudelle katualueelle kesällä 2013 sekä Meiramitien biosuodatusalueet, jotka valmistuivat kadun peruskorjauksen yhteydessä myös kesällä 2013.

Suomen Ympäristökeskus (SYKE) aloitti vuonna 2012 kolmivuotisen HuleGreen –hankkeen, jossa Tikkurilantien biosuodatusalueet toimivat yhtenä tutkimusprojektina. HuleGreen –hankkeessa testataan hulevesien hallintamenetelmien toimivuutta vihreänä infrastruktuurina (Green Infrastructure, GI), ja hankkeen tavoitteena on (1) selvittää hulevesien hallintaa varten rakennettujen järjestelmien toimivuutta ja puhdistuskykyä, (2) tutkia kylmissä ilmasto-oloissa toimivia biosuodatusalueita taajamahydrologian tasapainottamiseksi ja (3) tasapainottaa vihreän infrastruktuurin avulla ihmisen toiminnasta aiheutuvia haittoja. (Suomen Ympäristökeskus, 2013).

## **Tutkimuksen tavoitteet**

Tutkimuksen tavoite oli selvittää kadun vastarakennettujen huleveden biosuodatusalueiden toimivuutta niin laadun kuin määrän suhteen sekä keskittyä biosuodatusalueiden kunnossapitoon. Tikkurilantiella tutkimus keskittyi biosuodatusalueiden puhdistustehokkuuteen laboratoriomittauksin. Meiramitien biosuodatusalueiden tutkimus keskittyi kokonaistoimivuuteen kunnossapidon näkökulmasta ja tietoa kerättiin haastattelututkimuksella sekä maastokäynneillä.

Tavoitteet jaettiin kolmeen eri ryhmään huomioiden Vantaan kaupungin ja SYKE:n yhteiset, mutta myös erityiset mielenkiinnon kohteet tutkimukseen suhteen. Tavoitteisiin vastattiin tutkimuskysymysten muodossa.

Tämän työn yhteinen päätutkimuskysymys oli:

- *Miten Tikkurilantien ja Meiramitien biosuodatusalueet ovat vaikuttaneet huleveden laatuun ja määrään?*

Vantaan kaupungin mielenkiinto tutkimuksen suhteen painottui enemmän toteutukseen, toimivuuden kokonaistarkasteluun ja biosuodatusalueiden kunnossapitoon katualueella. Tähän työhön tutkimuskysymyksiksi valittiin seuraavat:

- *Onko tarkkailukohteiden toteutuksessa onnistuttu?*
- *Miten kylmät sääolosuhteet vaikuttavat biosuodatusalueiden toimivuuteen ja kunnossapitoon?*

SYKE:n kiinnostuksen kohteet tutkimuksen suhteen taas painoutuivat puhtaasti biosuodatusrakenteiden toimivuuden tarkasteluun ja puhdistustuloksiin. Tähän työhön tutkimuskysymyksiksi valittiin seuraavat:

- *Miten biosuodatusalueet toimivat heti rakentamisen jälkeen?*
- *Millainen biosuodatusrakenne toimii parhaiten hulevesien laadun hallinnassa?*

Lisäksi tutkimuksessa mallinnettiin *Storm Water Management Model* (SWMM) – mallinnusohjelmalla biosuodatusalueiden toimintaa Tikkurilantiellä. Vantaan kaupunki on käyttänyt SWMM:ä valunnan mallintamiseen (esim. Keinänen, 2013), mutta tämän työn avulla haluttiin selvittää, miten SWMM toimii myös biosuodatuksen mallintamisessa ja mitä lähtötietoja mallintamiseen tarvitaan.

### **Tutkimuksen rajaus**

Tutkimuksen tarkastelu kohdistui biosuodatuksen toimivuuteen katualueilla ja katualueiden tyypillisimpiin haitta-aineisiin. Useiden tutkimusten mukaan ilmasto-oloilla on vaikutusta hulevesien käsittelyyn (Blecken ym., 2010 & 2011; Sillanpää, 2013; Valta- nen ym., 2013), joten tässä tutkimuksessa keskityttiin Etelä-Suomen ilmasto-oloihin.

Lisäksi tutkimuksessa tiedostettiin, että muuttuva ilmasto ja kaupungistuminen vaikuttavat huleveden määrään ja laatuun koko ajan enenevässä määrin (Pyke ym., 2011) mutta niiden vaikutukset huomioitiin vain taustavaikuttajina eikä tulevaisuuden skenaarioita selvitetty. Biosuodatusalueiden suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon kustannuksia ei myöskään tarkasteltu tässä tutkimuksessa.

## 2 KIRJALLISUUSKATSAUS

### 2.1 Huleveden hallinnan historia ja nykytilanne

Kuntaliitto (2012) määrittelee huleveden *rakennetulla alueella maan pinnalle tai muille vastaaville pinnoille kertyväksi sade- ja sulamisvedeksi*. Hulevesivalunnan muodostumiseen vaikuttavat sateen intensiteetti ja kesto, sadetapahtumaa edeltävä kuivan kauden pituus, maanpinnan kaltevuus sekä maaperän ominaisuudet (Kuntaliitto, 2012). Vuodenaika ja maankäyttö ovat silti merkittävimmät tekijät, minkä takia huleveden laatua ja määrää tulisi aina seurata paikallisesti (Pitt ym. 1996; Barbosa ym. 2012).

Suomessa hulevedet on perinteisesti johdettu hulevesiputkia pitkin joko jätevedenpuhdistamolle tai vastaanottavaan vesistöön. Keskimäärin viemäriverkostosta sekaviemäreitä on alle 10 % ja erillisviemäreitä yli 90 % (Kuismin, 2011). Viemäroinnin lisäksi on lukemattomia avo-ojia, joihin hulevedet johdetaan. On arvioitu, että luonnollisella hulevesien hallinnalla voidaan säästää luonnonvaroja 4–5 % enemmän kuin perinteisellä erillisviemäroinnillä (Muthanna, 2007). Rakentaminen ja maankäytön muutokset kaupungistumisen yhteydessä poistavat luonnollista kasvillisuutta (Barbosa ym., 2012), minkä takia huleveden haihdunta sekä imeytyminen maaperään pienenevät ja vastaavasti pintavalunta kasvaa. Hulevesiviemäriverkostot mitoitetaan tietyn mitoitussateen mukaan. Kun sateen rankkuus, kesto-aika ja toistuvuus ylittävät mitoituksen, niin silloin osa hulevedestä purkautuu kaduille (Karttunen, 2004). Tämä aiheuttaa kaupungeissa ja taajamissa helposti tulvapiikkejä (Barbosa ym., 2012) jotka saattavat olla haitallisia myös rakennuksille ja rakenteille. Sekaviemärointi lisäksi heikentää vastaanottavan jätevedenpuhdistamon puhdistustehoa, koska jätevedenpuhdistamolle tulevan puhdistettavan veden määrä kasvaa ja haitta-ainepitoisuudet laimenevat. Lisäksi hulevesiviemärointi voi rajoittaa kaupunkien kasvua riittämättömän infrastruktuurin takia. Samalla myös pitkän aikavälin kustannukset voivat nousta korkeiksi, koska infrastruktuuria pitää korjata tai uusia aika ajoin. (Chocat ym., 2001)

Läpäisemättömät pinnat muuttavat veden luonnollista kiertokulkua, koska sade- ja sulamisvedet eivät palaudu luonnollisen puhtaina takaisin pohja- tai pintavedeksi ja vastaavasti läpäisemättömältä pinnalta haihtuu vähemmän hulevettä kuin luonnolliselta kasvillisuudelta (Muthanna, 2007). Lisääntynyt huleveden määrä kuluttaa joenvarsia ja vesistöjen penkkoja (Hsieh ym., 2004; Hunt ym., 2006) ja lisää vesistöihin päätyvää sedimenttikeruuta (Brabec ym., 2002). Käsittelemättömien hulevesien mukana vesistöihin valuu eri haitta-aineita, kuten ravinteita ja raskasmetalleja. Ravinteet, erityisesti typpi ja fosfori, voivat johtaa vesistöissä rehevöitymiseen ja lisääntyneeseen levien kulkintaan. Jo lyhyen ajan kuluttua tämä aiheuttaa vesistöissä eliöstölle vaarallista happikatoa (Hunt ym., 2006; Bratieres ym., 2008; Barbosa ym., 2012). Raskasmetallit, kuten kupari, sinkki ja rauta, puolestaan taas voivat aiheuttaa eliöstölle vakavia muutoksia käyttäytymisessä sekä heikentää vastustus- ja lisääntymiskykyä (Roth, 2004).

Vakkilaisen (ym., 2006) mukaan Suomessa hulevesien hallintaan alettiin kiinnittää huomiota ensimmäisten kokeilujen myötä varsinaisesti 1980-luvulla. Espoon Pihlajarin-teen asuinalueen hulevesien imeyttäminen oli yksi ensimmäisistä Suomessa tehdyistä kokeiluista, jossa perinteisen sadevesiviemäriverkoston putkikokoa pienennettiin maan-alaisten hidastus-imeytysrakenteiden avulla. Toinen varhainen kotimainen esimerkki on Vaasan keskustan Vital Vaasa –projekti, jossa Vaasan vanhalle keskusta-alueelle suunniteltiin huleveden viivyttämisen ja imeyttämisen käsittelyratkaisuja. Vaasassa kokeilu tosin kesti vain lyhyen ajan, mutta projektista saatiin silti arvokasta tietoa siitä, kuinka jo rakennetulle kaupunkialueelle voidaan soveltaa luonnonmukaisia huleveden käsitte-lymenetelmiä.

Viime vuosikymmeninä hajakuormitukseen on kiinnitetty enemmän huomioita ja tavoit-teeksi on alkanut nousta luonnollisen vedenkierron palauttaminen myös kaupunkeihin. Lisäksi huleveden määrän ja laadun tarkastelun rinnalle on tullut myös huleveden vir-kistysarvon huomioon ottaminen (Sillanpää, 2013).

## 2.2 Huleveden hallinnan lainsäädäntö ja raja-arvot

Suomessa hulevesiä pidetään yleisesti melko puhtaina vesinä eikä niiden haitta-aineepitoisuuksille ole lainsäädännössä esitettyjä raja-arvoja (Jokela, 2008). Hulevesiin liittyviä säännöksiä löytyy silti useista eri laeista ja asetuksista, joista keskeisimmät ovat 1.9.2014 voimaan astuneet uusittu *vesihuoltolaki* (119/2001) ja uusittu *maankäyttö- ja rakennuslaki* (132/1999) sekä *vesilaki* (587/2011). Lisäksi eri kaupunkien ja kuntien *ympäristönsuojelumääräykset* yhdessä *ympäristönsuojelulain* (527/2014) kanssa voivat vaikuttaa hulevesien hallintaan sekä *rakentamismääräyskokoelmassa* voidaan antaa maankäyttö- ja rakennuslakia täydentäviä velvoitteita.

Uusittuun vesihuoltolakiin (119/2001) on lisätty luku 3a, jossa säädetään huleveden viemäroinnin järjestämisestä vesihuoltolaitoksen toimesta, mutta uusitun maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaan kunnilla on silti asemakaava-alueella hulevesien kokonaishallinnan vastuu. Maankäyttö- ja rakennuslakiin (132/1999) on lisätty luku 13a, jossa käsitellään hulevesiä koskevat säädökset. Kunta ja vesihuoltolaitos voivat keske-nään sopia, että vesihuoltolaitos vastaa huleveden viemäroinnistä erikseen määritellyillä alueilla, mutta vain jos laitos kykenee huolehtimaan huleveden viemäroinnistä taloudel-lisesti ja asianmukaisesti eivätkä perittävät maksut muodostu kohtuuttomiksi.

Kiinteistön on ensisijaisesti huolehdittava hulevesien hallinta omalla tontillaan, mutta jos kiinteistö ei voi toteuttaa tätä, sen on liityttävä kunnan hulevesijärjestelmään tai ve-sihuoltolaitoksen hulevesiviemäriin. Hulevesien johtaminen vesihuoltolaitoksen jäteve-siviemäriin (jäteveden erillisviemäriä tai sekaviemäriä) on kielletty. Jos kiinteistö sijait-see hulevesiviemäroinnin alueella, niin sillä on vesihuoltolain mukainen liittymisvelvol-lisuus hulevesiverkoston.

Uusitun maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) tärkein uudistus hulevesien kannalta koskee kaavoitusta, jonka avulla kehitetään hulevesien suunnitelmallista hallintaa. Hulevedet eivät ole enää osa vesihuoltoa vaan Kuntaliiton (2012) määritelmän mukaan rakennetulla pinnalla kertyvän sade- tai sulamisveden hallintaa koskien myös perustusten kuivatusvesiä. Hulevesien hallinnalla tarkoitetaan niin hulevesiviemärintiä kuin luonnonmukaisia menetelmiä.

Hulevesi muodostaa osan vesistöihin tulevasta vedestä, joten huleveden hallintaan on mahdollista soveltaa myös vesiputedirektiivin (2000/60/EY) pintaveden ympäristölaatu- normeja. Lisäksi valtioneuvoston asetuksesta vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006) ja sitä täydentävästä asetuksesta (868/2010) voidaan löytää päästökieltoja, raja-arvoja ja ympäristölaatu- normeja eri aineille pintavesien suojelemiseksi. (Airola ym., 2014)

Vaikka varsinaisia raja-arvoja hulevesille ei ole määrätty, niin vertailevia laatu- arvoja löytyy kirjallisuudesta (Jokela, 2008). Ruotsissa, Tukholmassa, on otettu käyttöön strategia hulevesien hallinnalle ja Tukholman läänihallitus (Vahtera, 2014) on ehdottanut hulevesien pitoisuusluokitusta, jossa pitoisuudet jaetaan alhaisiin, kohtuullisiin ja korkeisiin pitoisuuksiin (Aldheimer & Bennerstedt, 2003). Hulevesien pitoisuusluokitukset on esitetty taulukossa 1 (Sänkiäho & Sillanpää, 2012). Vertailuja tehdessä on silti huomioitava, että liikennemäärät Tukholmassa ovat huomattavasti suuremmat kuin Suomen suurimmat liikennemäärät pääkaupunkiseudulla.

*Taulukko 1. Tukholman hulevesien pitoisuuksien laatu- luokitus (Aldheimer & Bennerstedt, 2003; Sänkiäho & Sillanpää, 2012)*

	Alhaiset pitoisuudet	Kohtuullisen korkea	Korkeat pitoisuudet	Yksikkö
Kiintoaine	< 50	50–175	>175	mg/l
Kokonaistyyppi	<1240	1250–5000	>5000	µg/l
Kokonaisfosfori	<100	100–200	>200	µg/l
Lyijy	<3	0,3–15	>15	µg/l
Kadmium	<0,3	0,3–1,5	>1,5	µg/l
Kupari	<9	9–45	>45	µg/l
Sinkki	<60	60–300	>300	µg/l
Nikkeli	<45	45–225	>225	µg/l
Kromi	<15	15–75	>75	µg/l
Öljy	<0,5	0,5–1,0	>1,0	mg/l
PAH	<1	1–2	>2	µg/l

Taulukon 1 hulevesipitoisuusluokitusta tärkeämpää on vastaanottavan vesistön tila ja huleveden vaikutukset vesistössä. Mitä herkempi tai pienempi vastaanottava vesistö on, sitä enemmän hulevesiä on hallittava laadullisesti ja määrällisesti. Onnistunut hulevesien hallinta vaatii osallistumista ja sitoutumista kaikilla eri päätöksenteon tasoilla. Barbosa ym. (2012) määrittelevät hyvän lähestymistavan joustavaksi, paikallisiin ominaispiirteisiin perustuvaksi, spatiaaliset ja ajalliset olosuhteet huomioon ottavaksi sekä kokonaisuutena, jossa otetaan huomioon lainsäädännön vaatimukset. Airolan ym. (2014) mukaan Suomeen tarvittaisiin kotimaiset laatu- kriteerit, joiden avulla tutkijat ja virka-

miehet voisivat arvioida huleveden laatua ja puhdistustarvetta. Laatuksien lisäksi näytteiden analysointiin ja määrittystarkkuuksiin tarvitaan lisää ohjeistusta.

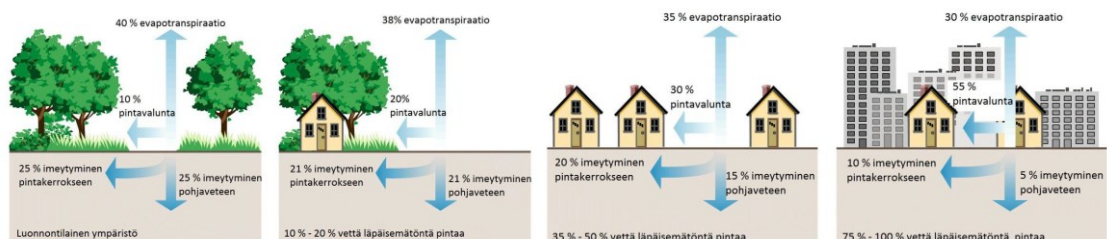
## 2.3 Huleveden ominaispiirteet

### 2.3.1 Lämpäsemättömien pintojen vaikutus huleveden muodostumiseen

Valunnalla tarkoitetaan valuntailmiötä ja aikayksikössä virtaavaa veden määrää koko valuma-alueella tai sen pinta-alaa kohden (Mustonen, 1986). Sillanpään (2013) mukaan sademäärä, sateen intensiteetti ja valuma-alueen lämpäsemättömyys vaikuttavat merkittävimmin valunnan määrään. Vähäinen sademäärä (<17–20 mm) synnyttää valuntaa yleensä pelkästään lämpäsemättömiltä pinnoilta, kuten katoilta ja asfaltoiduilta liikennealueilta. Rankempi ja harvemmin toistuva sadetapahtuma (>17–20 mm) tuottaa valuntaa myös lämpäseviltä pinnoilta, kuten viheralueelta, sillä maaperä on jo kyllästynyt. Aikaisemmalla kuivalla kaudella ei Sillanpään (2013) mukaan ole suurta merkitystä valunnan muodostumiseen tai määrään.

Valuntakertoimella ( $\varphi$ ) voidaan arvioida eri pintojen lämpäsevyyttä. Jokelan (2008) mukaan valuntakertoimella tarkoitetaan sitä vesimäärää, joka sataneesta vesimäärästä päätyy välittömänä valuntana ympäristöön. Valuntakertoimen arvo on 0–1 välissä ja esimerkiksi katon valuntakerroin on 0,9 ja asfaltin valuntakertoimen arvo on 0,8 kun taas sorakentän valuntakerroin on 0,3 ja tiheäkasvuisen metsän valuntakerroin on 0,05. (Karttunen, 2004) Liu ym., (2014) mukaan lämpäsemätön pinta aiheuttaa pintavaluntaa 16 kertaa enemmän kuin samankokoinen niittyalue.

Valuntakerroin saattaa vaihdella suuresti saman alueen sisällä. Vakkilaisen ym. (2006) mukaan alueen keskimääräinen valuntakerroin on yleensä hieman pienempi kuin valuma-alueen päällystettyjen, vettä lämpäsemättömien pintojen osuus kokonaispinta-alasta. Kuva 1 demonstroi lämpäsemättömän pinnan vaikutuksen huleveden imeytymiseen tai sen pintavalunnaksi muuttumiseen. Luonnontilassa pintavaluntaa muodostuu vain 10 %, kun taas vastaavasti tiheään rakennetulla (75–100% lämpäsemätöntä pinta) pintavaluntaa muodostuu jopa 55 %. Samoin pohjavettä muodostuu luonnontilassa 25 %, kun tiheään rakennetulla alueella pohjavettä muodostuu vain 5 %.



Kuva 1. Lämpäsemättömän pinnan vaikutus huleveden muodostumiseen (Keinänen, 2013)

Kuvasta 1 havaitaan, että läpäisemättömät pinnat vaikuttavat myös haihduntaan. Suomen ilmasto-oloissa vuosisadannasta haihtuu Etelä-Suomessa keskimäärin noin 60 % ja Pohjois-Suomessa lähes 50 %. Jos läpäiseviä pintoja korvataan läpäisemättömällä pinnalla, niin myös transpiraatio tai interseptio vähenevät, ja tämä vaikuttaa hydrologiseen kiertoon. Kasvien lisäksi haihduntaa tapahtuu luonnollisesti myös lumen ja jään sekä maan pinnasta. (Mustonen, 1986)

### 2.3.2 Liikenteen vaikutus huleveden laatuun

Hulevesissä on havaittu useita haitta-aineita, kuten kiintoainetta, raskasmetalleja sekä orgaanisia ja epäorgaanisia materiaaleja (Muthanna, 2007; Blecken ym., 2010). Haitta-aineet voivat esiintyä hulevedessä joko hiukkasina, hiukkasiin kiinnittyneinä tai liukoisina. Esiintymismuoto vaikuttaa siihen, miten haitta-aineet pidättyvät. Pidättyminen puolestaan taas vaikuttaa siihen ovatko haitta-aineet eliöstön ja kasvien käytettävissä vai aiheuttamassa haittaa niille. Yleisimmät haitta-aineet ovat hiukkasmuodossa. (Airola ym., 2014) Taulukossa 2 on esitetty yleisimmät hulevedessä esiintyvät haitta-aineiden lähteet (Barbosan ym., 2012) sekä näiden vaikutus luontoon (Roth, 2004).

Taulukko 2. Huleveden haitta-aineet ja haitta-aineiden yleisimmät lähteet (muokattu Barbosan ym., 2012 & Roth, 2004)

Haitta-aineet	Parametri	Lähde	Vaikutus luonnossa
Kiintoaine	TSS	Asfaltin kuluminen, rakennustyömaat, ilmansaasteet, ihmisperäinen jäte	Haittaa kalojen lisääntymistä, kuljettaa mukanaan ravinteita ja kemikaaleja, lisää sameutta ja heikentää valaistusolosuhteita puroissa
Raskasmetallit	Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Cr	Renkaiden kuluminen, polttoaineet ja voiteluöljyt, metalliset liikennemerkit ja tiekiyltit. Lisäksi mahdollisesti teollisuus.	Heikentävät eliöiden vastustus- ja lisääntymiskykyä, muuttavat käyttäytymistä
Biohajoava orgaaninen materiaali	BOD <sub>5</sub> , COD	Kasvit (lehdet ja puutavara) sekä eläinten jätökset tai kuolleet eläimet.	Kuluttavat happea
Orgaaniset mikropollutantit	mm. PAHs, PCBs, MTBEs	Mm. PAH: epätäydellinen fossiilisten polttoaineiden palaminen; renkainen ja asfaltin kuluminen, muovirakenteet	Kerääntyvät eliöihin ja vaikuttavat luonnolliseen ravintoketjuun
Patogeeniset mikroorganismit	Kolibakteeri	Eläinten (koirat, kissat, linnut) jätökset	Lisäävät sairastumisriskiä
Ravinteet	Typpi ja fosfori (kok.N, NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> , kok.P)	Lannoitteet ja ilmansaasteet	Ekosysteemi joutuu epätasapainoon, leväkukinnot lisääntyvät, hajoava materiaali kuluttaa happea

Katualueella taulukon 2 mukaan yleisimmät haitta-aineet ovat kiintoaine, raskasmetallit (mm. *Cu*, *Zn*, *Cd*, *Pb*, *Ni*, *Cr*) ja orgaaniset mikropollutantit (mm. *PAH*, *PCB*, *MTBE*) Etenkin liikenteen hulevesistä olisi hyvä tutkia taulukon 2 lisäksi myös sulfaatteja, rikin oksideja, klorideja, *VOC* -yhdisteitä sekä öljyjä ja hiilivetyä (Valtanen ym., 2010). Liikennemäärän vaikutus haitta-aineisiin ja ravinnepitoisuuksiin sekä COD-arvoon maanteiden hulevesissä on kuvattu taulukossa 3 (Jokela, 2006). Keskimääräinen vuorokausi-

liikenne (KVL) on jaettu kolmeen ryhmään (KVL < 15000, KVL 15000–30000 ja KVL > 30000). Esitetty arvo ilmaisee pitoisuuden keskiarvoa ja suluissa olevat arvot pitoisuuksien minimiä ja maksimia.

*Taulukko 3. Liikennemäärän vaikutus haitta-aineisiin ja ravinnepitoisuuksiin sekä COD –arvoon maanteiden hulevesissä. Esitetty arvo ilmaisee pitoisuuden keskiarvon ja suluissa olevat arvot pitoisuuksien minimiä ja maksimia (Jokela, 2006)*

Haitta-aine	KVL 0–15 000	KVL 15 000–30 000	KVL >30 000	yksikkö
TTS	75 (40–150)	100 (50–200)	1000 (100–5000)	mg/l
Typpi	1,2 (0,05–2)	1,5 (0,05–8)	2,0 (1–10)	mg/l
Fosfori	0,15 (0,1–0,2)	0,20 (0,1–0,5)	0,25 (0,1–3)	mg/l
Kadmium	0,5 (0,2–1)	0,5 (0,2–1)	0,5 (0,5–100)	µg/l
Kupari	35 (10–50)	45 (10–100)	60 (10–800)	µg/l
Lyijy	20 (5–40)	25 (5–50)	30 (20–1000)	µg/l
Sinkki	100 (50–300)	150 (50–500)	250 (100–1000)	µg/l
COD	40 (20–80)	60 (30–120)	95 (50–190)	mg/l
PAH-yhdisteet	2,9		7,0	µg/l

Jokelan (2006) mukaan liikennemäärä on osoittautunut suurimmaksi vaikuttajaksi maantiehulevesien haitta-ainepitoisuuksiin, mutta haitta-ainepitoisuudet eivät silti välttämättä aina kuitenkaan lisäänty lineaarisesti liikennemäärän kasvaessa. Osa hulevedestä valuu tien ja ojien kautta lähiympäristöön ja osa hulevedestä haihtuu takaisin ilmakehään. Vaikka haitta-ainepitoisuudet eivät kasvaisi lineaarisesti liikenteen lisääntyessä, useiden tutkimusten perusteella voidaan silti löytää yhteys haitta-ainepitoisuuksien ja liikennemäärän välille (Muthanna, 2007). Etenkin raskaasti liikennöidyn maantien haitta-ainepitoisuudet ovat hyvinkin korkeat (Alzheimer & Bennerstedt, 2003). Pitt ym. (1996) myös täydentävät, että kevyenliikenteenväylän haitta-aineille on ominaista, että niissä on korkeita bakteeripitoisuuksia. Korkeat bakteeripitoisuudet selittyvät usein eläimillä, joiden ulosteiden bakteereita kulkeutuu viheralueilta jalkakäytävälle.

### 2.3.3 Valunnan vaikutus hulevesipitoisuuksiin

Pitt ja Burton (2001) toteavat, että hajakuormitus vaikuttaa nykyään haitallisesti hulevesien laatuun. Hajakuormitus asettaa haasteen niin lainsäädännöllisesti kuin hulevesien laadun arvioimisen suhteen. Toisin kuin pistekuormitus, niin hajakuormituksessa haitta-aineiden syöttö on ei ole jatkuvaa eikä noudattele tiettyä kaavaa (kuten valunnan määrä ja aika), vaan ilmenee usein hajanaisilla alueilla ja lähtökohtaisesti valuma-alueen ominaisuudet vaihtelevat ajan kanssa. Tärkeimmät valuntaan vaikuttavat sadannan ominaisuudet Mustosen (1986) mukaan on esitelty taulukossa 4.



Taulukko 4. Tärkeimmät valuntaan vaikuttavat sadannan ominaisuudet (Mustonen, 1986)

Ominaisuus	Vaikutus
Intensiteetti	Suurenkin sateen valunnan kokonaismäärä voi jäädä pieneksi ellei sadannan intensiteetti ylitä imeytäkkyä merkittäväällä osalla valuma-aluetta.
Kesto	Jos sadannan kesto ylittää valuma-alueella tyypillisen valunnan keräytymisajan, kertyy valuntaa samanaikaisesti koko valuma-alueelle. Lisäksi imeytäkkyä pienenee sateen aikana, joten pintavalunta kasvaa sateen jatkuessa.
Ajallinen jakauma	Mikäli intensiteetti on suurin sateen alussa, niin valunnan nousukäyrä on jyrkkä ja alaspäin kupera. Päinvastaisessa tapauksessa valunnan nousu on hitaampaa ja huippu loivapiirteisempi.
Alueellinen jakauma	Mikäli sadanta on suurin valuma-alueen alaosassa, niin valuntakäyrä on terävähuippuinen. Päinvastaisessa tapauksessa valuntakäyrä nousee hitaasti ja huippu jää matalaksi.
Liikesuunta	Jos saderintama liikkuu alaspäin, voi valuma-alueen yläosasta tulevan valunnan huippua olla yhtä aikaa alaosasta tulevan valunnan huipun kanssa, jolloin valunnan kokonaishuippu on hyvin korkea.

Valunnan vaikutusta huleveden haitta-aineiden pitoisuuksiin voidaan arvioida valunnalla painotetulla tapahtumakohtaisella pitoisuuskeskiarvolla kaavan 1 mukaan tai valunnalla painotetulla paikkakohtaisella pitoisuuskeskiarvolla kaavan 2 mukaan. Tapahtumakohtaisen pitoisuuskeskiarvon (*EMC*, *event mean concentration*) avulla voidaan arvioida esimerkiksi, kuinka suuri määrä haitta-aineita päätyy vastaanottavaan vesistöön sadetapahtuman aikana. Paikkakohtaisella pitoisuuskeskiarvolla (*SMC*, *site mean concentration*) voidaan taas vastaavasti tarkastella huleveden laatua esimerkiksi maankäyttöluokittain (Lee ym. 2002)

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^{t_r} C_t Q_t dt}{\int_0^{t_r} Q_t dt} = \frac{\Sigma C_t Q_t \Delta t}{\Sigma Q_t \Delta t} \quad (1)$$

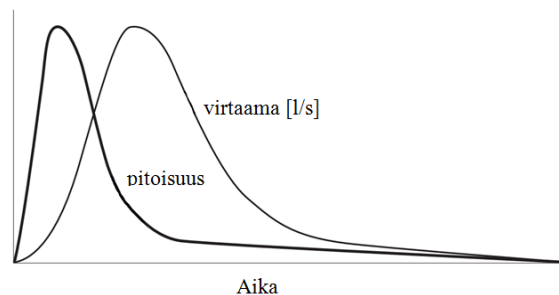
missä *EMC* on tapahtumakohtaisella valunnalla painotettu pitoisuuskeskiarvo [mg/l], *M* on haitta-aineiden kokonaismassa sadetapahtuman aikana [mg], *V* on kokonaisvalunta [l], *C<sub>t</sub>* on haitta-aineipitoisuuksien vaihtelu [mg/l], *Q<sub>t</sub>* on virtaama [l/min] sekä *Δt* on valunnan kokonaisaika [min].

$$SMC = \frac{\Sigma_{i=1}^n (EMC)_i V_i}{\Sigma_{i=1}^n V_i} \quad (2)$$

missä *SMC* on paikkakohtaisella valunnalla painotettu pitoisuuskeskiarvo [mg/l], *EMC* on tapahtumakohtaisella virtaamalla painotettu keskiarvo [mg/l] ja *V* on valunnan kokonaismäärä [l].

Valunnan kokonaismäärän lisäksi myös edeltävä kuiva kausi vaikuttaa merkittävästi huleveden laatuun. Ensihuuhtoumalla (*first flush*) tarkoitetaan yleisesti hulevesien huuhoutumaa ensimmäisten sateiden tai pitkän kuivan kauden jälkeen. Sille on tyypillistä het-

kellisesti huomattavasti korkeammat ainepitoisuudet kuin tavallisen huleveden huuhtouman ainepitoisuudet. (Lee ym., 2002) Monet eri tekijät vaikuttavat ensihuuhtoumaan määrään ja laatuun, kuten vesistöalue, sateen voimakkuus, läpäisemättömien pintojen ala, edeltävä kuiva kausi ja maanpinnan muodot (mm. Lee ym., 2002; Liu ym., 2014). Ilmiö on voimakkaampi pienellä alueella vaikka sademäärä olisi sama kuin vastaavalla, pinta-alaltaan suuremmalla alueella (Lee ym., 2002). Kuvassa 2 on esitetty ensihuuhtouman merkitys hulevesien ainepitoisuuksiin (Roth, 2004) ja siitä nähdään, että ainepitoisuus (tässä tapauksessa sedimentti ja öljy) ja virtaama eivät muutu samaan tahtiin. Heti huuhtouman alussa ainepitoisuudet kasvavat jyrkästi ja alkavat laskea jo ennen kuin virtaama saavuttaa huippunsa. Kun virtaama on saavuttanut huippunsa, ainepitoisuudet ovat jo hyvinkin pienet.



Kuva 2. Virtaaman ja ainepitoisuuksien suhde ensihuuhtouman aikana (muokattu Roth, 2004)

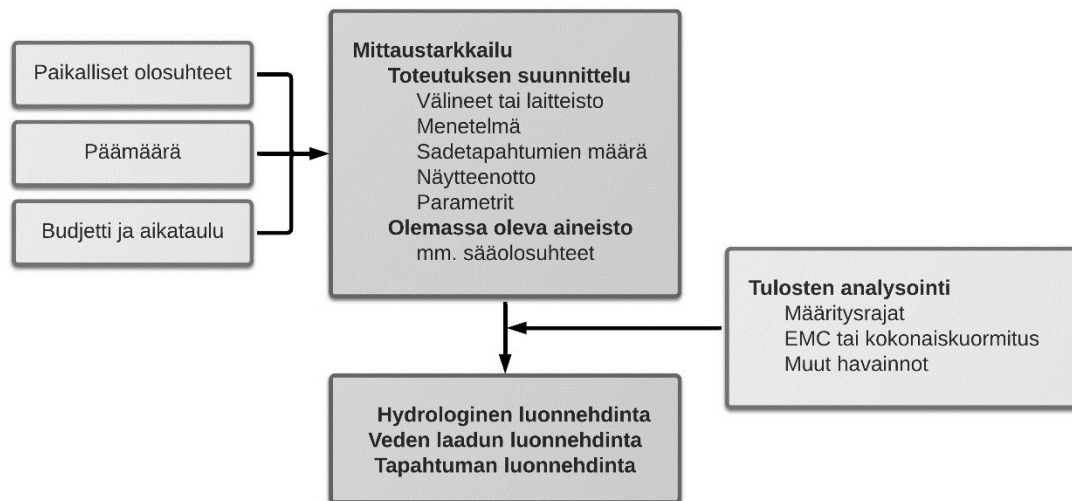
Lee ym. (2004) ovat havainneet tutkimuksissaan kiintoaineen ja haitta-aineiden korrelaation. Kiintoaineisiin sitoutuu paljon haitta-aineita ja haitta-aineet huuhtoutuvat kiintoaineen mukana läheisiin vesistöihin. He lisäksi korostivat, että alhaisen sateen intensiteetin aikana virtaama voi olla niin vähäinen, ettei kiintoainetta huuhtoudu ollenkaan ensihuuhtouman aikana. Heidän tutkimuksissaan erityisesti raskasmetallipitoisuudet olivat korkeita verrattuna muiden haitta-aineiden kohonneisiin arvoihin. He myös selvittivät, että pitoisuudet kaikkien suureiden kohdalla olivat korkeita kahden ensimmäisen sadetapahtuman aikana.

### 2.3.4 Hulevesinäytteiden kerääminen ja tulosten analysointi

Hulevesinäytteiden keräämisessä on tärkeää, että kerätyt näytteet edustavat vallinneita näytteenotto-olosuhteita sekä näytteiden määrä on riittävä tarjoamaan tilastollisesti relevantteja johtopäätöksiä (Burton & Pitt, 2001). Barbosan ym. (2012) mukaan kaikilla sadetapahtumilla on yksilölliset olosuhteet, kuten intensiteetti, sademäärä ja valuntaan kertyneen haitta-aineet, jotka vaikuttavat ja luovat jäljittelemättömät olosuhteet. Huleveden haitta-ainepitoisuudet voivat vaihdella suuresti saman sadetapahtuman aikana ja yksittäinen näyte ei anna kattavaa kuvaa koko sadetapahtumasta.

Hulevesisysteemin määrän tarkkailu ja laadun arviointi tulisi perustua paikallisten olosuhteiden, budjetin ja ajan sekä tavoitteen mukaan. Barbosa ym. (2012) esittelevät hulevesinäytteiden kokonaistarkastelun periaatteen kuvan 3 avulla. Kokonaistarkastelussa tulee huomioida paikalliset olosuhteet, kuten maankäyttö ja sääolosuhteet. Lisäksi on pidettävä mielessä hulevesinäytteiden keräämisen tavoite, jonka perusteella tehdään

näytteenottosuunnitelma. Näytteenottosuunnitelmassa esitetään näytteenottomenetelmä ja –laitteisto sekä sen avulla tehdään budjettisuunnitelma, minkä on riittävä koko tarkastelujakson ajan. Tulosten analysoinnissa on pidettävä mielessä paikalliset olosuhteet ja tuloksia on hyvä verrata joko annettuihin määräysrajoihin tai kirjallisuuden arvoihin, jotta tutkimukselle saadaan viitekehys. Näytteenoton yhteydessä on mahdollista tehdä myös muita havaintoja, jotka on hyvä kytkeä mahdollisuuksien mukaan tutkimukseen. Näiden perusteella voidaan tehdä hydrologinen, veden laadun ja tapahtuman kokonaisvaltainen luonnehdinta.



Kuva 3. Hulevesinäytteiden keräämisessä, mittaamisessa ja tulosten analysoinnissa huomioitavia asioita (suomennettu Barbosa ym., 2012)

Burton & Pitt (2001) jakavat näytteenottomenetelmät neljään kategoriaan: (1) sattumanvarainen näytteenotto (*haphazard sampling*), jota ei yleisesti suositella ellei muita vaihtoehtoja ole tarjolla, jolloin sattumanvaraisessa näytteenotossa olosuhteet pitäisi olla ajan ja paikan suhteen hyvin homogeeniset; (2) harkittu näytteenotto (*judgement sampling*), jossa ei tavoitella yleistyksiä vaan tarkastellaan kokonaisotannon osajoukkoa; (3) todennäköisyys näytteenotto (*probability sampling*), mikä perustuu yhteen tai useampaan aikaisemmin tiedettyyn tai ennustettuun tilastolliseen aineiston ominaisuuteen; sekä (4) tarkka näytteenotto (*search sampling*), jota käytetään, kun halutaan selvittää tarkempaa tietoa ja aikaisempien tutkimusten tietoa on saatavissa.

Järveläinen (2014) tarkasteli Espoon ja Lahden pientalo-, kerrostalo- ja keskusta-alueiden haitta-aineiden pitoisuuksia, ja hänen aineistonsa perustui Lahdessa 2008–2010 ja Espoossa 2001–2006 kerättyihin hulevesinäytteiden analyysien tuloksiin. Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka monesta sadetapahtumasta on kerättävä tapahtumakohtainen virtaamalla painotettu keskiarvo (EMC), kun paikkakohtaiselle valunnalle painotetulle keskiarvolle (SMC) sallitaan 10 % virhe. Hän tutki näytteiden määrää kaavan 3 (Cochran, 1963), kaavan 4 (Gilbert, 1981) sekä kaavan 4 (Milton & Arnold, 1986) avulla, ja taulukossa 5 on esitetty kaavoilla saadut näytteenottomäärien minimi. Kaavat vaativat normaalijakautuneen otannan (Burton & Pitt, 2001).

$$n = \frac{4(\sigma)^2}{(e_a)^2} \quad (3)$$

$$n = \frac{(Z_{1-\alpha})^2 \sigma^2}{(e_a)^2} \quad (4)$$

$$n = \frac{(Z_{1-\alpha})\sigma^2}{d^2} \quad (5)$$

joissa  $n$  on näytteiden lukumäärä,  $\sigma$  on standardipoikkeama,  $\sigma^2$  on varianssi,  $e_a$  on absoluuttinen sallittu virhe ( $\pm$  keskiarvosta),  $d$  on alemman ja ylemmän luottamusrajan etäisyys,  $\alpha$  on riskitaso ja  $Z_{1-\alpha}$  on  $Z$ :n tulos vastaamaan  $1-\alpha$  luottamustasoa tavallisista tilastollisista taulukoista.

Taulukossa 5 on esitetty kiintoaineen (*TSS*), kokonaistypen (*kok.N*) ja kokonaisfosforin (*kok.P*) näytteenottomäärät, joilla saadaan luotettavaa tietoa muuttujien SMC-pitoisuuksista. Lisäksi Järveläinen (2014) tutki myös jotain raskasmetalleita, joita ei ole taulukossa 5. Kun halutaan luotettavia tuloksia, niin kiintoaineelta ja kokonaisfosforilta vaaditaan huomattavasti enemmän näytteenottoja kuin kokonaistypeltä, missä luotettavuuden saavuttamiseksi riittää vain muutama näytteenotto.

Taulukko 5. Eri muuttujien EMC -arvojen vähimmäismäärä, kun SMC -pitoisuudella sallitaan 10 % virhe (Järveläinen, 2014)

	Pientaloalue, Lahti	Pientaloalue, Espoo	Kerrostaloalue, Espoo	Keskusta-alue1, Lahti	Keskusta-alue2, Lahti
TSS	27–66	12–28	10–25	13–32	7–17
kok.N	2–4	1–2	2–3	–	3–9
kok.P	10–31	5–27	18–64	33–164	21–153

Kaavojen 3–5 lisäksi näytteenottomäärää voidaan arvioida yksinkertaisemmin variaatiokertoimen (*coefficient of variation*) ja sallitun virheen avulla (*allowable error, fraction of mean*) avulla, joka on esitetty liitteessä A. Variaatiokerroin saadaan jakamalla keskihajonta keskiarvolla. (Burton & Pitt, 2001)

## 2.4 Huleveden hallinta biosuodatuksella

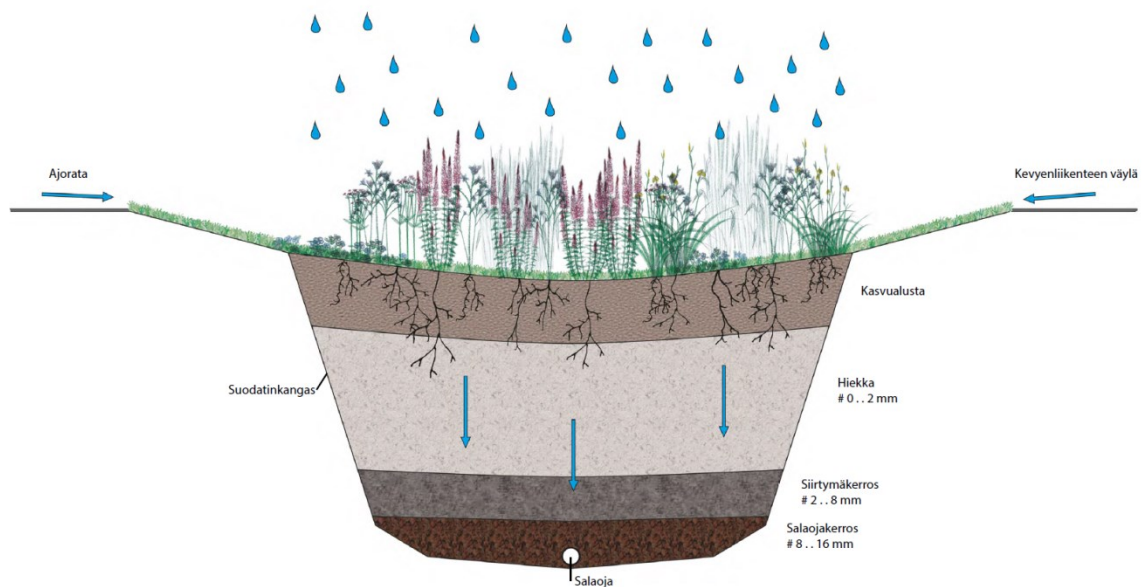
### 2.4.1 Biosuodatuksen toimintaperiaate ja rakenne

Biosuodatus on yksi luonnonmukaisen hulevesien käsittelyvaihtoehto ja sen positiivista vaikutusta huleveden laadun parantamiseen ja määrän hillintään on tutkittu paljon (mm. Roseen ym., 2009; Liu ym., 2014). Se on vakiinnuttanut asemaansa viimeisien vuosien aikana (Towsdale & Simcock, 2010) ja on nykyään yksi eniten käytetyistä hulevesien hallintamenetelmistä (Liu ym., 2014). Kirjallisuudessa biosuodatusta (*bioretention*)

voidaan kutsua monella eri nimellä, kuten sadepuutarha (*rain garden*) tai viherpainanne (*bioinfiltration*) (Davis ym. 2009), mutta tässä tutkimuksessa käytettiin *biosuodatus* -termiä.

Liu ym. (2014) määrittelevät biosuodatuksen maisemoiduksi painanteeksi, johon hulevedet valuvat läpäisemättömiltä pinnoilta. Biosuodatus koostuu kasvillisuudesta, rakennekerroksista ja jossain tapauksessa myös suodattuneen huleveden keräävästä salaojasta. Salaojaa käytetään kylmissä ilmasto-oloissa, jolloin varmistetaan biosuodatusrakenteen toimivuus. Kylmissä ilmasto-oloissa biosuodatuksen ympäröivä maaperä usein routii tai on jäätynyttä, jolloin biosuodatusrakenne vettyy ellei hulevettä ohjata salaojan avulla pois. Lämpimissä ilmasto-oloissa salaoja voidaan yleensä jättää pois, sillä hulevesi pystyy imeytymään myös ympäröivään maaperään.

Kuvassa 4 on esitetty biosuodatuksen periaate, jossa painanne on sijoitettu katualueelle keräämään hulevesiä ajoradalta ja kevyenliikenteenväylältä. Kasvillisuudella on tärkeä rooli erityisesti ravinteiden poistossa juuristonsa takia. Juuriston avulla kasvit pidättävät hulevedessä olevia ravinteita ja raskasmetalleja, mutta samalla juuristo muokkaa maaperää kuohkeammaksi luoden optimiolosuhteet myös maaperässä eläville mikrobeille (Bratieres ym., 2008). Barrett ym. (2013) mukaan kasvualustan rooli on tärkeä, mutta samalla vaativa. Kasvualustaan sekoitetaan yleensä orgaanista ainesta, joka sisältää useita toiminnallisia ryhmiä (mm. karboksyyli-, hydroksyyli-, kiniini- ja feniliryhmiä), joihin positiivisesti varautuneet raskasmetallit sitoutuvat (Paus ym., 2013). Toisaalta kasvualustan tehtävä on tarjota riittävästi ravinteita kasveille ja vaarana on, että orgaanisen aineksen mukana olevat ravinteet, typpi ja fosfori, huuhtoutuvat huleveden mukana vastaanottavaan vesistöön, jos kasvillisuus ei pysty käyttämään niitä (Barrett ym., 2013).



Kuva 4. Katualueelle sijoitetun biosuodatuksen periaatekuva (Sirpa Törrönen, Vantaan kaupunki)

Read ym. (2007) mukaan biosuodatus on suunniteltu poistamaan haitta-aineita sekä hiukkasmuodossa että liuenneina. Huleveden suodattuminen biosuodatusrakenteen läpi on sen ensisijainen mekanismi haitta-aineiden poistoon, mutta suodattumista tukee haihdunta, adsorptio, ja biotransformaatio. Lisäksi biosuodatusalueet tasaavat valunnan määrää varastoimalla rakenteessa hulevettä. (Mangangka ym., 2015) Biosuodatuksen toimintaperiaate on siis jäljitellä ennen rakentamista vallinnutta luonnollista hydrologista tilaa. Biosuodatusalueet ylläpitävät luonnollista kiertoa tasaamalla virtaamahuippuja, lisäämällä pohjaveden muodostumista sekä vähentämällä huleveden määrää ja parantamalla sen laatua. Liu ym. (2014) mukaan jopa 31 % biosuodatuksen tulevasta hulevedestä pidättyi ja noin 19 % hulevedestä haihtui kasvillisuuden avulla. Lisäksi biosuodatuksella on esteettistä arvoa, sillä se luo miellyttävämmän ympäristön, joka parantaa mikroilmastoa ja houkuttelee pieneliöstä.

Rakennetut biosuodatuskohteet ovat kooltaan yleensä melko pieniä (Liu ym., 2014). Bratieres ym. (2008) mukaan optimikoko biosuodatukselle olisi 2 % biosuodatusalueen yläpuolisesta valuma-alueesta, jotta se pidättää ja puhdistaa riittävän tehokkaasti. Maksimi valuma-alue noin 2 hehtaaria. Taulukkoon 6 on kerätty tietoa mm. tietoa biosuodatuksen vaikutustavoista huleveden laatuun ja määrään sekä muotoiluun ja mitoitukseen liittyviä suosituksia. Lisäksi taulukossa 6 biosuodatusta ehdotetaan teiden varsille putkiojien sijasta, tonteille kattovesien johtamiseen sekä yhdysväylinä muiden luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien välille (Vakkilainen ym. 2006).

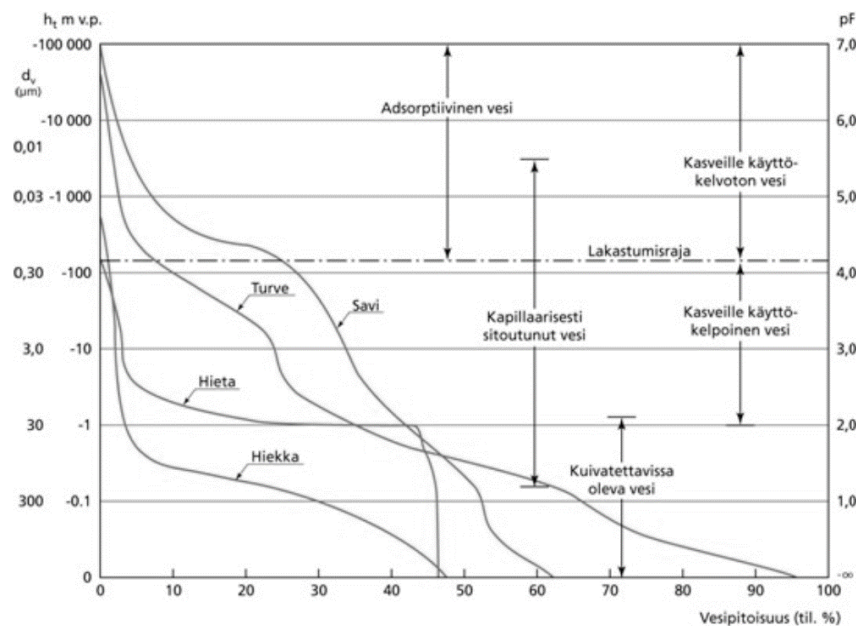
*Taulukko 6. Yleistä tietoa biosuodatusalueiden toiminnasta ja mitoituksesta (Vakkilainen ym., 2006)*

<b>Biosuodatuspainanne</b>	
Vaikutus huleveden laatuun ja määrään	<ul style="list-style-type: none"> <li>– jonkin verran imeytymistä maaperään</li> <li>– virtaamahuiput pienentyvät</li> <li>– viipymä lisääntyy</li> <li>– kiintoainetta suodattuu ja laskeutuu</li> <li>– hulevesi puhdistuu mikrobiologisen toiminnan vaikutuksesta</li> </ul>
Muotoilu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– uoman poikkileikkauksen epätasainen muoto lisää viipymää ja vähentää eroosiota, parabolinen tai trapetsinen muoto parempia kuin v-muoto</li> <li>– hidastusaltaat painanteen yhteydessä tehostavat puhdistusvaikutusta</li> </ul>
Mitoitus	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mikrobiologinen pitkä painanne (&gt; 60 m)</li> <li>– pituuskaltevuus 0,2-1 %, luiskan kaltevuus 1:4–1:5</li> <li>– pohjan leveys 0,5-3,0 m</li> <li>– syvyys &lt;0,1 m</li> </ul>
Talviolosuhteiden vaikutus toimintaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mikrobiologinen puhdistustoiminta ja kiintoaineen pidättyminen vähenevät</li> <li>– imeytyminen maaperään vähenee maan jäätyessä</li> </ul>
Huoltotoimenpiteet	<ul style="list-style-type: none"> <li>– painanteen pohjalle kerääntyvän lietteen ja roskien poisto säännöllisesti, erityisesti keväällä sulamiskauden jälkeen</li> </ul>
Sovelluskohteet	<ul style="list-style-type: none"> <li>– teiden varsilla putkiojien sijasta</li> <li>– tonteilla kattovesien johtamiseen</li> <li>– yhdysväylinä muiden luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien välillä</li> </ul>

## 2.4.2 Biosuodatuksen hydraulinen johtavuus

Hydraulinen johtavuus on yksi biosuodatusmateriaalin tärkeimmistä ominaisuuksista ja se riippuu pääosin rakenteen materiaalien huokoskoosta. Pienetkin erot raekoossa tai materiaalin heterogeenisyydessä vaikuttavat huomattavasti hydrauliseen johtavuuteen (Hsieh ym., 2005). Barrett ym. (2013) toteavat, että monet tutkimukset kuvaavat pelkästään prosenttiosuuksilla eri ainesosia, mutta valitettavasti eivät anna konkreettista tietoa hiukkaskokojakaumasta, orgaanisen aineen pitoisuudesta, kationionvaihтокyvystä, vedenpidätyskyvystä tai muista ominaisuuksista. Jos huokoskoko on suuri, niin silloin huomattava osa valunnasta huuhtoutuu rakenteen läpi eikä biosuodatus ehdi puhdistaa haitta-aineita fysikaalisten ja kemiallisten prosessien avulla.

Kuvassa 5 on esitetty vedenpidätyskäyrä (Mustonen, 1986), joka kuvaa eri maalajien huokosjakaumaa ja kykyä sitoa vettä. Vedenpidätyskäyrässä vasemmalla (y-akseli) on hydraulinen painekorkeus ( $h_t$ ) ja oikealla (y-akseli) on sen itseisarvon kymmenlogaritmi ( $pF$ ), kun imu on ilmaistu senttimetreinä vesipatsasta. Vesipitoisuus on esitetty x-akselilla. Kuvasta 5 nähdään, että eri materiaaleilla on hyvin erilainen kyky sitoa vettä sekä vesipitoisuus-alue, joilla ne ylipäättensä voivat sitoa vettä.



Kuva 5. Vedenpidätyskäyrä eri maalajeille (Mustonen, 1986)

Suomen kylmien ilmasto-olojen takia Muthanna ym. (2007) suosittelee korkeaa hiekkapitoisuutta, jotta talviaikaan hulevesi ei jää seisomaan biosuodatusalueiden päälle ja mahdollisesti jäädy. Kesäaikaan hulevesi voi seistä rakenteen päällä jopa 6 tuntia (Prince George's County, 2007). Onnistuneen suodatuksen hydraulinen johtavuus tulisi olla vähintään 1,3 cm/h (Muthanna, 2007) ja korkeintaan 10 cm/h (Paus ym., 2013). Biosuodatusalueet mitoitetaan yleensä tyhjenemään vuorokaudessa, jonka aikana vaadittavat prosessit ehtivät tapahtua sekä samalla taataan myös hapelliset olot rakenteessa olevalle mikrobitoiminnalle. Tasapainon löytäminen pidättymisen ja tyhjentymisen välillä on tärkeää, ja suositeltu nopeus hiekkaiselle siltille vaihtelee 5–10 cm/h (Muthanna,

2007). Hatt ym. (2008) mukaan tukokset pintakerroksessa ovat suurin syy biosuodatusrakenteiden hydraulisen johtavuuden pienenemiseen. On suositeltavaa, että pintakerroksesta poistetaan 3–5 cm joka toinen vuosi varmistamaan hydraulinen johtavuus.

Paus ym. (2013) tutkivat ajan vaikutusta hydrauliseen johtavuuteen kolmessa eri kohteessa Minnesotan alueella Yhdysvalloissa vuonna 2006 ja uudelleen vuonna 2010. Taulukossa 7 on esitetty kootut tutkimustulokset kolmesta tutkimuskohteesta, jotka ovat University of Minnesota, St. Paul Campus (UMN1) sekä Ramsey Washington Metro Watershed District (RWMDW4 ja RWMDW5) Tuloksista nähdään, että kaikissa tutkimuskohteissa hydraulisen johtavuuden ( $K_{sat}$ ) mediaani kasvoi huomattavasti. Suurin muutos oli RWMDW5:ssä (2,9 cm/h → 61,0 cm/h) ja vastaavasti taas pienin muutos RWMDW4:ssä (14,4 cm/h → 53,9 cm/h). Paus ym. (2013) mukaan mikään tarkkailukohteista ei ollut kärsinyt merkittävää hydraulisen johtavuuden heikentymistä. Hän silti toteaa, että hydraulisen johtavuuden voidaan olettaa kasvavan ajan kuluessa.

*Taulukko 7. Tutkimusalueiden (UMN1, RWMDW4 ja RWMDW5) hydraulisen johtavuuden ( $K_{sat}$ ) näytemäärät, mediaanit, standardipoikkeama ja variaatiokerroin vuonna 2006 ja 2010*

Tilastollinen arvo	UMN1		RWMDW4		RWMDW5	
	2006	2010	2006	2010	2006	2010
Näytemäärä (kpl)	39	14	4	7	15	6
Mediaani (cm/h)	10,4	41,2	14,4	53,9	2,9	61
Standardipoikkeama (cm/h)	13,8	36,1	7,7	28,3	17,5	45,4
Variaatiokerroin	1,13	1,36	1,48	1,68	0,68	1,45

Paus ym. (2013) mukaan ajan myötä maaperän tiivistyminen heikentää hydraulista johtavuutta, kun maaperän huokostilavuus muuttuu. Vastaavasti taas orgaanisen aineksen lisääminen rakenteeseen saattaa lisätä hydraulista johtavuutta, sillä rakenne muuttuu huokoisemmaksi ja orgaanisen aineksen mukana tuleva pieneliöstö kasvattaa maaperän makrohuokosia.

### 2.4.3 Kylmien ilmasto-olojen vaikutus biosuodatuksen toimivuuteen

Kylmän ilmasto-olon määritelmä täyttyy, kun vuodesta kolmena kuukautena keskilämpötila on alle +10 °C ja kylmimmän kuukauden keskilämpötila on alle –3 °C. (Muthanna, 2007). Kylmissä ilmasto-oloissa hydrologinen kierto saa omalaatuisia piirteitä, kuten voimakkaat kausivaihtelut ja lumien sulamisen aikaan suuren valunnan (Muthanna, 2007; Valtanen ym., 2013). Roseen ym. (2009) mukaan kylmät ilmasto-olot voivat aiheuttaa hulevesien hallinnassa haasteita sulannan hydrologiassa, sillä huleveden alhainen lämpötila voi vaikuttaa haitallisesti vesikemiaan, veden tiheyteen sekä ioninvaihtokapasiteettiin. He ovat silti saaneet jo pitkään erittäin hyviä haitta-aineiden pidätystuloksia biosuodatuksella kylmissä ilmasto-oloissa ja routivassa maaperässä, vaikka samalla tunnustavat samalla tunnustavat ilmasto-olojen haasteen.

Useimmissa biosuodatuskohteissa ei ole huomioitu kylmiä ilmasto-oloja (Blecken ym., 2009) ja hulevesitutkimukset keskittyvät lähinnä vain lämpöisiin ilmasto-oloihin, joissa sadejaksot ovat pidempiä ja intensiivisempiä. Ruotsissa ja Norjassa on tehty enemmän



tutkimuksia (Blecken ym., 2010; Blecken ym., 2011; Muthanna, 2007) joiden tutkimustuloksia on mahdollista verrata myös Suomen ilmasto-oloihin. Blecken ym. (2010) mukaan on tärkeää, että biosuodatustekniikkaa kehitetään kylmiin ilmasto-oloihin. Talviaikaan hulevedet ovat hyvin epäpuhtaita, sillä niihin on sitoutuneena paljon haitta-aineita. Suuri haitta-aineiden määrä johtuu muun muassa niiden varastoitumisesta lumikasoihin, ajoneuvot kuluttavat enemmän teitä ja teillä käytetään tiesuolaa tai muuta liukkauden torjunta-ainetta. Kuvassa 6 on kuvattu Tammistonrannan viivytysaltaita talvella 2013.



*Kuva 6. Tammistonranta talvella 2013 (Marika Orava, Vantaan kaupunki)*

Osa kylmiin ilmasto-oloihin keskittyneistä tutkimuksista on ristiriitaista keskenään (Dietz, 2007; Muthanna, 2007; Muthanna ym., 2007a; Roseen ym., 2009; Blecken ym., 2010; Blecken ym., 2011). Dietz (2007) tutkimuksen perusteella on voitu osoittaa, että biosuodatus toimii kuitenkin kylmissä ilmasto-oloissa, ja suodatus onnistuu myös jäisen maan läpi. Kylmillä ilmasto-oloilla ei näytä olevan vaikutusta suodatus- tai viivytysaikaan (Muthanna, 2007) maaperän orgaanisen materiaalin ja makrohuokosten ansiosta. Toisaalta taas Muthanna ym. (2007a) mukaan talven vähentyneet tulvapiikit ja pienentynyt valunta viittaavat siihen, että hydrauliset toiminnot hidastuvat kylmien kuukausien aikana. Muthanna ym. (2007) silti huomauttavat, että hidastunut hydraulinen toiminto voi kompensoitua vähentyneiden tulvapiikkien ja pienentyneen valunnan takia. Muthanna (2007) osoitti, että viivytysaika ei juuri vaihtele eri vuodenaikojen välillä, mutta biosuodatuksen toiminta voi hidastua alle 0 °C ja lumisateiden aikana.

Blecken ym. (2011) toisaalta toteaa, että erityisesti maan jäätyminen voi aiheuttaa ongelmia biosuodatuksessa. Maan jäätyminen saattaa aiheuttaa halkeamia suodatinkerroksessa ja vähentää biologisia toimintoja maaperässä. Lisäksi Suomessa kasvien kasvu-kausi on lyhyt ja kylmän talven takia lepokausi pitkä, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia biosuodatusalueen jatkuvavuotiselle toiminnalle. Juuri lepokauden aikaan hulevettä syntyy syyssateiden ja kevään sulamislumien takia, ja taas vastaavasti kesän kasvukauden aikaan sadanta on yleensä vähäisempää.

Blecken ym. (2010 & 2011) tutkivat laboratorio-oloissa lämpötilan vaikutusta biosuodatuksen puhdistustuloksiin. Mitattuja parametreja olivat kiintoaine, pH, kokonaistyyppi, nitraattityppi, ammoniumtyppi ja kokonaisfosfori sekä kupari, lyijy ja sinkki. Valitut tarkastelulämpötilat olivat +2 °C, +7 °C ja +20 °C. Heidän tutkimustuloksensa ovat esitetty taulukossa 8 ja tutkimustuloksien perusteella voidaan todeta, että kiintoaineen poistuma (98±1 %) ja pH (7,3–7,7) ei näytä olevan riippuvaisia lämpötilasta. Ravinteista taas huomataan, että erityisesti kokonaistyyppiä (2 °C on -5±22 ja 20 °C on -172±41)

ja nitraattityppeä (2 °C on  $-208 \pm 101$  % ja 20 °C on  $-944 \pm 359$  %) vapautuu huleveteen lämpötilan noustessa. Vastaavasti kokonaisfosfori eivät näytä olevan ollenkaan herkkä-lämpötilalle vaan pidätysprosentit ovat aina korkeita (noin 91–92 %). Raskasmetallit eivät näytä myöskään reagoivan lämpötilan muutoksiin ja kuparin, lyijyn sekä sinkin poistumat ovat olosuhteista huolimatta korkeita (89–98 %).

Taulukko 8. Keskiarvolliset sisään- ja ulosvirtaukset ( $\text{mg l}^{-1}$  tai %) eri lämpötiloissa  $\pm$  keskihajonta (Blecken ym., 2010 & 2011)

		yksikkö	hulevesi	2 °C	7 °C	20 °C
TSS	Konsentraatio	( $\text{mg l}^{-1}$ )	131 $\pm$ 5	2 $\pm$ 1	3 $\pm$ 2	3 $\pm$ 2
	Poistuma	(%)		98 $\pm$ 1	98 $\pm$ 1	98 $\pm$ 1
pH	Vaihtelu		6,7–7,0	7,3–7,5	7,4–7,7	7,5–7,7
kok.N	Konsentraatio	( $\text{mg l}^{-1}$ )	1,80 $\pm$ 0,29	1,89 $\pm$ 1,51	2,24 $\pm$ 0,64	4,86 $\pm$ 0,98
	Poistuma	(%)		– 5 $\pm$ 22	– 23 $\pm$ 27	– 172 $\pm$ 41
NH <sub>4</sub> -N	Konsentraatio	( $\text{mg l}^{-1}$ )	0,22 $\pm$ 0,05	0,17 $\pm$ 0,04	0,11 $\pm$ 0,04	0,06 $\pm$ 0,05
	Poistuma	(%)		18 $\pm$ 26	51 $\pm$ 15	74 $\pm$ 18
NO <sub>x</sub> -N	Konsentraatio	( $\text{mg l}^{-1}$ )	0,40 $\pm$ 0,16	1,14 $\pm$ 0,40	1,57 $\pm$ 0,52	3,76 $\pm$ 0,87
	Poistuma	(%)		– 208 $\pm$ 101	– 320 $\pm$ 127	– 944 $\pm$ 359
kok.P	Konsentraatio	( $\text{mg l}^{-1}$ )	0,31 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,02	0,03 $\pm$ 0,02	0,03 $\pm$ 0,02
	Poistuma	(%)		92 $\pm$ 6	91 $\pm$ 6	91 $\pm$ 7
Cu	Konsentraatio	( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	151,9	10,1	11,7	16
	Liuenut konsentr.	( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	21	6,9	8,1	13,4
	Kokonaispoistuma	(%)		93	93	89
	liuenut poistuma	(%)		64	66	24
Pb	Konsentraatio	( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	42,3	1,9	1,9	1,7
	Liuenut konsentr.	( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	0,3	0,1	0,1	0,1
	Kokonaispoistuma	(%)		95	96	96
	liuenut poistuma	(%)		46	55	54
Zn	Konsentraatio	( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	275,9	4,8	4,8	4,7
	Liuenut konsentr.	( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	69,5	1,9	1,9	2,1
	Kokonaispoistuma	(%)		98	98	98
	liuenut poistuma	(%)		99	99	99

Kylmien ilmasto-olojen haittana on, että epäpuhtauden kerääntyvät pitkiksi ajoiksi lumipeitteeseen ja lumen sulamisaikaan vapautuu suuria määriä epäpuhtauksia ympäristöön. Muthanna (2007) mukaan myös maahan laskeutuvat lumihiukkaset voivat napata ilmakehän hiukkaspäästöjä ja aerosolisista epäpuhtauksia. Toisaalta tästä on myös hyötyä, jos lumensiirto ja hallinta järjestetään oikein, jolloin haitta-aineet on helpompi kerätä keskittyneesti talteen (Muthanna ym., 2007b; Sillanpää, 2013). Talviaikaan käytetään myös paljon liukkaudenestoaineita ja nastarenkaat kuluttavat maantien pintaa. Tiealueelle kertynyt lumi voi sisältää jopa kymmenen kertaa enemmän raskasmetalleja kuin esimerkiksi ruohoalueelle kertynyt lumi. Viklander ja Malmqvist (1993) tutkivat suspendoituneiden aineiden määrällistä osuutta lumen ensihuuhtoumassa. He huomasivat, että jopa 80 % haitta-aineista voi huuhtoutua ensimmäisen 20 % sulamisveden mukana. Tiesuolan on todettu muuttavan raskasmetalleja, kuten sinkki ja kadmium, liukoiseen muotoon (Airola ym., 2014). Muutoksen arvellaan johtuvan joko kemiallisista muutoksista maaperässä tai muutoksista kationinvaihtokapasiteetissa. Lisäksi tiesuola aiheuttaa muutoksia maaperän mikrobitoiminnassa, mikä saattaa heikentää koko biosuodatusraken-teen toimintaa. Blecken ym. (2011) tutkimusten mukaan raskasmetallien muuttuminen liukoiseen muotoon saattaa olla positiivinen asia, sillä biosuodatusalueiden on todettu pidättävän liuenneita raskasmetalleja.

#### 2.4.4 Huleveden haitta-aineiden pidättyminen biosuodatuksen avulla

Biosuodatusalueiden kykyä pidättää ja poistaa kiintoainetta, ravinteita ja raskasmetalleja on tutkittu paljon. Trowsdale ja Simcock (2010) mukaan biosuodatusalueet pidättävät hyvin kiintoainetta, fosforia ja raskasmetalleja. Toisaalta vaihtelevia tuloksia saadaan erityisesti kokonaistypen ja nitraattitypen poistosta. Matalat haitta-ainepitoisuudet saattavat myös osaltaan aiheuttaa hajontaa hulevesinäytteiden tuloksissa (Trowsdale & Simcock, 2010) ja toisaalta hajonta saattaa selittyä myös vaihtelevilla mittausten menetelmillä ja -välineillä. Sillanpää (2013) perustelee hajontaa myös moninaisten tekijöiden johdosta, kuten kausi- ja meteorologiset vaihtelut, maantieteelliset eroavaisuudet, maaperän ominaisuuksien heterogeenisyys ja ylipäättänsä mittausten luotettavuus.

#### Perusmuuttujat

Useiden tutkimusten mukaan biosuodatusalueet pidättävät hyvin kiintoainetta (Hsieh ym., 2005; Bratieres ym., 2008; Blecken ym., 2010; Trowsdale & Simcock, 2010; Barrett ym., 2013). Bratieres ym. (2008) mukaan kiintoaineen pidättymisen tehokkuus on tasaista ja Blecken ym. (2010) havaitsivat, että kiintoaineen pidätys ei ole herkkä lämpötiloille vaan pidätysprosentti pysyy melkein aina korkealla tasolla (noin 95 %). Barrett ym. (2013) tutkivat kiintoaineen pidättyvyyteen vaikuttavia tekijöitä ja osoittivat, että kasvillisuuden ja kasvualustan vaikutus on vähäinen. Vastaavasti taas pienempi raekoko pidättää kiintoainetta paremmin kuin rakennekerros isommalla raekoolla. Hsieh ym. (2005) tulivat siihen tulokseen, että kiintoaineeseen vaikuttaa maaperän fysikaaliset ominaisuudet enemmän kuin kemialliset, ja pidättymistä tapahtuu eniten pintakerroksissa. Toisaalta pieni raekoko saattaa edesauttaa rakenteen tukkeutumista.

Airola ym. (2014) totesivat huleveden olevan emäksisempää kuin sadeveden. Ero johtuu heidän mukaansa siitä, että erityisesti kaupunkialueella hulevesi huuhtoo kalkkia sisältäviä betonipintoja ja sen happamuus muuttuu. Huleveden pH vaikuttaa maaperään ja sen takia myös maaperässä tapahtuviin kemiallisiin prosesseihin. Muthanna ym. (2007a) tutkivat biosuodatuksen toimivuutta pilottikokeella Norjassa ja heidän tutkimuksiensa mukaan metallinpoiston ideaali pH -arvo on 6. Hsieh ym. (2005) tutkivat biosuodatuksen toimivuutta usealla koejärjestelyllä ja totesivat, että pH vaikutti erityisesti kupariin, lyijyyn, nikkeliin ja sinkkiin. Airola ym. (2014) ottivat esimerkiksi sinkin ja kuparin, mitkä ovat sitoutuneena hiukkasiin pH:n ollessa 8, mutta liukenevat veteen pH:n laskiessa arvoon 4.

Sameus kuvaa hulevedessä olevia partikkeleita (sedimenteistä), liettyneistä aineista (suspensioista), liejuista ja muista määrittelemättömistä epäpuhtauksista (Karttunen, 2004). Sähkönjohtavuus kuvaa huleveteen liuenneiden elektrolyyttien määrää, jotka veteen liuetessaan hajoavat ionimuotoisiksi. (Vahtera, 2014). Yleisimpiä ioneja ovat suolat, metalli-ionit ja orgaanisten yhdisteiden ionimuodot (Airola ym., 2014). Erityisesti talviaikaan tiesuolan ja liukkauden torjunnan takia sähkönjohtavuuden arvot voivat olla kohonneita. Voidaan siis olettaa, että mitä enemmän hulevedessä on kiintoainetta,

sitä sameampaa hulevesi on. Vastaavasti, mitä sameampaa hulevesi on, niin sitä enemmän siinä on myös ioneita ja samalla huleveden sähkönjohtavuus kasvaa.

## Ravinteet

Useiden tutkimusten mukaan biosuodatusalueiden ravinteiden pidätyskyky on myös hyvä (mm. Dietz, 2007). Barrett ym. (2013) tutkivat kasvillisuuden ja kasvualueen vaikutusta ravinteiden poistossa ja tulivat siihen tulokseen, että osa ravinteiden poistosta voi olla peräisin kasvien juuriston kyvystä sitoa ravinteita ja toisaalta taas biologisesta toiminnasta kasvualueella. Kasvillisuuden monimuotoisuus ja istutustiheys, kasvualueen kyllästyneisyys ja koostumus vaikuttavat silti vaihtelevasti ravinteiden, erityisesti typen, poistoon. Mangangka ym. (2015) tutkivat sateen vaikutusta ravinteiden poistossa ja huomasivat, että erityisesti raskasmetallien yhteydessä epäpuhtaudet liukenevat huleveteen ja alentavat ravinteiden reduktiota. Vastaavasti taas edeltävä melko pitkä kausi vähentää nitriitin ja ammoniumin pitoisuuksia, mutta lisää nitraatin pitoisuuksia.

Kuten jo luvussa 2.4.3 todettiin, niin ilmasto-olosuhteilla on vaikutusta ravinteiden pidättymiseen. Blecken ym. (2010) tutkimusten mukaan kokonaisfosfori ei ollut herkkä lämpötilan muutoksille (reduktion yli 90 %) ja pidätyskyky oli tasaisen korkea eri lämpötiloissa. Biosuodatusrakenteesta poistuvan huleveden kokonais- ja nitraattityypen pitoisuudet vastaavasti taas kasvoivat huomattavasti lämpötilan noustessa. Toisaalta taas Hsieh ym. (2005) tutkimuksen perusteella fosforin reduktiossa on paljon enemmän hajontaa (37–99 %). Blecken ym. (2010) ja Hsieh ym. (2005) ovat sitä mieltä, että fosforinpoisto ei ole niin riippuvainen maaperässä tapahtuvasta biologisesta prosessista vaan siellä tapahtuvasta passiivisesta pidättymisestä.

Blecken ym. (2010) ja Mangangka ym. (2015) tutkimukset vahvistavat sitä, että biosuodatusrakenteessa tapahtuu nitrifikaatiota. Nitrifikaatio on hyvin riippuvainen maaperän lämpötilasta ja sen optimilämpötila on 20–35 °C. Lisäksi nitrifikaatiobakteereille on luotava aerobinen ympäristö. Denitrifikaatio taas on nitrifikaation jälkeen tapahtuva prosessi, jossa nitraatti ja nitriitti muuttuvat typpikaasuiksi tai typpioksidiksi anaerobisessa oloissa hiilen kanssa ja poistuvat kaasuna hulevedestä. Kirjallisuuden mukaan denitrifikaatioprosessi on silti melko harvinainen, sillä maaperän tulisi olla vedellä kylästetty ja sen tulisi sisältää hiiltä. (Bratieres ym., 2008; Blecken ym. 2010; Komulainen, 2012)

Nitraatti on useimpien tutkimusten mukaan haastavampi poistaa ja tuloksissa hajontaa (Hsieh ym., 2005; Dietz, 2007; Sankiahon & Sillanpää, 2012). Hsieh ym. (2005) tutkimusten mukaan nitraatin reduktio oli vähäinen (6–9 %) ja vastaavasti Bratieres ym. (2008) sekä Sankiahon ja Sillanpään (2012) tutkimuksissa biosuodatusalueet lisäsivät nitraattia poistuvaan huleveteen. Dietz (2007) selittää nitraatin heikkoa pidätyskykyä sillä, että negatiivisesti varautuneet NO<sub>3</sub>-N -ionit eivät adsorboidu maaperän partikkeleihin.

## Raskasmetallit

Biosuodatusalueiden tehokkuus sitoa raskasmetalleja vaihtelee suuresti. Kirjallisuudessa reduktio voi vaihdella 24–99 % (välillä) riippuen raskasmetallista ja rakenneratkaisusta. Kuparin reduktiolle arvio on 36–93 %, lyijylle 24–99 % ja sinkille 31–99 % (Prince George's County. 2007). Blecken ym. (2011) tutkivat lämpötilan vaikutusta raskasmetallien pidätykseen ja huomasivat, että kadmiumiin, lyijyyn ja sinkkiin lämpötila ei vaikuttanut, mutta sen sijaan kuparipitoisuudet lisääntyivät lämpötilan laskiessa. Heidän tutkimustensa perusteella myös kasvien raskasmetallien pidätyskyky ja biofilmin adsorptio voivat olla alttiita lämpötilan vaihteluille. Kuten myös aikaisemmin mainittu, niin toisaalta Hiesh ym. (2005) mukaan lyijyn, kuparin, nikkelin sekä sinkin adsorptioon ja desorptioon vaikutti myös maaperän pH.

Suurin osa raskasmetalleista pidättyy puuhakkeeseen tai kasvualustan yläosaan (5–10 cm pinnasta) ja raskasmetallipitoisuudet näyttävät pienentyvän, mitä kauempana huleveden tulolähde on (Muthanna, 2007; Paus ym., 2013). Kasvillisuudella ei näytä olevan suurta vaikutusta raskasmetallien (alumiini, kromi, kupari, lyijy ja sinkki) pidätykseen ja pidätyminen oli hyvin pientä (1–12 %) (Muthanna, 2007; Read ym., 2007). Raskasmetallien reduktion kannalta kasvillisuutta tärkeämpää on rakennekerrosten materiaalit ja erityisesti niiden raekoko, sillä raskasmetalleilla on vahva yhdistymiskyky hienon hiekan kanssa. Kirjallisuuden mukaan raskasmetallit kiinnittyvät partikkeleihin, joiden raekoko on alle 10 µm. Sinkki ja kupari kiinnittyvät jopa vielä pienempään raekokoon (5 µm), jolloin ne ovat myös muuttumassa liukoiseen muotoon. (Muthanna, 2007)

### 2.4.5 Biosuodatuksen rakentaminen ja kunnossapito

Paus ym. (2013) toteavat, että vaikka biosuoduksesta on tullut yksi suosituimmasta tavasta käsitellä hulevesiä, niin vain muutamia tutkimuksia ja raportteja on laadittu niiden pitkäaikaisesta toimivuudesta. Brown ja William (2012) painottavat, että biosuodatusalueet toimivat halutulla tavalla vain, jos niiden rakentamiseen ja rakentamisen valvontaan kiinnitetään huolellisuutta. Epäonnistunut rakentaminen voi aiheuttaa hyvinkin suunnitellun rakenteen toiminaan huonosti ennen aikaisesti, joista tyypillisimpinä esimerkkeinä ovat pintarakenteen kerrostuminen tai tukkeutuminen tai molemmat (Prince George's County. 2007)

Liitteessä B on esitetty Melbourne Water (2005) tekemä tarkastuslista, joka helpottaa rakentamisen aikaista valvontaa sekä toimii tarkastuslistana myös loppukatselmuksessa (Komulainen, 2012). Tarkastuslistassa kiinnitetään huomiota rakentamisen aikaisiin alustaviin töihin (mm. liikenteen ohjaukseen ja alueen suojaamiseen nykyiseltä virtaamalta), maanrakennustöihin (mm. painanteen pohjan oikeaan korkeuteen ja maankerrosten tiivistämiseen), rakennusosiin (mm. kaivannon tuentaan ja reunakivien asentamiseen) sekä kasvillisuuteen (mm. istuttamistiheyteen ja lopulliseen tiivistämiseen). Rakentamisen aikaisten töiden lisäksi tarkastuslistassa on vielä loppukatselmuksen muistilistassa, jossa korostetaan mm. luiskien kaltevuuksien tarkastamista ja rakentamisesta aiheutuneen sedimentin poistoa.

Melbourne Water (2005) esittämä tarkastuslista on suunniteltu ensisijaisesti Etelä-Australian ilmasto-oloihin, jolloin tarkastuslista ei ota kantaa kylmissä ilmasto-oloissa rakentamiseen. Kylmät ilmasto-olot aiheuttavat omat haasteensa biosuodatuksen suunnittelulle ja rakentamiselle. Materiaalienvälinnässä on kiinnitettävä huomiota maaperän routivuuteen talvisin sekä samoin rakennustöissä maaperän oikeaoppisesta tiivistämisestä on pidettävä huolta. Etenkin eteläisessä Suomessa osa talvikauden lumesta tulee saateena ja lämpötilat saattaa vaihdella pakkasrajan molemmin puolin, jolloin biosuodatusrakenne saattaa jäätyä ja sulaa useasti lyhyenkina ajan sisällä.

Biosuodatusalueiden kunnossapito niin kasvillisuuden kuin rakennekerrosten osalta on todella tärkeää. Davisin ym. (2009) mukaan suurin osa biosuodatusalueen kunnossapidossa on luonteeltaan esteettistä, kuten roskien keräämistä, nurmen niittoa, mullan tai katteen lisäämistä, pensaiden karsimista. Esteettisen toiminnan ylläpitämistä tärkeämpää on hydraulisen toimivuuden takaaminen kunnossapidolla, kuten poistamalla roskia tulo- ja ylivuotokaivojen päältä. Päälyskerroksen vaihtaminen (noin 2,5–5 cm) on tehtävä tarvittaessa joka toinen vuosi, jolla varmistetaan hydraulinen johtavuus rakenteessa (Hatt ym., 2008). Jos hulevesi viipyy rakenteen päällä yli 6 tuntia, niin pintarakenteen voidaan olettaa olevan tukossa (Prince George's County, 2007)

Kunnossapidon näkökulmasta homogeeninen rakenneratkaisu on kustannustehokkaampi kuin monikerroksinen rakenneratkaisu (Hsieh ym., 2005) Muthanna ym. (2007) arvioivat, että rakennekerrokset tulisi vaihtaa 10–20 vuoden välein, jotta huleveden vapaa liikkuminen rakennekerrosten läpi voidaan taata ja varmistaa, että haitta-aineet joutuvat kosketuksiin kaikkien puhdistavien mekanismien kanssa, kuten hiekkasuodatus, sorptio ja biologinen prosessi (Brown & William, 2012). Muthanna ym. (2007) mukaan puuhake tulisi vaihtaa 4–5 vuoden välein, koska muuten se alkaa vähitellen maata. Samalla kun puuhake vaihdetaan, niin rakenteen pinnasta poistetaan puuhakkeeseen sitoutuneita raskasmetalleja. Taulukossa 9 on esitetty erilaisia biosuodatusalueiden kunnostamistoimenpiteitä vuodenaikojen mukaan. (Prince Georgy's County, 2007)

Taulukko 9. Biosuodatusalueen kunnostustoimenpiteet eri vuodenaikojen mukaan (muokattu Prince Georgy's County, 2007)

	Kevät	Kesä	Syksy	Talvi
Leikkuu, harvennus	vaadittu		vaadittu	
Niitto	usein vaadittu	vaadittu	usein vaadittu	
Kitkentä	vaadittu tarvittaessa	vaadittu	vaadittu	
Kastelu	vaadittu tarvittaessa	vaadittu	vaadittu	
Tuholaisten torjunta		vaadittu	vaadittu	
Kasvien uusiminen	vaadittu	vaadittu	vaadittu	
Vesipeittohoito	vaadittu	vaadittu	vaadittu	
Roskien keräys		vaadittu	vaadittu	vaadittu
Multaus	vaadittu		vaadittu	
Lumen poisto				vaadittu
Jäänpoisto				vaadittu

vaadittu  
 usein vaadittu  
 vaadittu tarvittaessa

Liitteessä C on vastaavasti esitetty Melbourne Water (2005) kunnossapidon tarkastuslista (Komulainen, 2012), jonka avulla on helpompi tehdä esimerkiksi kausitarkastelua biosuodatusalueelle. Kuten jo aikaisemmin todettu, niin biosuodatuksen toiminta perustuu kasvillisuuden kykyyn pidättää ravinteita ja raskasmetalleja sekä maaperässä tapahtuviin kemiallisiin ja fysikaalisiin prosesseihin. On siis tärkeää ylläpitää oikealla kunnossapidolla optimiolosuhteita niin kasveille kuin mikrobeille. Brown ja William (2012) toteavat, että usein hyvin toteutettujen biosuodatusalueiden kunnossapito on puutteellista, jolloin biosuodatuksen suodatuskyky heikkenee ja se alkaa muistuttaa läpäisemätöntä pintaa.

## 2.5 Motivaatio tutkimukseen

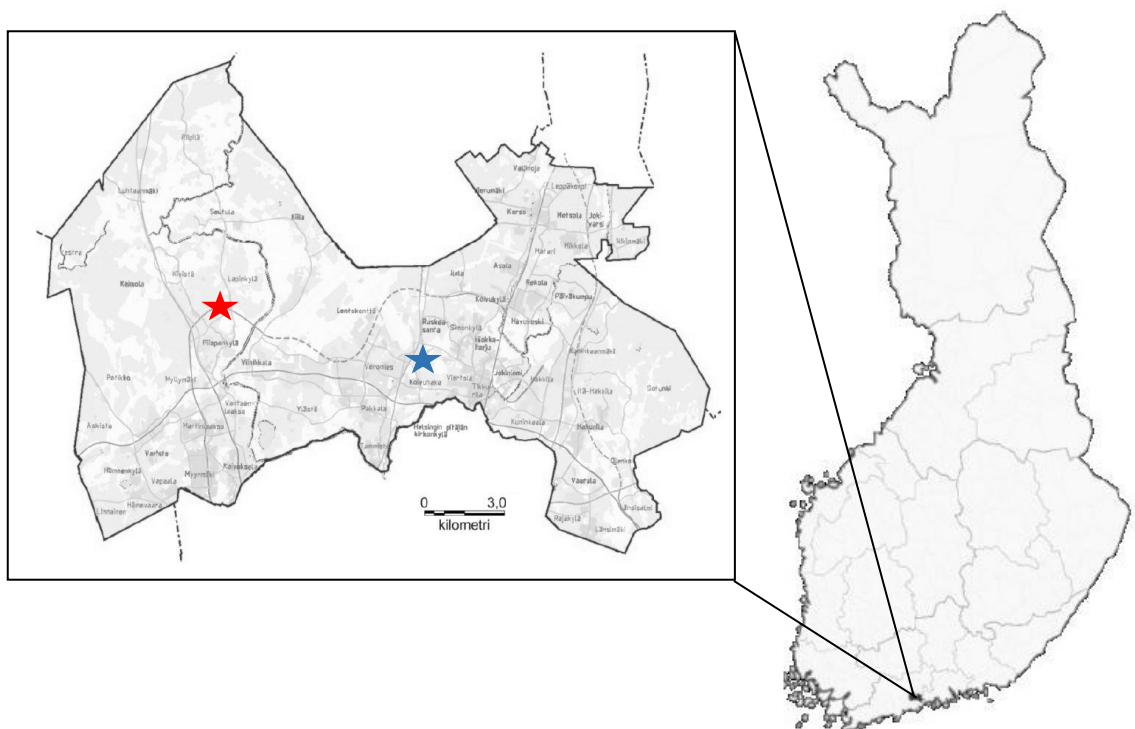
Hulevesien hallinta on käymässä läpi suuria muutoksia kansallisella ja kansainvälisellä tasolla. Huleveden määrän hallinnan lisäksi huomio kääntynyt myös laadun hallintaan, jolloin hallinnasta tulee entistä poikkitieteellisempää. Suomessa hulevesien hallinta on sai virallisen käänteen kesällä 2014, jolloin huleveden käsittelystä määrättiin uudistettussa vesihuoltolaissa (119/2001) ja maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999). Laki velvoittaa kiinteistön omistajia huolehtimaan hulevesien hallinnasta kiinteistöllään. Kunnilla on vastuu yleisten alueiden hulevesien hallinnasta asemakaavoitetulla alueella. Lainsäädännössä on lähtökohtana hulevesien luonnonmukainen hallinta ja Vantaan kaupunki on viime vuosien aikana rakentanut useita luonnonmukaisia huleveden käsittelykohteita. Rakennetuista huleveden käsittelykohteista ei silti ole tehty varsinaista seurantaa. Tämän työn avulla dokumentoitiin valittujen tarkkailukohteiden onnistumisia ja haasteita, jotta niitä voidaan hyödyntää tulevilla kohteilla.

Kaupungistumisen myötä läpäiseviä pintoja muutetaan enenevässä määrin läpäisemättömiksi, mikä lisää pintavalunnan määrää. Tässä työssä keskitytään erityisesti katualu-

eelta tuleviin hulevesiin, joiden erityispiirteinä ovat kiintoaine, raskasmetallit mutta myös ravinteet ilmansaasteiden takia. Käsittelemättöminä vesistöön johdettavat hulevedet haittaavat niin kasvistoa kuin eliöstöä ja saattavat aiheuttaa vakavia muutoksia vesistöjen ekologiassa. Vantaalla on käynnissä vuonna 2015 Purojen teemavuosi, jossa edistetään purojen tunnettavuutta ja kiinnitetään erityistä huomiota kaupungin puroluontoon. Erityistä Vantaan puroissa on, että niihin nousee taimen kudulle mereltä, joten Vantaalla halutaan vaalia tätä harvinaisuutta ja suojella puroja puhdistamattomilta hulevesiltä.

Luonnonmukaisia huleveden käsittelytapoja on useita, ja Vantaalla myös on rakennettu viivytys- ja laskeutusaltaita hallitsemaan ensisijaisesti huleveden laatua. Tässä työssä haluttiin keskittyä biosuodatuksen, jonka avulla vaikutetaan myös huleveden laatuun. Biosuodatusta on tutkittu kansainvälisesti kohtalaisen hyvin ja sen perusteella on saatu hyviä tutkimustuloksia. Tämän työn avulla haluttiin lisäksi selvittää, kuinka vastavalmistuneet biosuodatusalueet toimivat. Toisaalta haluttiin selvittää, millaisia jatkotutkimuksia Vantaalla kaivataan, jotta biosuodatusalueiden toiminnasta saadaan mahdollisimman kokonaisvaltainen kuva.

Tutkimuskohteiksi valittiin kaksi biosuodatusaluekohdetta, jotka sijaitsevat eri puolilla Vantaata. Tikkurilantien biosuodatusalueet sijaitsevat Länsi-Vantaalla (punainen tähti) ja Meiramitien biosuodatusalueet sijaitsevat Keski-Vantaalla (sininen tähti) kuvan 7 mukaan.



Kuva 7. Tarkkailukohteiden sijainti Vantaalla. Tikkurilantien (Länsi-Vantaa) biosuodatusalueet on osoitettu punaisella tähdellä ja Meiramitien (Keski-Vantaa) biosuodatusalueet on osoitettu sinisellä tähdellä (Vantaan kaupunki, 2014).



### 3 TARKKAILUKOHTTEIDEN KUVAUS

#### 3.1 Tikkurilantien biosuodatusalueet

Tikkurilantien hulevesien biosuodatusalueet sijaitsevat Länsi-Vantaalla (kuva 7), Piispankylässä. Biosuodatusalueet on rakennettu Tikkurilantien uudelle katuosuudelle (Kartariinantie-Riipiläntie), joka valmistui syksyllä 2013 (kuva 8). Tikkurilantie on Kehä III:n rinnakkaistie, ja sen on tarkoitus purkaa Kehä III:n ajoittaisia ruuhkia, etenkin raskaan liikenteen osalta (Hamari, 2013).



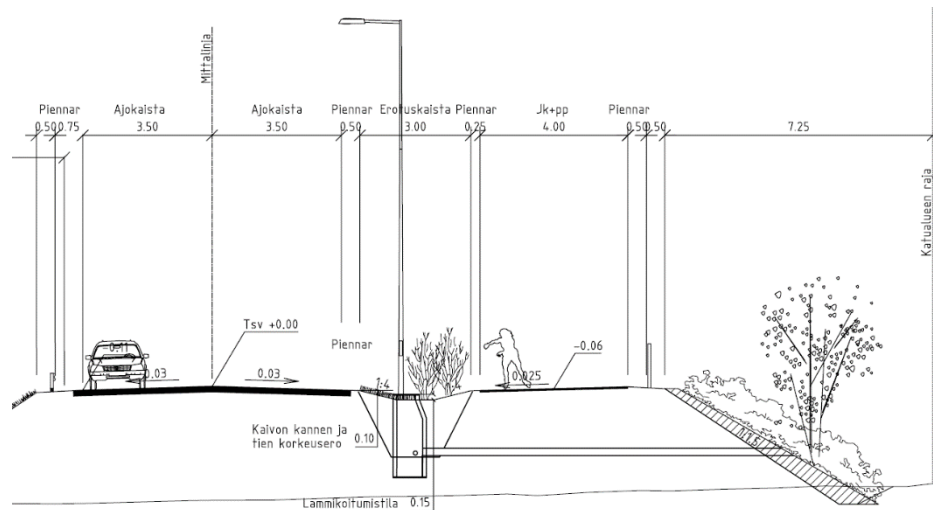
Kuva 8. Karttakuva Tikkurilantiestä, jossa biosuodatusalueet ovat osoitettu sinisellä laatikolla (Google Maps, 2015)

Vantaan kaupungin kuntatekniikan keskuksen liikennesuunnittelu tekee liikennelaskentaan Vantaan eri tie- ja katualueille. Tikkurilantien liikennemäärä laskettiin 23.9.2014 (tiistai), jolloin keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) oli 5949 ajoneuvoa ja siitä raskaan liikenteen osuus 17 % eli 1011 ajoneuvoa. Vuoden 2030 aamuhuipputuntin (ATH) liikennemääräennuste itään on 1170 ajoneuvoa eli KVL 11700 ajoneuvoa ja AHT länteen 550 eli KVL 5500 ajoneuvoa. Iltahuipputunti (IHT) itään on 710 ajoneuvoa eli KVL 7100 ajoneuvoa ja länteen IHT 1120 ajoneuvoa eli KVL 11200 ajoneuvoa. Ennusteiden mukaan liikennemäärät tulevat kasvamaan Tikkurilantiellä, joten samalla myös liikenteen tuottamat haitta-aineet lisääntyvät. Lisääntyvästä liikennemäärästä huolimatta Tikkurilantien liikennemäärät ovat alhaisia taulukon 3 mukaan.

Tikkurilantien pintakerroksen alapuolella maaperässä on savikerros, jonka paksuus on 4,0–4,9 metriä ja savikerros paksunee itään päin edettäessä. Savikerroksesta on kuiva-kuorikerrosta noin 1,0–2,0 metriä ja savikerroksen alapuolella on 1,0–3,0 metrin hiek-

ka- tai silttikerrostuma. Alimmaisena maakerroksena on 1,0–6,0 metrin moreenikerros. Maaperätutkimukset on tehty kehäradan suunnittelun yhteydessä. (Pöyry Finland Oy, 2012)

Tikkurilantien biosuodatusalueet ovat kadunsuuntaisia pitkiä painanteita, jotka on rakennettu ajoradan ja kevyenliikenteenväylän väliin kuvan 9 mukaan. Biosuodatusalueiden leveys on noin kolme metriä ja syvyys noin metrin, ja biosuodatusalueita ympäröi suodatinkangas (N2).



Kuva 9. Tikkurilantien katualueen poikkileikkaus, jossa esitetty myös biosuodatusalueen poikkileikkaus ja mitoitus (WSP Finland Oy, 2012)

Biosuodatusalueiden valuma-alue on hyvin pieni, vain noin 7706 m<sup>2</sup> eli 0,7706 ha. Valuma-alue muodostuu Tikkurilantien eteläpuoleisesta kallistuksesta, biosuodatusalueista ja kevyenliikenteenväylästä sekä näiden väliin jäävistä pientareista. Biosuodatusalueiden hulevedet laskevat Vantaanjokeen. Vantaanjoen valuma-alue ulottuu neljäntoista kunnan alueelle ja valuma-alueen pinta-ala on 1680 km<sup>2</sup>. Vantaanjoki on vesistöalueen pääuoma ja sen pituus on 99,1 km. (VHVSY, 2014)

Biosuodatusalue on jaettu seitsemään eri tarkkailukohteeseen (BS1–BS7) taulukon 10 mukaisesti, jossa jokainen biosuodatusalue on hieman erilainen. Tarkkailualueen yhteispituus on noin 700 m, josta jokainen tarkkailualue noin 100 m. Biosuodatusalueiden eroavaisuuksina ovat kasvillisuus (nurmi, monimuotoinen tai puutarhamainen kasvillisuus, pensaat), puuhake ja kasvialusta. Rakennekerrokset ovat samanlaiset BS1–BS5:ssä, mutta BS6:ssa ja BS7:ssä on kokeiltu hieman erilaista rakennekerrosratkaisua. BS6:ssa ja BS7:ssä suodatinkankaan lisäksi on käytetty siirtymäkerrosta. BS6:ssa kasvialusta on jätetty kokonaan pois ja se on korvattu paksummalla suodatinkerroksella. Tarkkailualueelle ei myöskään käytetty kasvillisuutta. Lisäksi biosuodatusalueiden tarkkailussa on hyvä huomioida, että monimuotoinen ja puutarhamainen kasvillisuus on vain kevyenliikenteenväylän painanteen puolella, kun taas nurmi ja apila on istutettu koko biosuodatuspainanteen leveydelle. Kasvillisuus istutettiin toispuoliseksi, jotta voitiin taata turvallinen näkyvyys katualueella ja helpottaa aurausta.

Taulukko 10. Biosuodatusalueiden (BS1–BS7) tarkempi kuvaus

Alueen kuvaus	Rakenne	sijainti (pl.)	Tarkoitus
<b>BS 1 – kasvualusta</b> - kasvualusta - hiekka # 0-2 mm - suodatinkangas N2 - salaojakerros # 8-16 mm	150 mm 850 mm 250 mm	525–640	<i>Kasvialustan sisältämien mikrobien vaikutus ilman kasvillisuutta</i>
<b>BS 2 – monimuotoinen kasvillisuus</b> - puuhake - kasvualusta - hiekka # 0-2 mm - suodatinkangas N2 - salaojakerros # 8-16 mm	150/400 mm 850/600 mm 250 mm	640–690	<i>Monimuotoisen kasvillisuuden ja puuhakkeen vaikutus</i>
<b>BS 3 – nurmi</b> - kasvualusta - hiekka # 0-2 mm - suodatinkangas N2 - salaojakerros # 8-16 mm	150 mm 850 mm 250 mm	690–775	<i>Yksipuolisen kasvillisuuden vaikutus</i>
<b>BS 4 – puutarhamainen kasvillisuus</b> - puuhake - kasvualusta - hiekka # 0-2 mm - suodatinkangas N2 - salaojakerros # 8-16 mm	30 mm 400 mm 600 mm 250 mm	775–840	<i>Monimuotoisen, puutarhamaisen kasvillisuuden ja puuhakkeen vaikutus</i>
<b>BS 5 – niittymäinen nurmi ja apila</b> - kasvualusta - hiekka # 0-2 mm - suodatinkangas N2 - salaojakerros # 8-16 mm	400 mm 600 mm 250 mm	840–920	<i>Yksipuolisen kasvillisuuden vaikutus</i>
<b>BS0 – ei koalue</b>		920–1000	
<b>BS 6 – hiekka</b> - hiekka # 0-2 mm - siirtymäkerros # 2-8 mm - suodatinkangas N2 - salaojakerros # 8-16 mm	1000 mm 250 mm 250 mm	1000–1080	<i>Hiekkasuodatuksen ja suodatinkankaan vaikutus ilman kasvillisuutta</i>
<b>BSS 7 – monimuotoinen kasvillisuus</b> - puuhake - kasvualusta - hiekka # 0-2 mm - siirtymäkerros # 2-8 mm - suodatinkangas N2 - salaojakerros # 8-16 mm	30 mm 150/400 mm 850/600 mm 250 mm 250 mm	1080–1210	<i>Monimuotoisen kasvillisuuden, puuhakkeen ja suodatinkankaan vaikutus</i>

Osa biosuodatusalueiden (BS1–BS7) yksittäisistä mittauspisteistä kerää hulevettä kumulatiivisesti useammista biosuodatusalueista (liitteet D). Mittauspiste BS1 kerää biosuodattuneen huleveden pelkästään BS1:stä, mittauspiste BS2 kerää biosuodattuneen huleveden BS1–BS2:sta, mittauspiste BS3 kerää biosuodattuneen huleveden BS3–BS5:stä (sekä pl. 920–1000, joka ei ole koaluetta), mittauspiste BS4 kerää biosuodattuneen huleveden BS4–BS5:stä (sekä pl. 920–1000, joka ei ole koaluetta), mittauspiste BS5 kerää biosuodattuneen huleveden pelkästään BS5:stä (sekä pl. 920–1000,

joka ei ole koealuetta), mittauspiste BS6 kerää biosuodattuneen huleveden pelkästään BS6:stä ja mittauspiste BS7 kerää biosuodattuneen huleveden BS6–BS7:stä.

Biosuodatusalueiden kasvillisuus valittiin soveltumaan Suomen ilmasto-oloihin mahdollisimman hyvin samoin kuin selviämään raskaasti liikennöidyn kadun varressa. Kasvillisuuden monimuotoisuutta on havainnollistettu kuvassa 10. Kuvat otettiin alkusyksystä 2014, jolloin biosuodatus oli ollut toiminnassa yhden kasvukauden. BS1:ssä ei kasvatettu kasvillisuutta vaan se on kasvanut kasvualustan päälle ajan kanssa. BS2:ssä kasvillisuudessa käytettiin lehtipensaita ja valitut kasvit olivat koivuangervo (*Spiraea betulifolia*), rinneangervo (*Spiraea betulifolia*), sekä pohjantuomipihlaja (*Amelanchier bartramiana*). BS3:ssä käytettiin pelkkää nurmea ja kasvualustaa. BS4:n kasvillisuudessa käytettiin perennoja ja valitut kasvit olivat niittyröpelö (*Briza media*), jättipoimulehti (*Amchemilla mollis*), siperian kurjenmiekka (*Iris sibirica*), Isopiippo (*Luzuka sylvatica*) ja rantakukka (*Lysimachia salicaria*). BS5:ssä käytettiin vain niittyseosta ja kasvualustaa. BS6:n tarkastelu perustui hiekkasuodatukseen, joten alueella ei käytetty kasvillisuutta tai kasvialustaa. BS7:ssä käytettiin myös lehtipensaita ja valittu kasvillisuus oli pohjantuomipihlaja (*Amelanchier bartramiana*), sinikuusama (*Loncera caeruleae*), sadunkuusama (*Loncera involucrata*), koivuangervo (*Spiraea betulifolia*).



Kuva 10. Tikkurilantien monipuolinen kasvillisuus (alkusyksy 2014)

### 3.2 Meiramitien biosuodatusalueet

Meiramitie sijaitsee Keski-Vantaalla lentokentän itäpuolella, Koivuhaassa (kuva 7). Meiramitie on vilkkaasti liikennöidyn teollisuusalueen kokoojakuu, jonka kunto oli heikentynyt ajan saatossa. Katualue oli painunut, hulevesi jäi seisomaan katualueelle ja katurakenteet vaativat peruskorjaamista. Kadunpohja stabiloitiin ja kunnallistekniikka uusittiin ja korjaustöiden yhteydessä katualueelle suunniteltiin viisi biosuodatusaluetta ja kaksi viheraluetta. Biosuodatusalueet sijaitsevat Niittytien ja Koivuhaantien välisellä alueella, mikä on osoitettu tarkemmin kuvassa 11. Rakennustyöt suoritettiin kesällä 2013 ja biosuodatusalueet valmistuivat lopullisesti syksyllä 2014. (Ramboll Finland, 2011)





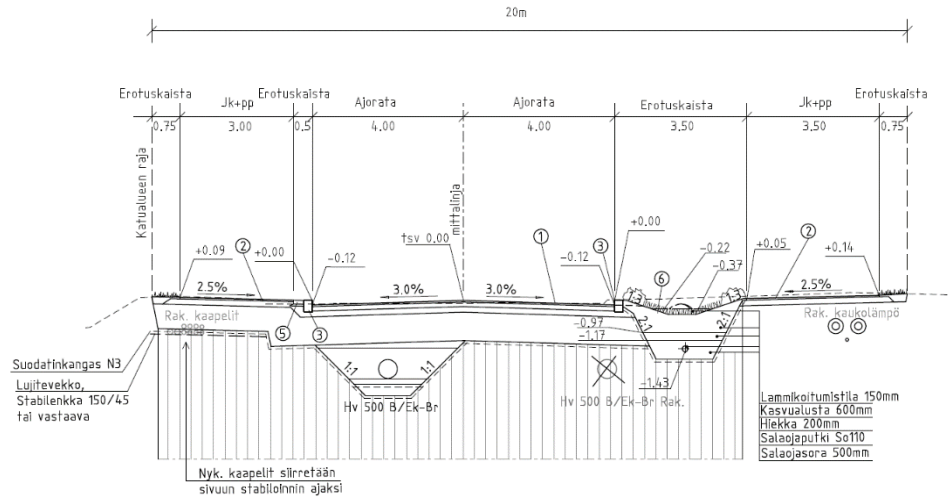
Kuva 11. Karttakuva Meiramitiestä, jossa biosuodatusalueet ovat osoitettu sinisellä laatikolla (Google Maps, 2014)

Toisin kuin Tikkurilantiestä, niin Meiramitiestä ei ole tehty tämänhetkistä liikennelas-kentaa. Vuoden 2030 aamuhuipputunnin (ATH) liikennemääräennuste koilliseen on 250 ajoneuvoa eli KVL 2500 ajoneuvoa ja AHT lounaaseen 500 eli KVL 500 ajoneuvoa. Iltahuipputunti (IHT) koilliseen on 330 ajoneuvoa eli KVL 3300 ajoneuvoa ja lounaaseen IHT 390 ajoneuvoa eli KVL 3900 ajoneuvoa. Ennusteiden mukaan liikennemäärät tulevat kasvamaan Meiramitiellä, joten samalla myös liikenteen tuottamat haitta-aineet lisääntyvät. Lisääntyvästä liikennemäärästä huolimatta Meiramitien liikennemäärät ovat alhaisia taulukon 3 mukaan.

Meiramitien alkupäässä paaluvälillä (pl.) 0–193 maaperä on lähinnä kitkamaata (liite E). Kerrosten paksuudet vaihtelevat, mutta pääasiassa kerrokset ovat tiiviitä. Keskivälissä pl. 193–400 maaperän peittää paksuhko savikko, josta on paikoitellen havaittavissa kaksi eri kerrosta. Ylempi kerros on löyhempää ja alempi kerros sitkeämpää savikkoa. Loppuosassa pl. 400–730 savikerros ohenee ja muuttuu osin silttiseksi ja sitkeämmiksi sekä paikoitellen paaluvälillä on vain kitkamaata. Maaperätiedot perustuvat katualueelta kesällä 2010 otettuihin maaperänäytteisiin ja tehtyihin pohjatutkimuksiin. (Ramboll Finland, 2011)

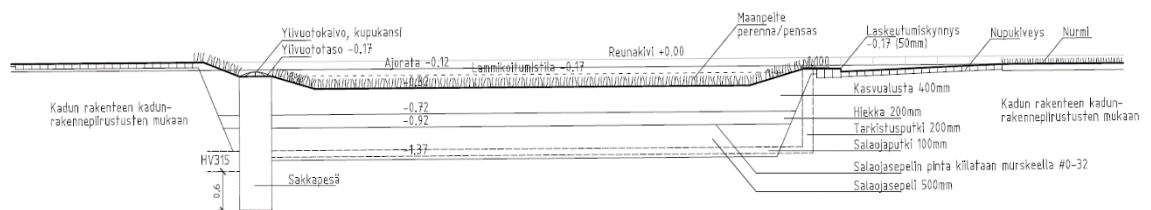
Biosuodatusalueita rakennettiin viisi ajoradan viereiselle erotuskaistalle ja näiden lisäksi kadun molemmille puolille hulevesiä viivyttävät viheralueet. Kadun kaltevuus viettää molemmille reunoille, joten suodatuspainanteisiin tulee vain puolet ajoradan hulevesistä. Kadun pohjoispuolella hulevesiä ohjataan maastonmuotoilulla hulevesiviemäriin ja eteläpuolella hulevedet ohjataan kadun tasauksilla vettä pidättäville kivetuspainanteille. Biosuodatusalueiden valuma-alue muodostuu ajoradan eteläpuoleisen kaistan (4,0 m), kevyen liikenteen väylän (3,5 m), pientareen (0,75 m) sekä varsinaisten biosuodatusten (3,5 m) hulevesistä (kuva 12). Lisäksi osa Niittytien hulevesistä ohjautuu Meiramitielle

käsiteltäväksi. Meiramitien hulevedet johdetaan Niittytien avo-ojan kautta Kirkonkylänojaan. (Ramboll Finland, 2011) Vesilain mukaan Kirkonkylänoja luokitellaan puroksi ja sen pituus on 5,1 km. Kirkonkylänoja laskee Keravanjokeen, joka laskee lopuksi Vantaanjokeen ja on Vantaanjoen pisin sivuhaara (FCG Planeko Oy, 2009).



Kuva 12. Meiramitien katualueen poikkileikkaus, jossa esitetty myös biosuodatusalueen poikkileikkaus ja mitoitus (Ramboll, 2011)

Biosuodatuksen rakenne on lähes sama kaikissa eri biosuodatusalueissa: kasvualue 400 mm, hiekka 200 mm, salaojasepelin pinta kiilataan murskeella, salaojasepeli 500 mm, salaojaputki ( $\varnothing$  100 mm) ja koko rakenne verhoiltu suodatinkankaalla. Kuvan 13 pituusleikkaus havainnollistaa biosuodatuksen toimintaperiaatetta. Hulevesi kerääntyy ensin kivetuspainanteelle, jonka laskeutumiskynnys on 50 mm. Kivetuspainanne kerää huleveden mukana kulkeutuvan kiintoaineksen ja roskat, josta ne on paljon helpompi kerätä kuin biosuodatusalueelta.



Kuva 13. Meiramitien biosuodatuksen pituusleikkaus (Ramboll, 2011)

Ajoradan ja painanteen välissä kokeiltiin kahta erilaista reunakivityyppiä. Toisessa tyyppissä reunakiveen tehtiin aukotuksia hulevesien johtamiseksi kadulta kivetyselle ja toisessa tyyppissä reunakivi painettiin kokonaan asfaltin tasoon eli ns. nollareunakivi. Biosuodatusalueille rakennettiin kupukannellisia hulevesikaivoja ylivuototilanteita varten. Hulevesirakenteet on mitoitettu 10 minuuttia kestäväälle sateelle, jonka rankkuus on 150 l/s. (Ramboll Finland, 2011)



Kuva 14. Meiramitien biosuodatusalueet sadetapahtumien yhteydessä syksyn 2014 aikana

Viiteen biosuodatusalueeseen valittiin myös erilainen kasvillisuus. Kahteen biosuodatusalueeseen valittiin rantavehnnää (*leymus arenarius*), kahteen lamoherukkaa (*ribes glandulosum*) sekä yhteen kirjopuntarpäätä (*alopecurus pratensis*) ja pikkupihlaja-angervoa (*sorbaria sorbifolia*). Valitut kasvilajit ovat helppohoitoisia, sietävät aurin-gonpaahdetta sekä kestävät tiesuolaa ja ajoittain seisovaa vettä. Meiramitielle valitut puulajit olivat tervaleppä (*alnus glutinosa*), joka viihtyy kosteissa oloissa ja lisää maaperän typpipitoisuutta sekä rauduskoivu (*betula pendula*) ja suomenpihlaja (*sorbus hybrida*), jotka ovat vaatimattomia kasvupaikan suhteen, mutta suosivat valoisaa kasvupaikkaa.

### 3.3 Tarkkailukohteiden kunnossapito

Tikkurilantien urakka toteutettiin suunnittele ja toteuta (ST) –urakkana, jossa urakoitsijalle kuuluu kahden vuoden hoitotakuu. Samoin Meiramitiellä urakoitsijalla on kahden vuoden hoitotakuu. Tikkurilantie luovutettiin Vantaan kaupungille syksyllä 2013, jolloin kaupungin kunnossapitovastuu alkaa syksyllä 2015. Meiramitie luovutettiin kaupungille lopullisesti syksyllä 2014, jolloin kaupungin kunnossapitovastuu siirtyi syksyille 2016.

Taulukossa 11 on esitetty Meiramitien urakan mukainen kunnossapitosopimus, jossa on esitetty perennojen, pensaiden, puiden sekä rakenteiden ja kuivatusjärjestelmien vuosittaiset sekä määrävuosin määrätyt toimenpiteet ja niiden laatuvaatimukset. Tikkurilantielle kunnossapitosopimus pitää sisällään samankaltaiset toimenpiteet.

Taulukko 11. Tikkurilantien ja Meiramitien vuosittain ja määrävuosin tehtävät hoitotoimenpiteet sekä niiden laatuvaatimukset (Ramboll, 2011)

Toimenpiteet	Laatuvaatimukset
<b>PERENNAT</b>	
<b>Vuosittaisten hoitotöiden laatuvaatimukset</b>	
- Kevätkunnostus	- kevätkunnostus tehdään 30.4 mennessä
- Paikkaus	- kevätkunnostuksen yhteydessä alueilta poistetaan liettynyt maa-aines
- Rikkakasvien torjunta	- istutukset paikataan vuosittain kevätkunnostuksen yhteydessä
	- rikkakasvit on takuuajana torjuttu 2 viikon välein
	- rikkakasvin torjunnasta ei ole jäänyt havaittavaa kasvijätettä
- Rajausta	- heinäkasvuston leviäminen pensasalueille on estettävä vuosittain
<b>Määrävuosin tehtävät hoitotoimenpiteet</b>	
- Tasauksen tarkastus	- tarkistetaan, että biosuodatusalueiden tasaukset ovat suunnitelmien mukaiset
<b>PENSAAT</b>	
<b>Vuosittaisten hoitotöiden laatuvaatimukset</b>	
- Kevätkunnostus	- kevätkunnostus tehdään 30.4 mennessä
	- kevätkunnostuksen yhteydessä alueilta poistetaan liettynyt maa-aines
- Rikkakasvitorjunta	- rikkakasvitorjunta tehdään takuuajana säännöllisin välein kerran kuukaudessa
<b>PUUT</b>	
<b>Vuosittaisten hoitotöiden laatuvaatimukset</b>	
- Hoito- ja muotoleikkaukset	- puiden hoitoleikkaukset tehdään vuosittain lajikohtaisesti oikeaan aikaan
- Runko- ja juurivesojen poisto	- runko- ja juurivesat poistettu 30.4 mennessä
- Kastelu	- takuuajana puita kastellaan kasvukauden (15.4.–15.9.) aikana, jotta taataan kasvuun lähtö ja kasvu. Vettä annetaan kerralla kastelupusseissa 75 litraa/puu/viikko.
	- lähin kastelupesipiste on LP-1 alueella
- Puiden suojaus jyrksijöitä vastaan	- puiden suojaukset pidetään jatkuvasti kunnossa
<b>RAKENTEET JA KUIVATUSJÄRJESTELMÄT</b>	
<b>Vuosittaisten hoitotöiden laatuvaatimukset</b>	
- Kunnan ja toimivuuden tarkastus	- biosuodatusalueiden kiveyksien tasauksien muutokset tarkistetaan ja korjataan vuosittain
- Kuivatusjärjestelmien huolto	- viherkaistoilla sijaitsevien kiveyksien ja aukotettujen reunakivien kunto ja puhtaus tarkistetaan kuukausittain
	- veden johtuminen biosuodatusalueille tarkastetaan vuosittain kevätkunnostuksen yhteydessä
	- kevätkunnostuksen yhteydessä tarkistetaan biosuodatusalueiden salaajien toimivuus

### 3.4 Tarkkailukohteiden etukäteen tunnistetut onnistumiset ja ongelmat

Ennen tämän työn aloittamista Vantaan kuntatekniikan keskuksen henkilöstön oli osittain tiedossa Tikkurilantien ja Meiramitien tarkkailukohteiden onnistumisia, mutta myös haasteita. Vaikka varsinaista seuranta ei ollut tehty, niin satunnaisilla kenttäkäynneillä vuosina 2013 ja 2014 oli kerätty alustavaa tietoa etenkin tarkkailukohteiden määrällisestä toimivuudesta.

Tikkurilantien biosuodatusalueista tiedettiin, että hulevesi pääsee kulkeutumaan hyvin biosuodatusalueille. Kadulla ei ole reunakiviä, joten hulevesi pääsee valumaan painanteisiin koko kadun ja kevyenliikenteenväylän matkalta, mutta vain toispuolisesti kadun kallistusten takia. Lisäksi kadulla ei ole hulevesiviemärintiä vaan kaikki hulevesi käsi-



tellään biosuodatusalueella. Tikkurilantien biosuodatusalueiden laadullisesta toimivuudesta ei ollut silti tietoa, sillä MetropoliLab Oy oli ainoastaan kerännyt näytteitä syksyn 2013 ja kevään 2014 aikana, mutta tuloksia ei ollut vielä analysoitu.

Meiramitien biosuodatusalueista puolestaan tiedettiin etukäteen, että biosuodatusalueiden rakentamisessa oli ollut ongelmia erityisesti korkojen kanssa, jolloin myös kohteen lopullinen luovutus viivästyi. Lisäksi kenttäkäyntien perusteella havaittiin, että osa hulevedestä valuu ajoradan reunakiveä pitkin hulevesikaivoihin eikä päädy biosuodatusrakteeseen. Tässä työssä haluttiin keskittyä mahdollisimman tarkasti biosuodatusalueiden toimivuuteen ja dokumentoida se etenkin kunnossapidon näkökulmasta. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n (VHVSY) Hulevesiprojektiin kerätään hulevesinäytteitä myös Meiramitien biosuodatusalueista, joten loppuvuodesta 2015 saadaan tietoa myös Meiramitien laadullisesta toimivuudesta.

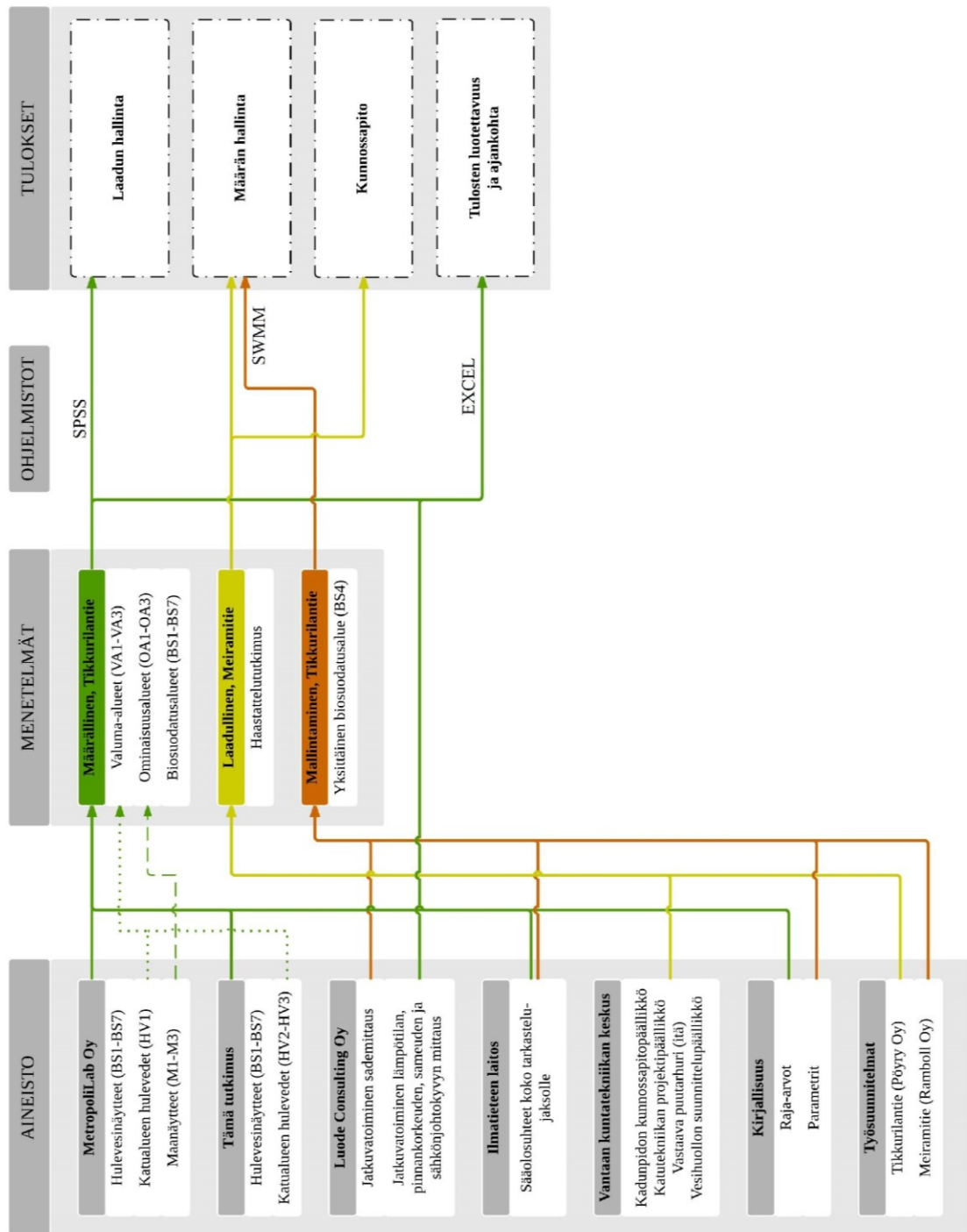
## 4 AINEISTO JA TUTKIMUSMETODOLOGIA

### 4.1 Valitut tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelminä käytettiin määrällistä ja laadullista tutkimusta. Määrällistä tutkimusta sovellettiin Tikkurilantien biosuodatusalueiden hulevesinäytteiden keskinäisessä vertailussa ja ajallisen muutoksen tutkimisessa. Alasuutarin (2011) mukaan määrällisessä analyysissä argumentoidaan keskimääräisillä yhteyksillä, minkä lähtökohtana on tutkimusyksiköiden välisten erojen etsiminen eri muuttujien suhteen. Määrällistä tutkimusta voidaan kutsua myös tilastolliseksi tutkimukseksi, jossa tutkimusaineistoa kuvataan numeeristen suureiden avulla ja tuloksia voidaan havainnollistaa kuvaajilla tai taulukoilla. Saatuja tuloksia pyritään usein yleistämään laajempaan tilastolliseen joukkoon ja sen avulla selvittämään eri asioiden välisiä riippuvuuksia tai tutkittavassa tapahtuneita muutoksia. (Heikkilä, 2010).

Meiramitiellä käytettiin laadullista tutkimusta biosuodatusalueiden toimivuuden ja kunnossapitokokemusten selvittämisessä. Laadullisen tutkimuksen pelkistetty määritelmä täytyy, kun aineisto on ilmiänsuhtaan tekstiä (Eskola & Suoranta, 1998). Siinä ei ole pyritty tilastollisiin yleistyksiin vaan pyritään ymmärtämään ja kuvaamaan yleinen toimintatapa (Tuomi & Sarajärvi, 2009). Alasuutari (2011) painottaa, että laadullinen tutkimus poikkeaa tilastollisesta tutkimuksesta siten, että se vaatii absoluuttisuutta: kaikki luotettavat seikat tulee kyetä selvittämään siten, että ne eivät ole ristiriidassa esitetyn tulkin kanssa.

Työssä yhdistettiin MetropoliLab Oy:n syksyllä 2013 ja kesällä 2014 keräämiä maa- ja hulevesinäytteitä, Luode Consulting Oy:n jatkuvatoimista mittausaineistoa syksyltä 2014 sekä tämän työn yhteydessä kerättyä aineistoa syksyltä 2014. Kuvassa 15 on havainnollistettu työn tutkimusmetodologia lohkokaaavion muodossa, josta selviää työssä käytetyt menetelmät ja ohjelmistot sekä miten aineisto hyödynnettiin.



Kuva 15. Tutkimusmetodologian lohkokaavio

## 4.2 Tikkurilantien biosuodatusalueiden aineisto ja määrällinen tutkimus

### 4.2.1 Näytteenottopäivät ja laborioriotutkimukset

Tikkurilantien biosuodatusalueista (BS1–BS7) kerättiin hulevesinäytteitä taulukon 12 mukaisesti niin satunnais- kuin intensiivimittauksina. MetropoliLab Oy kävi keräämässä viisi hulevesinäytettä syksyn 2013 ja kesän 2014 sadetapahtumien yhteydessä. Hulevesinäytteiden lisäksi Luoden Consulting Oy teki noin kahden kuukauden intensiivimittauksen kahdesta biosuodatusalueen kaivosta ja mittasi sadantaan jatkuvatoimisesti syksyn 2014 aikana. Tämän tutkimuksen yhteydessä kerättiin viisi hulevesinäytettä neljän sadetapahtuman yhteydessä syksyllä 2014 (lisäksi 25.9.2014 otettiin kaksoisnäyte) ja näytteet analysoitiin Aalto-yliopiston vesilaboratoriossa.

Taulukko 12. Tikkurilantien hulevesinäytteiden kerääjät ja keräämisajankohta

Päivämäärä	MetropoliLab Oy	Luode Consulting Oy	Tämän työn yhteydessä
18.10.2014	X		
29.10.2013	X		
5.5.2014	X		
12.5.2014	X		
12.6.2014	X		
2.9.2014			
22.9.2014			X
25.9.2014			X (kaksoisnäyte)
8.10.2014			X
20.10.2014			X
3.11.2014			

Taulukossa 13 on esitetty tutkimuksessa käytetyt muuttujat, muuttujien lyhenteet ja yksiköt. Muuttujat jaettiin neljään eri ryhmään niiden ominaisuuksien perusteella: (1) perusmuuttujia ovat kiintoaine (*TSS*), pH, sameus ja sähkönjohtokyky; (2) ravinteita ovat kokonaistypppi (*kok.N*), ammoniumtppi (*NH<sub>4</sub>-N*), nitraattityppi (*NO<sub>3</sub>-N*), nitriittityppi (*NO<sub>2</sub>-N*), kokonaisfosfori (*kok.P*) ja fosfaattifosfori (*PO<sub>4</sub>-P*); (3) suoloja ovat kloridi (*Cl<sup>-</sup>*) ja natrium (*Na*) sekä (4) raskasmetalleja ovat kromi (*Cr*), kupari (*Cu*), lyijy (*Pb*), rauta (*Fe*) ja sinkki (*Zn*).

Taulukko 13. Tutkimuksessa käytetyt muuttujat, muuttujien lyhenteet ja yksiköt

Parametri	Lyhenne	Yksikkö
Kiintoaine	TSS	mg/l
pH	pH	
Sameus	Sameus	FNU
Sähkönjohtokyky	Sähkö.	mS/m
Kokonaistyyppi	kok.N	µg/l
Ammoniumtyppi	NH <sub>4</sub> -N	µg/l
Nitraattityppi	NO <sub>3</sub> -N	µg/l
Nitriittityppi	NO <sub>2</sub> -N	µg/l
Kokonaisfosfori	kok.P	µg/l
Fosfaattifosfori	PO <sub>4</sub> -P	µg/l
Kloridi	Cl <sup>-</sup>	mg/l
Natrium	Na	mg/l
Kromi	Cr	µg/l
Kupari	Cu	mg/l
Lyijy	Pb	µg/l
Rauta	Fe	mg/l
Sinkki	Zn	mg/l

Taulukossa 14 on esitetty Metropolilab Oy:n analyysimenetelmät, joilla analysoitiin maa- ja hulevesinäytteitä sekä Aalto-yliopistossa käytetyt hulevesinäytteiden analyysimenetelmät. Metropolilab Oy:n analysoimista näytteistä vain PO<sub>4</sub> oli 0,45 µm kalvo-suodattimella suodatettu näyte, kun taas Aalto-yliopiston vesilaboratorion analysoimista näytteistä NO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub> ja PO<sub>4</sub> suodatettiin 0,45 µm kalvosuodattamisella.

Taulukko 14. Metropolilab Oy:n ja Aalto-yliopiston käyttämät analyysimenetelmät

Analyyssi	Metropolilab Oy, Maanäyte	Metropolilab Oy, hulevesinäyte	Aalto-yliopisto, hulevesinäyte
Orgaaninen aines	SFS-EN 13039 *		
TSS		SFS-EN 872:2005	SFS-EN 872:2005
pH	SFS-EN 13037	SFS 3021:1979	SFS 3021:1979
Sameus		SFS-EN ISO 7027:2000	SFS-EN ISO 7027:2000
Sähkö.		SFS-EN 27888:1994	SFS-EN 27888:1994
kok.N	SFS-EN 13652 **	SFS-EN ISO 11905-1	SFS-EN ISO 11905-1
NH <sub>4</sub> -N	SFS-EN 13652 **	ISO 7150:1984	ISO 7150/1:1984
NO <sub>3</sub> -NO <sub>2</sub>			SFS-EN ISO 13395:1997
NO <sub>3</sub> -N	SFS-EN 13652 **	Sis. menetelmä, Aquakem	
NO <sub>2</sub> -N			SFS-EN ISO 13395:1997
kok.P	SFS-EN 13652 **	SFS-EN ISO mod. DA	SFS-EN ISO 15681-1:2005
PO <sub>4</sub> -P	SFS-EN ISO 6878:2004 **	SFS 3016:1986 [kumottu] mod. (suod. 0,45 µm)	SFS-EN ISO 15681-1:2005
Cl <sup>-</sup>		ISO 10304-1:2007	
Na	ISO 17294-2	ISO 17294-2	
Cr		ISO 17294-2	
Cu	ISO 17294-2	ISO 17294-2	
Pb	ISO 17294-2	ISO 17294-2	
Fe		ISO 17294-2	SFS 3028:1976
Zn	ISO 17294-2	ISO 17294-2	

\* näyte tutkittu akkreditoidulla menetelmällä

\*\* vesiliukoinen

#### 4.2.2 Vallitsevat sääolosuhteet

Ilmatieteen laitoksen avoimen aineiston kautta saatiin tietoa tarkkailujaksolla (18.10.2013–20.10.2014) vallinneista sääolosuhteista, joita hyödynnettiin niin hulevesinäytteiden pitoisuuksien tulkinnassa kuin biosuodatusalueiden mallintamisessa. Ilmatieteen laitoksen lähin mittausasema on Helsinki-Vantaan lentokentällä, joka on vain muutamien kilometrien päässä Tikkurilantien biosuodatusalueista.

Talvi 2013–2014 oli poikkeuksellisen vähäluminen verrattuna vuosien 1981–2010 lumen keskisyvyyskeskiarvoon. Kuvasta 16 havaitaan, että talven 2013–2014 lumipeitteen jakso oli hyvin lyhyt ja peitesyvyys jäi enimmäkseen alle keskivertosyvyuden. (Ilmatieteen laitos, 2014) Poikkeuksellinen lumitilanne vaikutti myös tämän tutkimuksen tekemiseen ja tuloksiin. MetropoliLab Oy:n oli tarkoitus käydä keräämässä Tikkurilantien kevättalven 2014 sulamisvesistä hulevesinäytteitä, mutta poikkeuksellisen lumitilanteen takia hulevesinäytteitä ei saatu kerättyä. Samoin Meiramitien biosuodatusalueiden talviaikaisen toimivuuden tarkastelussa oli haasteita, sillä tarkkailukohde oli ollut toiminnassa vain yhden poikkeuksellisen talven.



Kuva 16. Helsinki-Vantaan lentoaseman lumensyvyyskeskiarvo vuosina 1981–2010 sekä vertailuna talven 2013–2014 lumensyvyys (Ilmatieteen laitos, 2014)

Kuten edellä todettu, niin sadanta vaikuttaa huleveden haitta-ainepitoisuuksiin, mutta sadannan lisäksi edellisen kuivan kauden pituus sekä lämpötila vaikuttavat tuloksiin. Näytteenottopäivän lämpötila [°C], sadanta [mm] sekä kolmen edeltävän vuorokauden sadanta [mm] on esitetty taulukossa 15. Blecken ym. (2010 & 2011) tutkimuksissa todetaan, että lämpötilalla ei ole suurta vaikutusta eri kiintoaineen, kokonaisfosforin tai raskasmetallien käyttäytymisessä. Taulukon 15 perusteella näytteenottopäivien lämpötilan vaihtelu on vähäistä (2,7–13 °C), joten lämpötilan puolesta näytteet ovat melko vertailukelpoisia. Näytteenottopäivien sadanta (0,2–19,8 mm) vaihteli huomattavasti samoin kuin edeltävien päivien sadanta (0–25,8 mm).

Taulukko 15. Näytteenottopäivän lämpötila [°C], sadanta [mm] ja edeltävien päivien sadanta [mm] (Ilmatieteen laitos, 2014)

Päivämäärä	Lämpötila [°C]	Sadanta [mm]	Edeltävät päivät [mm]
18.10.2013	2,7	19,8	20,2
29.10.2013	9,4	7,5	25,8
5.5.2014	3,8	1,9	3,7
12.5.2014	9,4	0,9	16,1
12.6.2014	13,0	16,2	7,2
22.9.2014	9,0	12,5	0
25.9.2014	10,7	12,2	21,1
8.10.2014	8,1	4,1	0
20.10.2014	5,6	0,2	9,9

### 4.2.3 Katualueen hulevesinäytteet

Biosuodatusalueista poistuvan huleveden lisäksi haluttiin tietoa biosuodatusalueisiin tulevasta hulevedestä, jotta voidaan arvioida biosuodatusalueiden toimintaa. Tulevasta hulevedestä kerättiin näytteitä niin tämän työn aikana syksyllä 2014 kuin myös MetropoliLab Oy toimesta syksyllä 2013 ja kesällä 2014. Taulukossa 16 on esitetty biosuodatusalueisiin tulevan huleveden (HV1, HV2 ja HV3) pitoisuuksien mediaanit, minimi- ja maksimit. HV1 kuvaa katualueelta kerättyä hulevettä, HV2 ja HV3 edustavat biosuodatusalueen läheisyydessä olevien hulevesikaivoissa useita sadetapahtumia seisonutta hulevettä. HV2:n hulevesinäyte on kerätty ajoradan hulevesikaivosta ja HV3:n hulevesinäyte on kerätty linja-autopysäkin välittömästä läheisyydestä.

Taulukko 16. Katualueen hulevesinäytteiden mediaanit, minimi- ja maksimit. HV1 kuvaa ajoradalta kerättyä hulevettä, HV2 ja HV3 edustavat kadun hulevesikaivoista kerättyjä hulevesinäytteitä

	HV1			HV2			HV3			Yksikkö
	Med.	Min.	Max.	Med.	Min.	Max.	Med.	Min.	Max.	
TSS	7,0	4,0	17,0	20,4	12,6	28,3	57,5	13,9	110,3	mg/l
pH	9,0	7,8	10,3	7,6	7,5	7,7	7,7	7,6	7,7	
Sameus	13,0	5,2	170,0	31,6	24,7	38,5	101,0	4,0	117,0	FNU
Sähkö.	29,6	5,4	173,0	8,3	6,4	10,1	8,3	7,2	72,2	mS/m
kok.N	1750,0	490,0	2400,0	726,0	487,0	965,0	1680,0	1180,0	2230,0	µg/l
NH <sub>4</sub> -N	37,5	30,0	67,0							µg/l
NO <sub>3</sub> -N	1085,0	120,0	1500,0	416,9	266,0	567,8	365,1	247,0	531,4	µg/l
kok.P	34,0	22,0	100,0	58,8	49,3	68,3	84,1	40,8	127,8	µg/l
PO <sub>4</sub> -P	12,5	6,0	21,0	9,2	8,4	10,0	10,0	8,4	10,0	µg/l
Cl <sup>-</sup>	18,5	0,9	44,0							mg/l
Na	22,0	2,2	50,0							mg/l
Cr	4,9	1,3	13,0							µg/l
Cu	0,007	0,002	0,012							mg/l
Pb	0,7	0,2	4,4							µg/l
Fe	2,07	0,29	7,10	3,23	2,57	3,90	5,07	0,63	8,87	mg/l
Zn	0,01	0,01	0,06							mg/l

Suomessa on tutkittu hulevesien laatua viime vuosien aikana erityisesti eteläisessä Suomessa. Airolan ym. (2014) ja Vahteran (2014) tutkimuksista vertailukohteeksi valittiin asuinalueiden hulevesinäytteitä, Sankiahon ja Sillanpään (2012) tutkimuksista valittiin vertailukohteeksi väljään rakennetun taajaman hulevesinäytteitä. Kirjallisuuden arvoja verrattiin HV1:n hulevesinäytteiden haitta-ainepitoisuuksiin, jotta pystyttiin arvi-

oimaan, kuinka tyypillisiä Tikkurilantien huleveden laatu on. Tikkurilantien biosuodatusalueiden läheisyydessä on edelleen käynnissä rakennustyömaita, joilla saattaa olla vaikutusta huleveden laatuun, etenkin tyten vapautumiseen maaperässä.

#### 4.2.4 Biosuodatusalueiden maanäytteet

Tutkimuksessa haluttiin selvittää vastavalmistuneiden biosuodatusalueiden (BS1–BS7) toimintaa, johon olennaisena osana vaikuttaa myös biosuodatusrakenteissa käytetty rakennusmateriaali. Vastavalmistuneen rakenteen läpi suodattava hulevesi huuhtoo myös rakennekerrosten sisältämiä haitta-aineita ja ravinteita läpi ennen kuin biosuodatusalueen toiminta stabiloituu.

MetropoliLab Oy kävi keräämässä maanäytteitä biosuodatusalueesta heti rakentamisen jälkeen 18.10.2013. Maanäyte tehtiin kokoomanäytteenä eli maanäytteitä kerättiin kaikista biosuodatusalueista ja näytteet sekoitettiin yhteen. Perusmuuttujien, ravinteiden, suolojen ja raskasmetallien pitoisuudet on esitetty taulukossa 17. M1 kuvaa puuhaketta, M2 kuvaa kasvualustaa ja M3 kuvaa suodatinkerrosta.

*Taulukko 17. Maanäytteiden perusmuuttujien, ravinteiden ja raskasmetallien pitoisuudet, jossa M1 kuvaa puuhaketta, M2 kuvaa kasvualustaa ja M3 kuvaa suodatinkerrosta*

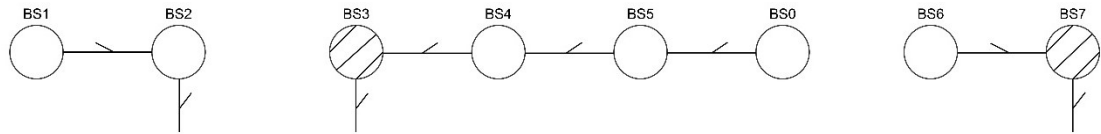
Analyyysi	M1	M2	M3	Yksikkö
Orgaaninen aines	94	11,1	0,3	% ka
pH	4,9	6,7	7,1	mg/l
kok.N, liukoinen	13	73	5	mg/l
NH <sub>4</sub> -N	< 0,1	1	0	mg/l
NO <sub>3</sub> -N, liukoinen	< 0,5	68	1	mg/l
kok.P, liukoinen	7	1	< 0,1	mg/l
PO <sub>4</sub> -P, liukoinen	< 0,10	1	< 0,1	mg/l
Cl <sup>-</sup>	13	15	5,6	mg/l
Na	< 50	140	90	mg/kg ka
Cu	5	19	10	mg/kg ka
Pb	1	6	4	mg/kg ka
Zn	140	43	21	mg/kg ka

#### 4.2.5 Biosuodatusalueiden hulevesinäytteet

##### 4.2.5.1 Kolmitasoinen aineisto

Hulevesinäytteet kerättiin biosuodatusalueiden salaoja- tai ylivuotokaivoista. Kuten edellä luvussa 3.1 mainittiin, niin osa kerätyistä hulevesinäytteistä edusti vain yhtä biosuodatusaluetta, kun taas osa hulevesinäytteistä edusti useampaa biosuodatusaluetta. Kuvassa 17 on esitetty biosuodatusalueiden ylivuoto- ja salaojakaivot sekä kaivojen purkukohtat. Tutkimusaineisto oletettiin kolmitasoiseksi koejärjestelyiden mukaan. Ensimmäinen taso on biosuodatusalueiden jakaminen kuvassa 17 esitettyjen kolmen valuma-alueen suhtaan, toisessa tasossa tarkastellaan eri valuma-alueiden ominaisuuksien eroja ja kolmas taso keskittyy kaikkien eri biosuodatusalueiden tarkasteluun.





Kuva 17. Havainnekuva biosuodatusalueiden salaoja- ja ylivuotokaivoista sekä kaivojen purkupaikoista

### Ensimmäisen tason valuma-alueetarkastelu

Ensimmäisessä tasossa biosuodatusalueet ryhmiteltiin kolmeen valuma-alueeseen taulukon 18 mukaan. Valuma-alue 1 (VA1) edustaa BS1–BS2:n valuma-alueita ja hulevesinäytteeksi valittiin BS2, mikä on valuma-alueen purkukaivo (salaojakaivo). Valuma-alue 2 (VA2) edustaa BS3–BS0 valuma-alueita ja hulevesinäytteeksi valittiin BS3, mikä on valuma-alueen purkukaivo (ylivuotokaivo). Valuma-alue 3 (VA3) edustaa BS6–BS7 valuma-alueita ja hulevesinäytteeksi valittiin BS7, mikä on valuma-alueen purkukaivo (ylivuotokaivo). Valuma-alueetarkastelussa selvitettiin, millaista biosuodatusalueista lähtevän huleveden laatu todellisuudessa on.

Taulukko 18. Ensimmäisen tason valuma-alueetarkastelu (VA1, VA2 ja VA3)

Valuma-alue	Alueet	Valittu näyte	Tarkastelun tarkoitus
VA1	BS1–BS2	BS2	Lähtevän huleveden laatu
VA2	BS3–BS0	BS3	Lähtevän huleveden laatu
VA3	BS6–BS7	BS7	Lähtevän huleveden laatu

### Toisen tason ominaisuustarkastelu

Toisessa tasossa biosuodatusalueet jaettiin kolmeen ominaisuusryhmään, jossa eri valuma-alueilta valittiin tarkasteltava ominaisuus taulukon 19 mukaan. Ensimmäinen ominaisuusalue (OA1) tarkastelee pelkän kasvualustan vaikutusta biosuodatukseen ja hulevesinäytteeksi valittiin BS1, mihin ei vaikuta muut biosuodatusalueet. Toinen ominaisuusalue (OA2) tarkastelee puuhakkeen ja puutarhamaisen kasvillisuuden vaikutusta biosuodatukseen ja hulevesinäytteeksi valittiin BS4, mikä edustaa samalla myös BS5:tä (kasvualusta ja niittymäinen nurmi) ja BS0:aa (puuhake ja monimuotoinen kasvillisuus). Kolmas ominaisuusalue (OA3) tarkastelee pelkän hiekkasuodatuksen vaikutusta huleveteen ja hulevesinäytteeksi valittiin BS6, mihin ei vaikuta muut biosuodatusalueet.

Taulukko 19. Toisen tason ominaisuustarkastelu (OA1, OA2 ja OA3)

Ominaisuus	Valuma-alue	Valittu näyte	Tarkastelun tarkoitus
OA1	VA1	BS1	Kasvualusta
OA2	VA2	BS4	Puuhake ja puutarhamainen kasvillisuus
OA3	VA3	BS6	Hiekkasuodatus

### Kolmannen tason kasvillisuus- ja rakennekerrosvertailu

Kolmannessa tasossa biosuodatusalueita ei jaettu ryhmiin vaan jokaista biosuodatusaluetta tarkasteltiin yksittäin. Kolmannen tason tarkastelussa ongelmana on hulevesinäytteiden kumulatiivisuus, sillä vain BS1 ja BS6 edustavat yksittäistä näytettä ja muut biosuodatusalueiden näytteet ovat kokoamia yhdestä tai useammasta näytteestä, kuten taulukko 20 osoittaa. Kolmannen tason tarkoitus oli silti antaa kuva kasvillisuuden vaikutuksesta ja löytää eroja eri kasvillisuuden ja rakennekerrosten välille.

*Taulukko 20. Kolmannen tason kasvillisuus- ja rakennekerrosvertailu*

Näyte	Alueet	Tarkastelun tarkoitus
BS1	BS1	Ei kasvillisuutta, siirtymäkerros
BS2	BS1–BS2	Lehtipensaat, siirtymäkerros
BS3	BS3–BS0	Nurmi, siirtymäkerros
BS4	BS4–BS0	Perennat, siirtymäkerros
BS5	BS5–BS0	Niittyseos, siirtymäkerros
BS6	BS6	Hiekkasuodatus, suodatinkangas
BS7	BS6–BS7	Lehtipensaat, suodatinkangas

#### 4.2.5.2 Keskinäinen vertailu

Biosuodatusalueiden toimivuudesta haitta-aineiden pidättävyyden suhteen tehtiin keskinäinen vertailu. Keskinäinen vertailu toteutettiin kolmitasoisena aineiston toisella ja kolmannella tasolla. Liitteessä G on esitetty biosuodatusalueiden (BS1–BS7) koko tarkastelujakson (18.10.2013–20.10.2014) hulevesinäytteiden mediaanit, minimi- ja maksimit.

Toisen tason keskinäisessä vertailussa ominaisuusalueiden (OA1, OA2 ja OA3) hulevesinäytteitä verrattiin MetropoliLab Oy:n samana päivänä (18.10.2013) keräämään maaperän kokoomänäytteeseen. Vertaamalla ominaisuusalueiden hulevesinäytteitä maanäytteisiin selvitettiin, kuinka paljon puuhakkeella ja kasvualustalla on vaikutusta ravinteiden huuhtoutumiseen biosuodatusrakenteen läpi vastaanottavaan vesistöön.

Kolmannen tason keskinäisessä vertailussa tutkittiin biosuodatusalueiden (BS1–BS7) koko tarkastelujakson mediaaneja. Mediaanien tarkastelu toteutettiin pisteyttämällä biosuodatusalueet muuttujakohtaisesti arvoilla 1–7. Arvon 1 sai biosuodatusalue, jonka muuttujan pitoisuus oli matalin ja arvon 7 sai biosuodatusalue, jonka muuttujan pitoisuus oli korkein. Muut biosuodatusalueet saivat arvot 2–6 riippuen muuttujan pitoisuudesta. Biosuodatusalueiden pisteytystä tarkasteltiin osasijoituksilla ja lopullinen tarkastelu tapahtui kokonaispisteiden avulla.

#### 4.2.5.3 Ajallinen muutos

Biosuodatusalueet (BS1–BS7) olivat vastavalmistuneita tämän tutkimuksen alkaessa ja niiden toimivuutta tutkittiin myös tarkkailujakson ajallisen muutoksen suhteen. Ajallisen muutoksen tarkastelu suoritettiin ensimmäisellä ja kolmannella tasolla. Liitteessä H

on esitetty biosuodatusalueiden koko tarkastelujakson (18.10.2013–20.10.2014) hulevesinäytteiden mediaanit, minimi ja maksimit.

Toisen tason ajallisen muutoksen tarkastelussa valuma-alueiden (VA1, VA2 ja VA3) hulevesipitoisuuksia verrattiin tulevan huleveden laatuun (HV1) heti rakentamisen jälkeen (18.10.2013) ja vuoden päästä biosuodatusalueiden valmistuttua (20.10.2014). Ajallisen vertailussa selvitettiin, miten biosuodatusalueet pidättävät tai vaihtoehtoisesti lisäävät haitta-aineita huleveteen ensimmäisen vuoden aikana.

Kolmannen tason ajallisen muutoksessa biosuodatusalueiden (BS1–BS7) hulevesinäytteiden pitoisuuksien mediaaneja tarkasteltiin näytteenottopäivien sääolojen mukaan laatikkokuvaajien (boxplot) avulla. Mediaanien ajallisen tarkastelun avulla pystyttiin arvioimaan, ovatko biosuodatusalueet herkkiä tietyille sääolosuhteille ja mihin tasoon haitta-ainepitoisuudet ovat mahdollisesti laskeneet vuoden aikana.

#### **4.2.6 Näytteenottoajankohdan tärkeys**

Mittausaineistoa on satunnais- kuin jatkuvatoimisesta mittauksista sekä näytteitä on kerännyt useampi henkilö eri näytteenottomenetelmillä hyvinkin vaihtelevissa sääolosuhteissa. Luode Consulting Oy teki jatkuvatoimista mittausta kahdesta kaivosta 2.9–3.11.2014. Kaivoiksi valittiin biosuodatusalueen BS3 ylivuotokaivo (Ø 800), mikä kerää hulevesiä biosuodatusalueilta BS3–BS0 sekä biosuodatusalueen BS5 salaojakaivo (Ø 400), mikä kerää hulevesiä biosuodatusalueilta BS5–BS0. Erikokoisten valuma-alueiden lisäksi ylivuotokaivon BS3 ja salaojakaivon BS5 huleveden laatu oli erilaista. Ylivuotokaivo BS3 kerää biosuodatusalueiden läpi suodattunutta hulevettä, mutta ritiläkaivon takia kaivoon pääsee myös biosuodatus- ja katualueen ylivuotovesiä. Salaojakaivo BS5 kerää pelkästään biosuodatusalueiden läpi suodattunutta hulevettä.

Ylivuoto- ja salaojakaivon mitattavia muuttujia olivat huleveden lämpötila, vedenpinnankorkeus, sameus ja sähkönjohtokyky. Mittausaineistoa kerättiin 10 minuutin välein YSI 600 OMS –mittauslaitteella. Vedenpinnankorkeuden nollassa oli asetettu kaivojen poistoputken alareunan tasolle. Liitteessä I(a) on esitetty ylivuotokaivon BS3 ja salaojakaivon BS5 huleveden jatkuvatoiminen lämpötilan mittaus [°C], liitteessä I(b) on havainnollistettu ylivuotokaivon BS3 ja salaojakaivon BS5 huleveden jatkuvatoiminen pinnankorkeudenvaihtelu [mm], liitteessä I(c) on edustettuna ylivuotokaivon BS3 ja salaojakaivon BS5 huleveden jatkuvatoiminen sameuden mittaus [FNU] ja liitteessä I(d) on osoitettu ylivuotokaivon BS3 ja salaojakaivon BS5 huleveden jatkuvatoiminen sähkönjohtokyvyn mittaus [mS/m].

Kuten jo aiemmin todettu luvussa 2.3.4, niin yksittäinen hulevesinäyte on hyvin riippuvainen edeltävistä sääolosuhteista, valuma-alueen koosta ja valunnan määrästä (Barbosan ym., 2012). Syksyn 2014 yksittäisiä sameuden ja sähkönjohtokyvyn mittauksia verrattiin Luoden Consulting Oy:n tekemään jatkuvatoimiseen sameuden ja sähkönjohtokyvyn mittaamiseen salaojakaivosta BS5. Luode Consulting Oy:n mittaus tapahtui 10 minuutin välein, jolloin yksittäisen sameuden ja sähkönjohtokyvyn mittauksen ajankoh-

ta sovitettiin ajallisesti mahdollisimman tarkasti samaan. Näytteenottoajankohdan luotettavuustarkastelu tehtiin neljän sadetapahtuman avulla.

#### 4.2.7 Hulevesinäytteiden tilastollinen tarkastelu

Hulevesinäytteiden haitta-ainepitoisuuksia haluttiin lisäksi tarkastella tilastollisen analyysin avulla, sillä näytteiden otanta oli pieni ja hajonta suuri. Testin yleiseksi hypoteesiksi (H) valittiin hulevesipitoisuuksien tilastollinen poikkeamattomuus, jossa testauksen kohteena oli nollahypoteesi ( $H_0$ ) sekä vaihtoehtoinen hypoteesi ( $H_1$ ). Nollahypoteesi asetettiin kohteelle havaintojen perusjoukon jakaumasta sisältämää informaatiota vastaan. (Mellin, 1996a & 1996b)

$H_0$ : hulevesien haitta-ainepitoisuudet eivät poikkea tilastollisesti toisistaan

$H_1$ : hulevesien haitta-ainepitoisuudet poikkeavat tilastollisesti toisistaan

Testisuureeksi valittiin p-arvo, jonka merkitsevyytasoksi oletettiin 0,05 (ns. melkein merkitsevä taso). Mitä pienempi testin p-arvo, niin sitä vahvempia todisteita havainnot sisältävät nollahypoteesia  $H_0$  vastaan. (Mellin, 1996a & 1996b) Tilastollisen tarkastelun menetelmäksi valittiin Kruskal-Wallisn yksisuuntainen varianssianalyysiä, joka on Mann-Whitneyn testin laajennus ja sopii useammalle tarkasteluparille. Testi perustuu havaintojen riippumattomuuteen, jossa havainnot korvataan järjestyslukuilla ja järjestyslukujen keskiarvoja vertaillaan keskenään. Mikäli järjestyslukujen keskiarvot poikkeavat toisistaan voimakkaasti, tämä osoittaa jakaumien sijainnin poikkeavuutta ja tulkitaan nollahypoteesin kumoutumiseksi. (Vasama & Vartia, 1980)

$p < p_0$ , hylätään nollahypoteesi  $H_0$  ja hyväksytään vaihtoehtoinen hypoteesi  $H_1$   
 $p \geq p_0$ , jätetään nollahypoteesi  $H_0$  voimaan

Koska Kruskal-Wallisn testi perustuu havaintojen riippumattomuuteen, niin tilastollista tarkastelua ei voitu tehdä kaikille biosuodatusalueille (BS1–BS7), sillä suurin osa hulevesinäytteistä edusti useampaa biosuodatusaluetta. Tilastollinen tarkastelu tehtiin valuma-alueiden (VA1, VA2 ja VA3) ja ominaisuusalueiden (OA1, OA2 ja OA3) keskinäiselle vertailulle ja ajalliselle muutokselle. Lisäksi tilastollinen tarkastelu tehtiin myös valuma-alueiden ja ominaisuusalueiden keskinäiselle vertailulle 25.9.2014 näytteenotopäivälle, jolloin otettiin kaksoisnäyte saman sadetapahtuman aikaan.

#### 4.2.8 Valunnan ja kuormituksen arviointi

##### 4.2.8.1 Storm Water Management Model (SWMM) –mallinnusohjelma

Burton ja Pitt (2001) esittelevät vesistöön kohdistuvan päivän maksimikuormituksen (TMDL, *Total Maximum Daily Load*), jossa hulevesien haitta-ainekuormitus ei vielä vaikuta haitallisesti vastaanottavaan vesistöön. Useimmat hulevesitutkimukset keskittyvät hulevesien haitta-ainepitoisuuksien vertailuun, mutta pelkkien pitoisuuksien perusteella ei saada selville hulevesien todellista vaikutusta vastaanottavaan vesistöön. TMDL:n

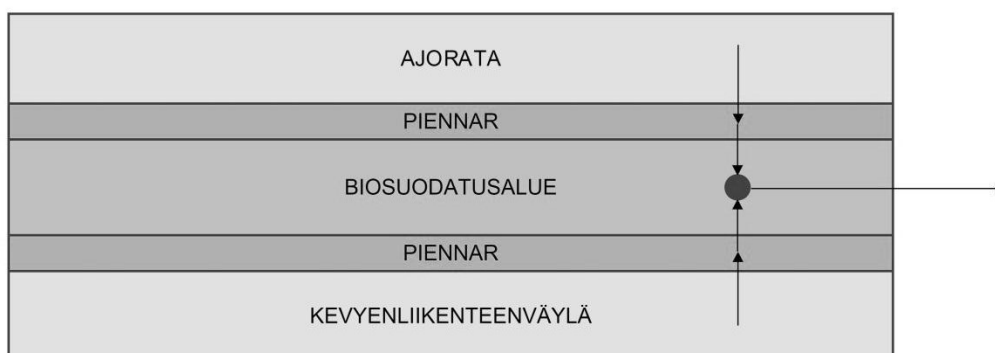
avulla voidaan siis arvioida kokonaisvaltaisemmin hulevesien aiheuttamaa kuormitusta joko yhden sadetapahtuman aikana tai pidemmällä tarkastelujaksolla.

Tässä työssä valunnan mallintamiseen käytettiin Yhdysvaltojen *Environmental Protection Agency* (EPA) *Storm Water Management Model* (SWMM) –mallinnusohjelmaa (Rossmann, 2010). SWMM –malliin kerätään paikallista tietoa ja malli kalibroidaan vastamaan maastossa vallinneita olosuhteita mahdollisimman todenmukaisesti. Validointi on mallintamisen itsenäinen osa, jolla varmistetaan, että kalibroitu malli ennustaa valunnan oikein sallitulla virheprosentilla (Burton & Pitt, 2001). SWMM:ssä pystytään valunnan määrän lisäksi arvioimaan valunnan laatua eri haitta-aineiden suhteen (*Quality, pollutants*), mutta siihen ei perehdytty tämän työn yhteydessä (Rossmann, 2010).

Tämän työn aineistolla SWMM –mallia ei voitu kalibroida eikä validoida, sillä biosuodatusalueiden hulevesistä ei ollut virtaamatietoja. Työssä päätettiin silti tehdä laskennallinen tarkastelu siitä, kuinka hyvin SWMM:llä voidaan mallintaa biosuodatusalueita ja mitä lähtötietoja mallintamiseen tarvitaan.

#### 4.2.8.2 Laskennallisen valunta- ja LID –mallin rakentaminen

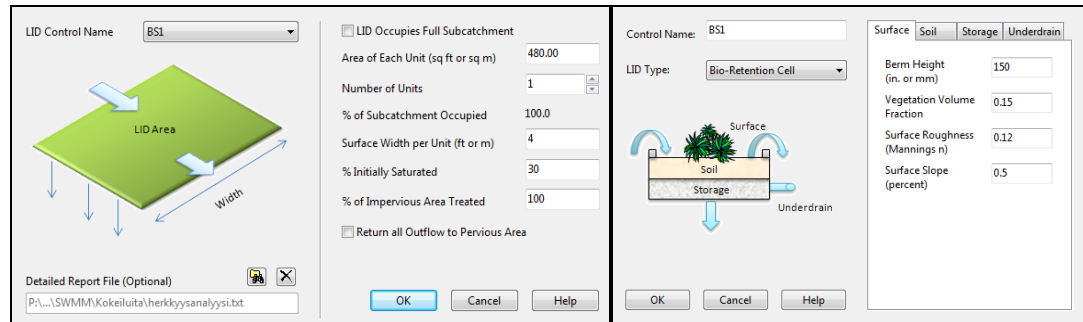
SWMM:llä rakennettiin kaksi mallia, joiden avulla valunnan muodostumista (kuva 18) ja biosuodatusalueen (kuva 19) toimintaa arvioitiin. Valunnan muodostuminen tehtiin jakamalla biosuodatusalueen valuma-alue ajoradan, pientareiden ja kevyenliikenteenväylän osavaluma-alueisiin kuvan 18 mukaan. Kaikille osavaluma-alueille valittiin yksilölliset parametrit. Ajoradalta ja kevyenliikenteenväylältä hulevedet ohjattiin pientareille ja pientareilta hulevedet ohjattiin edelleen biosuodatusalueelle.



Kuva 18. SWMM:n valuntamallin periaatekuva, jossa valuma alue jaettiin osavaluma-alueisiin

Valuntamallin hulevedet ohjattiin laskennalliseen biosuodatusmalliin. Laskennallinen malli rakennettiin vastaamaan BS1–BS5 rakennekerroksia ja kasvillisuus valittiin BS4:n monimuotoisen kasvillisuuden mukaan. Biosuodatusalueiden yksilölliset ominaisuudet oli mahdollista huomioida SWMM:n *Low Impact Development* (LID) työkalun avulla, joka käytännössä muodostaa varsinaisen biosuodatusalueen. LID –työkalu on kehitetty vähentämään kaupungistumisen aiheuttaman kasvavan valunnan ja haitta-aineiden vaikutuksia (Krebs ym., 2013). LID –mallissa huomioitiin kuvan 19 mukaan biosuodatus-

alueen pintarakenne (*surface*), rakennekerrokset (*soil*) ja varastointitilan ominaisuudet (*storage*) sekä kuivatusvesimäärä (*underdrain*) (Rossman, 2010).



Kuva 19. Esimerkki yksiköllisen LID –mallin rakentamisesta (SWMM)

## Pintarakenne

LID –malli ottaa huomioon myös useita pintarakenteen parametreja, joihin löytyy viitteellisiä arvoja kirjallisuudesta. Pintakerroksen parametrien arviointi oli suoraviivaista. Rossmannin (2010) minimiarvo kasvillisuuspeitteelle on 0,0 ja vastaavasti maksimiarvo 0,2, joten puutarhamaiselle kasvillisuudelle valittiin arvo 0,18. Manningin kerroin ( $n$ ) saatiin yhdistelemällä Rossmannin (2010) sekä Krebsin ym. (2014) tutkimuksia. Bio-suodatusalueen kaltevuudeksi oletettiin 0,5.

## Rakennekerrokset

Kasvualusta ja suodatinkerros yhdistettiin samaksi rakennekerrokseksi. Parametrit arviointiin keskiarvoistamalla taulukon 21 harmaalla korostetut maaperäominaisuudet (Rossman, 2010). Taulukossa 21  $K$  (*conductivity*) tarkoittaa kyllästyneen maan hydraulista johtavuutta,  $\Psi$  (*suction head*) tarkoittaa kapillaarista imukorkeutta,  $\Phi$  (*porosity*) tarkoittaa huokoisuutta,  $FC$  (*field capacity*) tarkoittaa vedenpidätyskykyä eli maksimimäärää vettä, jonka maa voi pidättää, ja  $WP$  (*wilting point*) tarkoittaa lakastumispistettä eli sitä maaveden määrää, jonka alapuolella kasvit kuihtuvat.

Taulukko 21. Rakennekerroksen maaperäominaisuudet (Rossmann, 2010), jossa BS4:n LID –malliin yhdistettiin harmaalla korostetut arvot

	$K$ [mm/h]	$\Psi$ [mm]	$\Phi$	$FC$	$WP$
Hiekka	120,40	49,02	0,437	0,062	0,024
Savinen hiekka	29,97	60,96	0,437	0,105	0,047
Hiekkainen savi	10,92	109,98	0,453	0,19	0,085
Savimaa	3,302	88,90	0,463	0,232	0,116
Hiesusavea	6,604	169,93	0,501	0,284	0,135
Hiekkainen savimulta	1,524	219,96	0,398	0,244	0,136
Savimulta	1,016	210,06	0,464	0,31	0,187
Silttinen savimulta	1,016	270,01	0,471	0,342	0,21
Hietasavi	0,508	240,03	0,43	0,321	0,221
Hiesusavi	0,508	290,07	0,479	0,371	0,251
Savi	0,254	320,04	0,475	0,378	0,265

## Varastointitila

Varastointitilan ominaisuuksien parametreja arvioitiin Rossmann (2010) vakioiden mukaan. Suotautumisnopeus  $f$  (*seepage rate*) oletettiin olevan hyvin lähellä nollaa, koska maaperä biosuodatusalueiden ympärillä ja alla on savimaata. Suotautumisnopeus tarkistettiin vielä kaavan 6 mukaan (Rawls ym., 1983).

$$f = K \left( 1 + \frac{n\Psi}{F} \right) \quad (6)$$

missä  $f$  on Green-Amptin suotautumisnopeus [cm/h],  $K$  on kyllästyneen maan hydraulinen johtavuus [cm/h],  $n$  on huokoisuus,  $\Psi$  on kapillaarinen imukorkeus [cm] ja  $F$  on suotautumismäärä [cm].

## Kuivatusvesimäärä

SWMM:ssä kuivatusvesimäärä olisi ollut mahdollista laskea ulosvirtaaman  $q$  avulla kaavan 7 mukaan. Tikkurilantien biosuodatusalueista ei ollut virtaamatietoja, joten tässä työssä kuivatusvesimäärä arvioitiin kaavan 8 avulla (Rossmann, 2010)

$$q = C(h - Hd)^n \quad (7)$$

missä  $q$  on ulosvirtaama [mm/h],  $C$  (*drain coefficient*) on virtaamanopeus [mm/h],  $h$  (*height of stored water*) on varastointitilan korkeus [mm],  $H_d$  (*drain height*) on kuivatuskorkeus [mm] ja  $n$  (*drain exponent*) on kuivatuseksponentti 0,5 joka oletettiin vakioksi Rossmannin (2010) mukaan.

$$C = \frac{2(D^{\frac{1}{2}})}{t} \quad (8)$$

missä  $D$  (*depth of stored water*) [mm] on varastointitilan korkeus ja  $t$  [h] arvioitu aika, kuinka kauan hulevedellä kestää kulkeutua varastointitilan läpi.

### 4.2.8.3 Rakennekerrosmateriaalien ja -paksuuden vaikutus

LID -mallissa käytettiin ns. laskennallisia parametreja, joissa taulukon 22 mukaan yhdistettiin hiekka ja savinen hiekkamulta. Laskennalliselle LID -mallille tehtiin herkkyysanalyysi, jossa testattiin pintakerroksen, rakennekerrosten, salaojakerroksen ja kuivatusvesimäärän satunnaisten parametriarvojen vaikutusta LID -mallin käyttäytymiseen ja biosuodatusalueesta poistuvan virtaaman suuruuteen.

Taulukossa 22 on esitelty laskennallisen mallin parametrien arvot sekä arvot hiekkaiselle savimullalle, hiekalle, hiesulle, savimullalle sekä savelle (Rossmann, 2010). LID – malli ajatettiin läpi kaikilla parametreilla ja vesitasetta tarkasteltiin eri rakennemateriaalien avulla. Eri rakennekerrosmateriaalien vaihtelun lisäksi rakennekerrosten paksuutta pienennettiin (900 mm, 800 mm, 700 mm ja 600 mm) ja selvitettiin, millainen vaikutus rakennepaksuudella on laskennallisen LID –mallin toimintaan.

Taulukko 22. SWMM:ssä käytetyn laskennallisen LID –mallin parametrit sekä parametrit hiekkaiselle savimullalle, hiekalle, hiesulle, savimullalle ja savelle 18.10.2013 sadetapahtumalla (Rossmann, 2010)

	Laskennallinen	Hiekkainen savimulta	Hiekka	Hiesu	Savimulta	Savi
<b>paksuus</b>	1000	1000	1000	1000	1000	1000
<b>Φ</b>	0,4175	0,398	0,437	0,463	0,464	0,475
<b>FC</b>	0,153	0,244	0,062	0,232	0,31	0,378
<b>WP</b>	0,08	0,136	0,024	0,116	0,187	0,265
<b>K [mm/h]</b>	60,96	1,524	113,538	3,302	1,016	0,254
<b>K slope</b>	10	11	5	8	12	15
<b>Ψ [mm]</b>	134,493	219,964	49,022	88,9	210,058	320,04

#### 4.2.8.4 Toimivuuden tarkastelu vesitaseen avulla

Valunta- ja LID –mallien toimivuutta arvioitiin yksinkertaisen valuntaan perustuvan vesitaseen avulla mukaillen kaavaa 9 (muokattu Mustonen, 1986). Vaikka tiedettiin, että LID –mallia ei saada toimimaan luotettavasti ilman mallin kalibrointia ja validointia, niin vesitaseen avulla silti pystyttiin varmistamaan, että mallin toimii laskennallisesti.

$$\Delta S_L = \Delta S_A + R_T - Q_L - R_P - (ET)_C - \Delta S_H \quad (9)$$

missä  $\Delta S_L$  on varastotilavuus tarkasteluhetken lopussa [ $m^3$ ],  $\Delta S_A$  on varastotilavuus tarkasteluhetken alussa [ $m^3$ ],  $R_T$  on biosuodatusalueeseen tuleva vesimäärä [ $m^3$ ],  $Q_L$  on biosuodatusalueesta poistuva vesimäärä [ $m^3$ ],  $(ET)_C$  on haihdunta [ $m^3$ ],  $R_P$  on katualueiden pintavalunta [ $m^3$ ] ja  $\Delta S_H$  on biosuodatukselta ympäröivään maaperään tihkuva varastotilavuus [ $m^3$ ].

#### 4.2.8.5 Sääolosuhteiden merkitys

Eri rakenneominaisuuksien lisäksi SWMM:ssä laskennalliselle mallille on mahdollista syöttää hyvin tarkat sääolosuhteet (*climate file*). SWMM:n sääolosuhteet on jaettu viiteen säämuuttuun: (1) lämpötila, (2) haihdunta, (3) tuulenopeus, (4) lumi ja (5) maan käyttö. Sääolosuhteiden selvittämiseen käytettiin Ilmatieteen laitoksen avointa aineistoa (Ilmatieteen laitos, 2015) sekä soveltaen Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) tilastoja (Allen ym., 1998) sekä Roehrin ja Kongin (2010) esittämiä haihdunnan kaavoja. Sääolosuhteiden aineisto haettiin vuosille 2013 ja 2014 (Ilmatieteen laitos, 2015), josta muodostettiin yksi yhteinen vuoden tarkkailujakso (1.10.2013–1.11.2014). Vuosien 2013 ja 2014 lokakuun aineisto käsiteltiin yhteisenä keskiarvona (1–30.10.2013). Ilmatieteen laitoksen avoimen aineiston kautta ja SWMM:n valmiiden



parametrien avulla saatiin selville kaikki muut sääolosuhteet, paitsi haihduntakerroin. Haihduntakerroin laskettiin kaavan 10 (Allen ym., 1998) mukaan.

$$(ET)_C = K_c (ET)_O \quad (10)$$

missä  $(ET)_c$  (*crop evapotranspiration*) on kasvillisuuden tuottama haihdunta [mm/d],  $K_c$  (*crop coefficient*) on satokerroin ja  $(ET)_o$  (*pan evapotranspiration*) on viitteellinen kasvillisuuden tuottama haihdunta [mm/d].

$K_c$  arvo vaihtelee välillä 0–1 (Rossmann, 2010) ja tässä tutkimuksessa se arvioitiin kirjallisuuden perusteella (mm. Sumner & Jacobs, 2004; Roehrin & Kongin, 2010; Sumner & Allen, 2013). Todenmukaisen satokertoimen löytäminen on haastavaa Suomen ilmastoloissa, sillä kasvillisuuden kasvukausi on lyhyt ja lepokausi taas vastaavasti pitkä. Lyhyellä kasvukaudella on yleensä kuivaa ja taas lepokaudella yleensä sataa, kun kasvillisuuden pitäisi haihduttaa. Laskennallinen kasvillisuuden tuottama haihdunta  $(ET)_o$  laskettiin Hargreaves-Samanin kaavan 11 mukaan (Roehr & Kong, 2010):

$$ET_0 = 0,408[0,0023(T_{mean} + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,5} R_a] \quad (11)$$

missä  $T_{max}$  on päivän alin lämpötila [°C],  $T_{mean}$  on päivän keskilämpötila [°C],  $T_{min}$  on päivän alin lämpötila [°C] ja  $R_a$  (*extraterrestrial radiation*) maapallon ulkopuolinen säteily [MJ m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>].

Laskennallinen LID –malli ajettiin läpi kaikilla näytteenottopäivien sadetapahtumilla koko tarkastelujakson ajalta sekä taulukon 23 osoittamalla 15 minuutin, 1 tunnin, 6 tunnin ja 12 tunnin (1/2 a, 1/5 a ja 1/10 a) mitoitussateilla (Kuntaliitto, 2011). Mitoitussateiden avulla haluttiin selvittää tulviiko LID –malli rankempien sadetapahtumien yhteydessä.

Taulukko 23. Mitoitussateet [mm/min], joiden avulla tarkasteltiin LID –mallin toimivuutta erilaisilla sadetapahtumilla (Kuntaliitto, 2011)

Toistuvuus	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	3h	6 h	12 h	24 h
1/1 a	0,70	0,48	0,47	0,30	0,20	0,11	0,07	0,04	0,03
1/2 a	1	0,72	0,60	0,37	0,25	0,13	0,08	0,05	0,03
1/3 a	1,1	0,78	0,67	0,43	0,28	0,14	0,08	0,05	0,03
1/5 a	1,3	0,90	0,73	0,50	0,32	0,15	0,10	0,06	0,03
1/10 a	1,4	1,08	0,94	0,60	0,38	0,18	0,11	0,07	0,04

#### 4.2.8.6 Maaperän alkukosteuden vaikutus

SWMM olettaa, että LID –mallissa käytettävän maaperän alkukosteus (*initially saturated*) on 0 %. Luonnossa maaperässä vesi esiintyy kiinteissä, nestemäisissä ja kaasumaisissa olomuodoissa, joiden suhteet vaihtelevat muun muassa vuodenaikojen mukaan.

Maaperässä tapahtuvien fysikaalisten ja kemiallisten prosessien takia erityisesti vesipitoisuus ja veden olomuodot muuttuvat jatkuvasti (Mustonen, 1986). LID –mallin toimivuutta testattiin nostamalla alkukosteutta (5 %, 10 %, 15 % ja 20 %) ja tarkasteltiin, miten alkukosteuden nosto vaikuttaa biosuodatusalueesta poistuvaan virtaamaan.

#### 4.2.8.7 Tarkastelujakson kuormituksen arviointi

SWMM:ssä rakennettiin koko tarkastelujakson (1.10.2013–1.11.2014) pituinen sadantamalli, jolla valunta- ja LID –malli ajettiin läpi. Koko tarkastelujakson biosuodatusalueen poistuvan virtaaman ja BS4:n hulevesinäytteiden mediaanien avulla pystyttiin arvioimaan kokonaiskuormittavuutta. Laskennallisen LID –mallin rakennekerroksen parametreja muutettiin ( $\pm 10\%$  ja  $\pm 20\%$ ), jotta saatiin kuormituksen reuna-arvoja. Työssä silti ymmärrettiin, että LID –mallin parametrit ovat riippuvaisia toisistaan eikä kaikkien parametrien sama prosentuaalinen muuttaminen välttämättä vaikuta biosuodatusalueen toimintaan. Tarkastelujakson kuormituksen arvioinnissa on myös huomioitava, että BS2 on vain yksi seitsemästä biosuodatusalueesta. Koko biosuodatusalueen (BS1–BS7) kuormituksen arviointi olisi tehtävä mallintamalla BS1–BS7 yksilöllisesti ja kertomalla poistuva virtaama biosuodatusalueiden hulevesipitoisuuksien yksilöllisillä mediaaneilla.

### 4.3 Meiramitien biosuodatusalueiden aineisto ja laadullinen tutkimus

Haastattelututkimuksen tyypiksi valittiin teemahaastattelu eli puolistrukturoitu haastattelu, jossa edettiin tiettyjen keskeisten etukäteen valittujen teemojen ja niitä tarkentavien kysymysten mukaan (Tuomi & Sarajärvi, 2009). Haastattelun etuna on, että menetelmä on joustava ja siinä on mahdollista toistaa kysymys, oikaista väärinkäsityksiä sekä selvittää kysymysten asettelua (Jyrinki, 1974).

Haastateltavien määrää jouduttiin rajaamaan ajallisten rajoitteiden takia ja haastattelut keskittyivät Vantaan kaupungin henkilöstöön. Tietoa haluttiin kunnossapidosta ja suunnittelua helpottavista asioista, joten haastateltavaksi valittiin kaupungin katujen ja teiden kunnossapitopäällikkö, katutekniikan projektipäällikkö, itäisen viheralueyksikön vastaava puutarhuri sekä vesihuollon suunnittelupäällikkö. Haastateltaville lähetettiin alustavat haastattelukysymykset etukäteen, mitkä toimivat runkona haastattelulle. Varsinaiset vastaukset kirjattiin ja tarkennettiin vasta itse haastattelun yhteydessä. Monipuolisen ja biosuodatusalueiden kokonaiskuvan hahmottamiseksi myös konsultin ja urakoitsijan haastattelut olisivat tuoneet arvokasta lisäarvoa haastattelututkimukseen, mutta toisaalta tutkimuksessa haluttiin keskittyä biosuodatusalueiden toimivuuteen eikä suunnitteluratkaisuihin tai rakentamisen haasteisiin.

Meiramitien biosuodatusalueista ei ollut valmista aineistoa tai tutkimuksia, joten Meiramitien suunnitelmat ja työselostus toimivat tausta-aineistona. Tässä työssä käytetty aineisto on kerätty joko haastatteleamalla tai kenttäkäynneillä. Myös kaikki työssä käytetyt Meiramitien valokuvat on kerätty syksyn 2014 tai kevään 2015 aikana.

## 5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Tikkurilantien biosuodatusalueiden määrällisen tutkimuksen tulokset ja tulosten tarkastelu

#### 5.1.1 Katualueen hulevesinäytteet

Biosuodatusalueita ympäröivät katualueen hulevedet edustavat Vantaanjokeen päätyvää puhdistamatonta hulevettä. Ympäröivien hulevesinäytteiden haitta-ainepitoisuuksia tarkasteltaessa (taulukko 17) on selvää, että huleveden kulkeutumisaajalla ja -reitillä on merkitystä. HV1:n hulevesinäyte otettiin suoraan kadulta valuvasta hulevedestä, HV2:n ja HV3:n hulevesinäytteet otettiin kadun hulevesikaivoista, joissa hulevesi oli seisonut useita sadetapahtumia. Erityisesti HV3:n kohdalla oli selvää, että linja-autopysäkin välittömässä läheisyydessä olevan hulevesikaivon hulevedet ovat likaisempia kuin HV1:n tai jopa HV2:n hulevedet.

Jokela (2006) on todennut kasvavan KVL:n vaikuttavan epäsuotuisasti huleveden haitta-aineisiin ja ravinnepitoisuuksiin. Samalla tavalla voidaan olettaa ajan vaikuttavan epäedullisesti käsittelemättömän huleveden laatuun. Erityisesti kiintoainepitoisuuden mediaanit näyttävät kasvavan, mitä kauemmin hulevesi seisoo hulevesikaivoissa. HV1:n kiintoainepitoisuus oli 7,0 mg/l, kun taas HV2:n kiintoainepitoisuus oli 20,4 mg/l sekä HV3:n kiintoainepitoisuus oli 57,5 mg/l. Samoin raskasmetallien määrä näyttää kasvavan ajan kanssa rautapitoisuuden perusteella. HV1:n rautapitoisuus oli 2,07 mg/l ja vastaavasti HV2:n rautapitoisuus oli 3,23 mg/l sekä HV3:n rautapitoisuus oli 5,07 mg/l.

Airolan ym. (2014), Vahteran (2014), Sänkiahon ja Sillanpään (2012) tutkimusten kiintoaineen mediaanit vaihtelivat 9,5–37 mg/l välillä samoin kuin sähköjohtokyvyn mediaanit vaihtelivat 6,9–31,5 mS/m, jotka vastaavat hyvin myös tämän tutkimuksen tuloksia (HV1:n kiintoainepitoisuus 7,0 mg/l ja sameus 29,6 mS/m). Ravinteiden suhteen vertailukelpoisia tutkimuksia oli vähemmän, mutta kirjallisuusarvojen kokonaistyyppipitoisuuksien mediaanit vaihtelivat 423–1490 µg/l ja kokonaisfosforipitoisuuksien mediaanit vaihtelivat 74–110 µg/l. Tämän työn kokonaistyyppipitoisuudet (1750,0 µg/l) olivat hieman korkeampia, mutta kokonaisfosforipitoisuudet (34,0 µg/l) olivat puolestaan matalampia.

Suoloja ja raskasmetalleja tarkasteltaessa Airolan ym. (2014), Vahteran (2014), Sänkiahon ja Sillanpään (2012) tutkimustulokset olivat melko vertailukelpoisia tässä työssä mitattuihin tulevan huleveden raskasmetallipitoisuuksiin. Kirjallisuuden kloridipitoisuus vaihteli 3,45–19,7 mg/l ja tässä työssä mitattu kloridipitoisuus oli 18,5 mg/l, kirjallisuuden kromipitoisuus vaihteli 1,6–2,3 µg/l ja tässä työssä mitattu kromipitoisuus oli 4,9 µg/l, kirjallisuuden kuparipitoisuus vaihteli 0,013–0,016 mg/l ja työssä mitattu kuparipitoisuus oli 0,007 µg/l, kirjallisuuden lyijypitoisuus vaihteli 1,7–2 µg/l ja tässä työssä

mitattu lyijypitoisuus oli 0,7 µg/l sekä kirjallisuuden sinkkipitoisuus vaihtelu 0,049–0,068 mg/l ja työssä mitattu sinkkipitoisuus oli 0,01 mg/l.

Tikkurilantien katualueen hulevesiä verrattiin lisäksi taulukon 3 samoille liikennemäärille (KVL < 15 000) arvioituihin haitta-ainepitoisuuksiin. Myös tämän vertailun perusteella Tikkurilantien katualueen hulevedet edustavat Suomessa tyypillistä katualueilta valuvaa hulevettä. Keskinäisessä ja ajallisessa tarkastelussa on hyvä huomioida, että tavallisesti kadun hulevedet eivät sisällä suuria määriä ravinteita vaan haitta-aineet ovat keskittyneet pääasiassa kiintoaineeseen ja raskasmetalleihin (Valtanen ym., 2010, Airo-la ym., 2014)

### 5.1.2 Hulevesinäytteiden keskinäinen vertailu

#### 5.1.2.1 Ominaisuusalueiden (OA1, OA2 ja OA3) keskinäinen vertailu

Toisen tason keskinäisessä vertailussa kasvualustan (OA1), puutarhamaisen kasvillisuuden (OA2) ja hiekkasuodatuksen (OA3) hulevesinäytteitä vertailtiin keskenään. Lisäksi ominaisuusalueiden hulevesinäytteitä (OA1–OA3) verrattiin samana päivänä (18.10.2013) otettuun maanäytteeseen taulukon 24 mukaan. Maanäyte M1 edustaa puuhaketta, M2 edustaa kasvualustaa ja M3 edustaa suodatinkerrosta. Maanäytteen kasvualustan lähes kaikkien muuttujien haitta-ainepitoisuudet ovat korkeammat kuin puuhakkeen tai suodatinkerroksen pitoisuudet. Kasvualustan korkeat pitoisuudet selittyvät eloperäisellä mullalla, joka oli jo valmiiksi ravintorikasta ja sisälsi raskasmetalleja. Suodatinkerroksen alkuperäinen puhtaus taas selittyy sillä, että siinä ei ollut valmiiksi orgaanista ainesta eikä hulevesi ollut vielä huuhtonut kasvualustan haitta-aineita suodatinkerrokseen.

Ominaisuusalueiden (OA1–OA3) perusmuuttujien vertailusta (taulukko 24) havaitaan maanäytteiden tavoin, että hiekkasuodatuksella on (OA3) on matalampi kiintoainepitoisuus (16 mg/l), pH (6,4), sameus (11 FNU) ja sähkönjohtokyky (3,2 mS/m) kuin pelkällä kasvialustalla (OA1) tai puutarhamaisella kasvillisuudella (OA2). Tosin maanäytteen suodatinkerroksen pH (7,1) on vastaavasti korkeampi kuin puuhakkeen pH (4,6) tai kasvialustan pH (6,7).

Jos vertaillaan ominaisuusalueiden ravinnepitoisuuksia (taulukko 24), niin myös ravinteiden suhteen kasvialustalla (OA1) on korkeimmat pitoisuudet. Suuret pitoisuudet johtuvat eloperäisestä materiaalista, sillä samana päivänä otetuista maanäytteistä havaittiin korkeat ravinnepitoisuudet eikä biosuodatusalueella ole kasvillisuutta pidättämässä ravinteita. Vastaavasti taas puutarhamaisella kasvillisuudella (OA2) oli matalin ammoniumtyyppipitoisuus (< 4 µg/l) ja fosfaattifosforipitoisuus (12 µg/l) vaikka rakennekerrokset olivat samat kuin pelkällä kasvialustalla. Kasvillisuus on siis oletettavasti ehtinyt jo lyhyenkin ajan sisällä pidättämään ravinteita, sillä erityisesti liukoinen ammoniumtyppi ja fosfaattifosfori ovat kasvien helposti käytettävissä. Hiekkasuodatuksella taas oli matalin kokonaistyyppipitoisuus (2000 µg/l), nitraattityyppipitoisuus (1800 µg/l) ja kokonaisfosforipitoisuus (180 µg/l) vielä ensimmäisten mittausten aikana.

Maa- ja hulevesinäytteiden suolojen ja raskasmetallien kohdalla (taulukko 24) on jälleen nähtävissä, että pelkässä hiekkasuodatuksessa (OA3) on huomattavasti vähemmän suoloja ja raskasmetalleja kuin pelkässä kasvualustassa (OA1) tai puutarhamaisessa kasvillisuudessa (OA2). Huomattava eroavaisuus hiekkasuodatuksen ja kasvualustan raskasmetallipitoisuuksien välillä selittyy aikaisempien tutkimusten perusteella, joissa suurin osa raskasmetalleista sitoutuu kasvualustaan ja on enemmän riippuvainen raekoosta kuin kasvillisuuden juuriston pidätyskyvystä (Muthanna, 2007).

Taulukon 24 perusteella voidaan todeta, että vastavalmistuneessa biosuodatuksen kasvualustassa on runsaasti ravinteita ja raskasmetalleja sekä vastaavasti vastavalmistuneen biosuodatuksen suodatuskerroksessa on huomattavasti matalammat ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet. On silti huomioitava, että taulukon 24 vertailu oli tehty selvittämään vastavalmistuneiden biosuodatusalueiden lähtötilannetta eikä kerro niiden lopullisesta kyvystä pidättää haitta-aineita. Biosuodatusalueita suunniteltaessa on siis selvitettävä, kuinka tehokas kasvillisuuden on oltava pidättämään kasvualustan sisältämät haitta-aineet ja vastaavasti selvitettävä kasvualustan olla olevien rakennekerrosten kapasiteetti pidättää haitta-aineita. Kokonaiskuormitusta tarkasteltaessa on myös pohdittava, että kuinka tärkeä kasvualusta on, sillä osa kasveista pärjää myös ilman kasvualustaa (Barrett ym. 2013). Toisten tutkimuksien mukaan kasvualusta voi toimia kuormituslähteenä ilman kasvillisuutta, erityisesti typen kohdalla (Bratieres ym., 2008).

Taulukko 24. Ominaisuusalueita OA1, OA2 ja OA3 keskinäinen vertailu sekä vertailu maanäytteisiin M1, M2 ja M3 18.10.2013

Muuttuja	Ominaisuusalueet			Yksikkö	Maanäytteet			Yksikkö
	OA1	OA2	OA3		M1	M2	M3	
TSS	270	66	16	mg/l	94	11,1	0,3	% ka
pH	7,5	7,5	6,4		4,9	6,7	7,1	
Sameus	180	92	11	FNU				
Sähkö	34,8	38,1	3,2	mS/m				
kok.N	8500	6100	2000	µg/l	13000	73000	5000	µg/l*
NH <sub>4</sub> -N	7	< 4	5	µg/l	<100	1000	0	µg/l*
NO <sub>3</sub> -N	8000	5300	1800	µg/l	< 500	68000	1000	
kok.P	210	82	180	µg/l	7000	1000	<100	µg/l*
PO <sub>4</sub> -P	15	12	135	µg/l	<100	1000	<100	µg/l*
Cl <sup>-</sup>	9,6	11,0	1,1	mg/l	13	15	5,6	mg/l
Na	19	12,0	1,1	mg/l	<50	140	90	mg/kg/ka
Cr	16,0	14,0	1,8	µg/l				mg/kg/ka
Cu	0,015	0,014	0,006	mg/l	5	19	10	mg/kg/ka
Pb	8,3	5,20	1,20	µg/l	1	6	4	mg/kg/ka
Fe	10	8,30	0,90	mg/l				mg/kg/ka
Zn	0,049	0,042	0,036	mg/l	140	43	21	mg/kg/ka

\* vesiliukoinen

Vastaava tarkastelu tulisi tehdä muutaman vuoden päästä, jolloin nähtäisiin kasvillisuuden, kasvualustan ja hiekkasuodatuksen todellinen kyky pidättää haitta-aineita. Maaperässä tapahtuu jatkuvasti erilaisia fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia prosesseja (Mustonen, 1986) ja jokainen sadetapahtuma huuhtoo haitta-aineita rakenteen läpi ylemmistä rakennekerroksista alempiin rakennekerroksiin. Etenkin hiekkasuodatuksen kyky pidättää haitta-aineita on tärkeää selvittää, sillä lähtökohtaisesti hiekka oli puhtain rakenne-

materiaali ja antoi hyviä tuloksia perusmuuttujien suhteen. Taulukossa 25 tehtiin taulukon 24 mukainen vertailu, jossa koko tarkastelujakson ominaisuusalueiden (OA1–OA3) mediaaneja verrattiin maanäytteiden (M1–M3) lähtöarvoihin. Mediaanien vertailulla haluttiin realistisempaa tietoa biosuodatusalueiden eri ominaisuuksien vaikutuksesta huleveden laatuun, sillä yksittäinen hulevesinäyte saattaa olla harhaanjohtava.

Koko tarkastelujakson mediaanien vertailussa huomataan, että taulukon 25 ominaisuusalueiden (OA1–OA3) mediaaneilla on huomattavasti suurempi hajonta kuin taulukon 24 lähtötilanteessa. Hiekkasuodatuksen (OA3) avulla saadaan edelleen matalimmat perusmuuttujien haitta-ainepitoisuudet, mutta ravinteiden- ja raskasmetallien suhteen hiekkasuodatuksen pidätyskyky heikkenee. Ominaisuusalueiden mediaanien (taulukko 25) vertailussa hiekkasuodatuksen ammoniumtyyppipitoisuus (31,0 µg/l), kokonaisfosforipitoisuus (210 µg/l) sekä fosfaattifosforipitoisuus (66,8 µg/l) olivat korkeimmat kuin kasvualustan tai puutarhamaisen kasvillisuuden. Kasvualustalla ja puutarhamaisella kasvillisuudessa olivat korkeimmat kromipitoisuus (5,9 µg/l), lyijypitoisuus (3,4 µg/l) ja sinkkipitoisuus (0,067 µg/l). Vastaavasti taas mediaanitarkastelussa kasvualustan kyky pidättää haitta-aineita on parantunut, koska kasvualustalla oli matalampi ammoniumtyyppipitoisuus (11,0 µg/l), fosfaattifosforipitoisuus (18,0 µg/l), kuparipitoisuus (0,009 mg/l) ja sinkkipitoisuus (0,012 µg/l) kuin puutarhamaisella kasvillisuudella tai kasvualustalla. Ominaisuusalueiden mediaanien perusteella kasvillisuuden ja ajan merkitys korostuu haitta-aineiden pidättyvyydessä.

*Taulukko 25. Ominaisuusalueiden (OA1, OA2 ja OA3) koko tarkastelujakson mediaanien vertaaminen 18.10.2013 kerättyihin maanäytteisiin (M1, M2 ja M3)*

Muuttuja	Ominaisuusalueet			Yksikkö	Maanäytteet			Yksikkö
	OA1	OA2	OA3		M1	M2	M3	
TSS	59,5	68,0	33,4	mg/l	94	11,1	0,3	% ka
pH	7,5	7,5	6,2		4,9	6,7	7,1	
Sameus	54,1	63,9	22,5	FNU				
Sähkö	39,9	34,3	2,7	mS/m				
kok.N	2060,0	2435,0	1900,0	µg/l	13000	73000	5000	µg/l*
NH <sub>4</sub> -N	11,0	13,0	31,0	µg/l	<100	1000	0	µg/l*
NO <sub>3</sub> -N	1624,8	2009,0	1500,0	µg/l	< 500	68000	1000	
kok.P	78,1	60,5	210,0	µg/l	7000	1000	<100	µg/l*
PO <sub>4</sub> -P	18,0	18,9	66,8	µg/l	<100	1000	<100	µg/l*
Cl <sup>-</sup>	93,0	130,0	1,7	mg/l	13	15	5,6	mg/l
Na	82,0	68,0	1,7	mg/l	<50	140	90	mg/kg/ka
Cr	4,5	2,0	5,9	µg/l				mg/kg/ka
Cu	0,009	0,011	0,011	mg/l	5	19	10	mg/kg/ka
Pb	1,5	1,2	3,4	µg/l	1	6	4	mg/kg/ka
Fe	2,57	2,55	1,42	mg/l				mg/kg/ka
Zn	0,012	0,017	0,067	mg/l	140	43	21	mg/kg/ka

\* vesiliukoinen

### 5.1.2.2 Biosuodatusalueiden (BS1–BS7) keskinäinen vertailu

Biosuodatusalueiden (BS1–BS7) muuttujien mediaanien pisteytysmenetelmä on esitetty taulukossa 26. Taulukon 26 pisteytyksessä ei huomioitu pH:ta eikä myöskään pisteytetty nitriittityyppiä, sillä sen mediaanit olivat samat BS3:a ja BS4:ää lukuun ottamatta.

Taulukon 26 tarkastelussa on huomioitava, että BS3:n ja BS7:n hulevesinäytteet on otettu suurista ( $\varnothing$  800 mm) ylivuokaivoista, jolloin niihin pääsee myös sadevettä eikä hulevesi välttämättä vaihdu eri sadetapahtumien välissä. Lisäksi hulevesinäytteet on kerätty osittain kumulatiivisesti (BS1:tä ja BS6:ta lukuun ottamatta), joten tulokset ovat vain suuntaa antavia. Liitteessä J on esitetty biosuodatusalueiden muuttujien laatikko-kuvaajat, jossa on tarkasteltu pitoisuuksien hajontaa.

Taulukosta 26 nähdään, että kokonaispisteiden mukaan monimuotoiset lehtipensaat suodatinkankaalla ja siirtymäkerroksella (BS7, 36 pistettä) on paras kombinaatio ja monimuotoiset lehtipensaat (BS2, 68 pistettä) pelkällä siirtymäkerroksella vastaavasti heikoin kombinaatio. Pelkän kasvualustan (BS1, 65 pistettä), nurmen (BS3, 54,4 pistettä) ja tulvaniittyseoksen (BS6, 64 pistettä) välillä oli odottamatonta hajontaa ja sijoitukset vaihteli. Pelkkä hiekkasuodatus (BS6, 66,5 pistettä) sijoittui myös heikosti kokonaispisteiden vertailussa.

Perusmuuttujien vertailun (taulukko 26) perusteella biosuodatusalueiden paksulla suodatinkerroksella on positiivinen vaikutus kiintoaineen pidättyvyyteen ja sähkönsäilytyskykyyn (BS6 ja BS7). Kuten Barrett ym. (2013) totesivat, niin kiintoaineen pidättyvyyteen vaikuttaa kasvillisuutta tai kasvualustaa enemmän rakennekerrosten raekoko. Hsieh ym. (2005) täydensivät, että maaperän fysikaalisten ominaisuuksien olevan määräävämpiä kuin maaperän kemialliset ominaisuudet. Mitä enemmän kiintoainetta pidättyy rakennekerrokseen, niin sitä enemmän myös hiukkasmuodossa olevia muita haitta-aineita pidättyy, erityisesti fosforia (Airola ym., 2014).

Ravinteiden pidättyvyyden tarkastelussa (taulukko 26) pelkkä kasvualusta (BS1), nurmi (BS3) ja niittyseos (BS5) antoivat parhaita tuloksia, mikä on osaltaan ristiriistaista kapaleessa 5.1.2.1. tehtyyn ominaisuusalueiden tarkasteluun. Vastaavasti taas lehtipensaat (BS2) ja perennat (BS4) näyttivät pidättävän heikoiten ravinteita. Syynä heikkoon pidättyvyyteen on luultavasti vastavalmistuneet rakenteet, joissa kasvillisuus on vastaistuetua eikä pidätyskyky ole vielä tehokkainta. Bratieres ym. (2008) mukaan kasvillisuus parantaa pidättyvyyttä ajan kanssa suoraan juuriston avulla ja tarkkailujakson aikana tutkittiin vasta kasvillisuuden ensimmäistä kasvukautta. Hiekkasuodatuksen (BS6) kyky pidättää ravinteita oli heikko, mikä vastaa myös Barrett ym. (2013) väitettä hiekkasuodatuksen onnistuneesta kiintoaineen pidätyksestä, mutta vastaavasti heikosta ravinteiden pidätyksestä.

Taulukon 26 mukaan suolojen ja raskasmetallien pidättyvyydessä on suurta hajontaa. Kuten aikaisemmin todettu, niin kasvualustassa on jo valmiiksi raskasmetalleja, jotka huuhtoutuvat rakenteeseen ajan kanssa ellei kasvillisuus ole sitomassa niitä (Lucas & Greenway, 2009). Lehtipensaat (BS2 ja BS7) sekä perennat (BS3) näyttivät pidättävän hyvin raskasmetalleja ja vastaavasti taas pelkkä kasvualusta (BS1), tulvaniittyseos (BS5) ja hiekkasuodatus (BS6) pidättivät heikoiten raskasmetalleja. Kirjallisuuden mukaan raskasmetallit kiinnittyvät partikkeleihin, joiden raekoko on alle 10  $\mu\text{m}$ . Sinkki ja kupari kiinnittyvät jopa vielä pienempään raekokoon (5  $\mu\text{m}$ ), jolloin ne ovat myös

muuttumassa liukoiseen muotoon. (Muthanna, 2007). Tämä pätee hyvin BS7:ään, missä on paksu hiekkakerrossa, mutta vastaavasti taas on erikoista, että BS6 antaa hyvin erilaisen tuloksen.

Taulukko 26. Biosuodatusalueiden (BS1–BS7) muuttujien pitoisuuksien mediaanien vertailu pisteytysmenetelmällä

	BS1	BS2	BS3	BS4	BS5	BS6	BS7
TSS	6,0	4,0	3,0	7,0	5,0	2,0	1,0
Sameus	5,0	7,0	3,0	6,0	4,0	2,0	1,0
Sähkö	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	1,0	2,0
<b>osapisteeet</b>	<b>18,0</b>	<b>17,0</b>	<b>11,0</b>	<b>17,0</b>	<b>12,0</b>	<b>5,0</b>	<b>4,0</b>
<b>osajoiutus</b>	<b>7</b>	<b>5/6</b>	<b>3</b>	<b>5/6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
kok.N	5,0	7,0	3,0	6,0	2,0	4,0	1,0
NH <sub>4</sub> -N	1,0	5,0	6,0	3,0	2,0	7,0	4,0
NO <sub>3</sub> -N	5,0	7,0	3,0	6,0	2,0	4,0	1,0
kok.P	2,0	6,0	3,0	1,0	5,0	7,0	4,0
PO <sub>4</sub> -P	2,0	5,0	1,0	3,0	4,0	6,0	7,0
<b>osapisteeet</b>	<b>15,0</b>	<b>30,0</b>	<b>16,0</b>	<b>19,0</b>	<b>15,0</b>	<b>28,0</b>	<b>17,0</b>
<b>osajoiutus</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>4</b>
Cl	4,0	3,0	6,5	6,5	5,0	2,0	1,0
Na	7,0	3,0	5,0	6,0	4,0	2,0	1,0
Cr	5,0	3,0	4,0	1,0	6,0	7,0	2,0
Cu	4,0	2,0	1,0	6,5	5,0	6,5	3,0
Pb	5,0	2,0	4,0	3,0	6,0	7,0	1,0
Fe	5,0	7,0	3,0	4,0	6,0	2,0	1,0
Zn	2,0	1,0	4,0	3,0	5,0	7,0	6,0
<b>osapisteeet</b>	<b>32,0</b>	<b>21,0</b>	<b>27,5</b>	<b>30,0</b>	<b>37,0</b>	<b>33,5</b>	<b>15,0</b>
<b>osajoiutus</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>1</b>
<b>pisteet</b>	<b>65,0</b>	<b>68,0</b>	<b>54,5</b>	<b>66,0</b>	<b>64,0</b>	<b>66,5</b>	<b>36,0</b>
<b>sioiutus</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>1</b>

### 5.1.3 Hulevesinäytteiden ajallinen muutos

#### 5.1.3.1 Valuma-alueiden (VA1, VA2 ja VA3) ajallinen muutos

Taulukossa 27 on esitetty valuma-alueiden (VA1–VA3) ajallinen muutos, jossa on vertailtu ensimmäistä (18.10.2013) ja viimeistä (20.10.2014) näytteenottopäivää. Lisäksi taulukossa 27 on esitetty kadulta tulevan huleveden (HV1) mediaanit. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioita, että yksittäinen näyte edustaa vain yksittäisen sadetapahtuman yksittäistä hetkeä ja pitoisuus saattaa muuttua huomattavasti jo muutaman tunnin sisällä. Lisäksi on huomioita, että ensimmäisessä ja viimeisessä näytteenotossa oli eri näytteenottajat, näytteenottovälineet ja vesilaboratoriot, jotka saattavat vaikuttaa myös osaltaan tuloksiin.

Perusmuuttujien vertailussa nähdään, että kiintoainepitoisuus pienenee kaikkien valuma-alueiden osalta tarkastelujakson aikana. Toisaalta on myös huomioitava, että tulevan huleveden kiintoainepitoisuus (7,0 mg/l) on keskimääräisesti matalampi kuin biosuodatusalueista poistuvan huleveden kiintoainepitoisuus (0,617–420 mg/l). Vastavalmistuneet biosuodatusalueet siis lisäävät huleveten kiintoainepitoisuutta, mutta toisaalta biosuodatusalueiden kiintoainepitoisuus laskee lyhyenkin ajan sisällä. Kiintoainepitoisuuden tavoin myös sähkönsäilykyky laskee tarkkailujakson aikana, sillä monet hiukkas-



maisiet haitta-aineet ovat kiinnittyneenä kiintoaineeseen. Sameudessa on puolestaan suurta hajontaa (0,79–230 FNU), mutta taulukon 27 perusteella voidaan todeta yleisesti, sameus laskee tarkkailujakson aikana. Biosuodatusalueet näyttävät pienentävän tulevan huleveden pH:ta (9,0) valuma-alueesta ja ajasta riippumatta (7,5–8,1).

Ravinnepitoisuuksien vertailussa (taulukko 27) tulevan huleveden (HV1) kokonaistypipitoisuus (1750 mg/l) oli huomattavasti matalampi kuin VA1:n (10 000 mg/l) ja VA2:n (11 000 mg/l) ensimmäisen mittauskerran jälkeen, mutta toisaalta taas huomattavasti korkeampi kuin VA3:n (200 mg/l) ensimmäisen mittauskerran jälkeen. Vastaa- vasti huomataan, että kokonaistypipitoisuus laski VA1:ssa (1660 mg/l) ja VA2:ssa (1250 mg/l) tarkkailujakson aikana ja VA3:n (630 mg/l) pitoisuus taas nousi, mikä mahdollisesti johtuu hiekkasuodatuksesta. Hiekkasuodatuksessa pitoisuudet ovat luvun 5.1.2.1 mukaan matalia alussa, mutta se ei pysty pidättämään kunnolla ravinteita, jolloin ne huuhtoutuvat ajan kanssa rakenteen läpi. Tulevan huleveden ammoniumtypipitoisuus (37,5 mg/l) on korkeampi kuin valuma-alueisesta lähtevän huleveden ammoniumtypipitoisuus (15–32 mg/l). Biosuodatusalueista lähtevän huleveden nitraattipitoisuuksissa on suuri hajonta (30–11 000 mg/l), joten sen pidättyvyyttä tai kuormittuvuutta on hankala verrata tulevan huleveden nitraattityypipitoisuuteen (1085 mg/l). Samoin tulevan huleveden kokonaisfosforipitoisuutta (34 mg/l) ei ole vertailukelpoinen lähtevän huleveden kokonaisfosforipitoisuuksiin (57,4–1400 mg/l). Suuren hajonnan takia voidaan vain todeta, että yksittäisen näytteenoton perusteella on haastavaa tehdä ajallista vertailua. Lisäksi maaperässä luultavasti tapahtuu myös kasvillisuuden avulla nitrifikaatiota (Kolumainen, 2012), mikä vaikuttaa myös typen suhteisiin ja ajalliseen muutokseen.

Taulukon 27 mukaan suolojen ja raskasmetallien ajallista muutosta on hankala arvioida, sillä lähtevästä hulevedestä on tuloksia vain ensimmäisestä mittauskerrasta (18.10.2013). Valuma-alueiden ensimmäistä mittausta voidaan silti verrata tulevaan huleveteen ja huomata, että suolojen ja raskasmetallien pidättyvyys on vaihtelee. Suoloista kloridia (4–13 mg/l) näyttää pidättyvän tulevasta hulevedestä (4,9 mg/l). Natriumin kohdalla pidättymistä on hankala arvioida, sillä sen hajonta on suurta (14–180 mg/l). Lyijy ja sinkki ovat taas vastaavasti ne raskasmetallit, joita on vähemmän tulevassa hulevedessä kuin lähtevässä hulevedessä. Biosuodatusalueet taas näyttävät lisäävän erityisesti kromia (5,0–27,0 µg/l) lähtevään huleveteen.

Taulukko 27. Tulevan huleveden (HV1) ja valuma-alueiden (VA1–VA3) hulevesinäytteiden vertailu

	HV1	VA1		VA2		VA3		yksikkö
		18.10.2013	20.10.2014	18.10.2013	20.10.2014	18.10.2013	20.10.2014	
TSS	7,0	39	37,1	69	10,12	420	0,617	mg/l
pH	9,0	7,60	7,76	7,50	7,55	8,102	7,732	
Sameus	13,0	58	68,5	94	37,6	230	0,788	FNU
Sähkö.	29,6	35,52	28,02	36,82	28,52	104,02	20,12	mS/m
kok.N	1750	10000,0	1660,0	11000,0	1250,0	200,0	630,0	µg/l
NH <sub>4</sub> -N	37,5	19,0		32,0		15,0		µg/l
NO <sub>3</sub> -N	1085	9800,0	1042,0	11000,0	818,0	30,0	407,0	µg/l
kok.P	34	70,0	151,9	250,0	60,1	1400,0	57,4	µg/l
PO <sub>4</sub> -P	12,5	16,0	67,2	17,0	21,2	320,0	46,3	µg/l
Cl <sup>-</sup>	18,5	11,0		13,00		4,00		mg/l
Na	4,9	14,0		14,0		180,0		mg/l
Cr	0,007	5,0		8,30		27,00		µg/l
Cu	0,7	0,008		0,011		0,051		mg/l
Pb	22	2,2		4,0		5,8		µg/l
Fe	2,07	3,20	7,0	12,00	2,62	6,80	0,02	mg/l
Zn	0,01	0,021		0,036		0,086		mg/l

Kuten Luode Consulting Oy:n jatkuvatoimisen mittauksen perusteella voidaan todeta, että satunnaismittaus saattaa mahdollisesti johtaa virheellisiin johtopäätöksiin. Tästä syystä biosuodatusalueisiin tulevaa hulevettä (HV1) verrattiin valuma-alueiden (VA1–VA3) koko tarkastelujakson mediaaneihin taulukon 28 mukaan. Taulukossa 28 positiivinen merkki kuvaa eri valuma-alueiden kuormittavaa vaikutusta eli valuma-alueen biosuodatusalueet lisäävät kyseisen muuttujan pitoisuuksia ja negatiivinen merkki kuvaa eri valuma-alueiden pidättävää vaikutusta.

Taulukosta 28 nähdään, että koko tarkastelujakson mediaanien perusteella kaikki valuma-alueet laskevat pH:ta sekä pidättävät ammoniumtyyppiä ja kromia. Vastaavasti taas kaikki valuma-alueet lisäävät huleveden kokonaistyyppiä, kokonaisfosforia ja fosfaattifosforia sekä lyijyä. Muiden muuttujien mediaanien kohdalla on hajontaa. Mediaanien kokonaistarkastelun mukaan VA3 antaa parhaan tuloksen ja VA2 sekä VA3 toimivat lähes samalla tavalla. Kuten jo todettu, niin yksi suurimmista eroista VA3:n suhteen on, että siinä suodatinkangas on korvattu siirtymäkerroksella ja valuma-alueessa on suhteessa käytetty eniten hiekkaa (BS6:n hiekkasuodatus).

Taulukko 28. Valuma-alueiden (VA1, VA2 ja VA3) koko tarkastelujakson mediaanien vertaaminen biosuodatusalueille tulevaan huleveteen, jossa positiivinen merkki kuvaa kuormittavaa vaikutusta ja negatiivinen merkki pidättävää vaikutusta

	VA1	VA2	VA3
TSS	+	+	+
pH	-	-	-
Sameus	+	+	-
Sähkö.	+	+	-
kok.N	+	+	-
NH <sub>4</sub> -N	-	-	-
NO <sub>3</sub> -N	+	+	-
kok.P	+	+	+
PO <sub>4</sub> -P	+	+	+
Cl <sup>-</sup>	+	+	-
Na	+	+	-
Cr	-	-	-
Cu	+	-	+
Pb	+	+	+
Fe	+	-	-
Zn	-	+	+

Lähtevästä hulevedestä haluttiin saada todellisempi kokonaiskuva, joten Tikkurilantien koko tarkastelujakson valuma-alueiden (VA1–VA3) mediaaneja verrattiin kappaleessa 2.2. esitettyyn Tukholman hulevesien laatuluokitukseen (Aldheimer & Bennerstedt, 2003; Sänkiaho & Sillanpää, 2012). Kiintoainepitoisuus (25,4 mg/l) on Tukholman raja-arvojen mukaan alhainen, kokonaistyyppipitoisuus (1300,0 µg/l) on kohtuullisen korkea ja kokonaisfosforipitoisuus (85,0 µg/l) on alhainen. Raskasmetalleista kromi (3,2 µg/l), kupari (7,3 µg/l), lyijy (1,0 µg/l) ja sinkki (21,0 µg/l) kuuluvat alhaisen pitoisuuden luokitteluun. Vaikka Tikkurilantien biosuodatusalueet osittain toimivat ensimmäisen vuoden aikana erityisesti ravinteiden kuormituslähteenä, niin tarkastelujakson pitoisuudet ovat olleet alhaisia tai kohtuullisia Tukholman raja-arvojen mukaan ja kannustavat jatkamaan hulevesien luonnonmukaista puhdistamista.

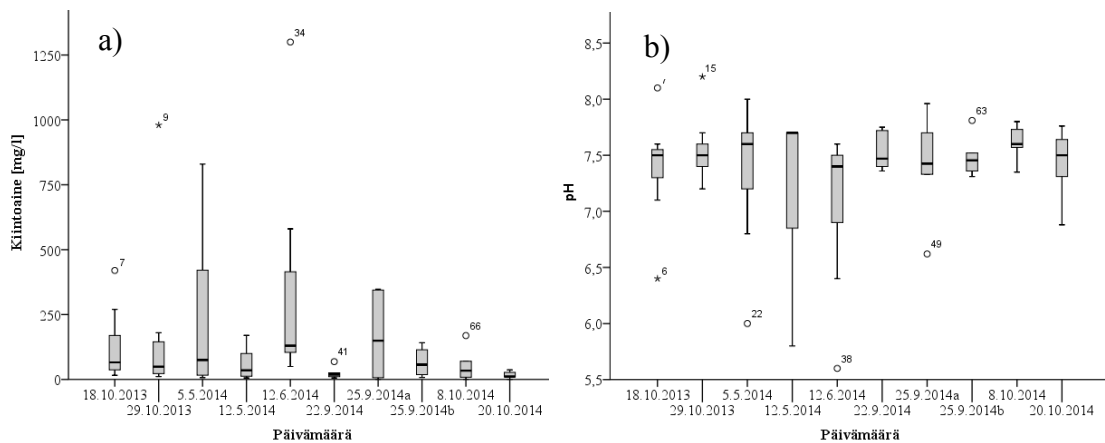
### 5.1.3.2 Biosuodatusalueiden (BS1–BS7) ajallinen muutos

Kuvissa 20–28 on esitetty perusmuuttujien, ravinteiden, suolojen ja raskasmetallien haitta-ainepitoisuudet tarkkailujakson näytteenottopäivinä. Pitoisuudet on esitetty laatikkokuvaajina (boxplot), joissa esitetään mediaanit sekä ala- ja yläneljännekset. Ajallisessa tarkastelussa 5.5.2014 näytteenottopäivän kohdalla on suuri hajonta lähes kaikkien muuttujien osalta (kiintoaine, sameus, sähkönjohtokyky, kokonaistyyppi, nitraattityppi sekä kaikki raskasmetallit). Suuri hajonta voi selittyä sillä, että edeltävät päivät olivat vähäsateisia (3,7 mm) ja näytteenottopäivänä satoi myös vähän vettä (1,9 mm), jolloin katualueelta tulevan huleveden haitta-ainepitoisuudet olivat korkeita.

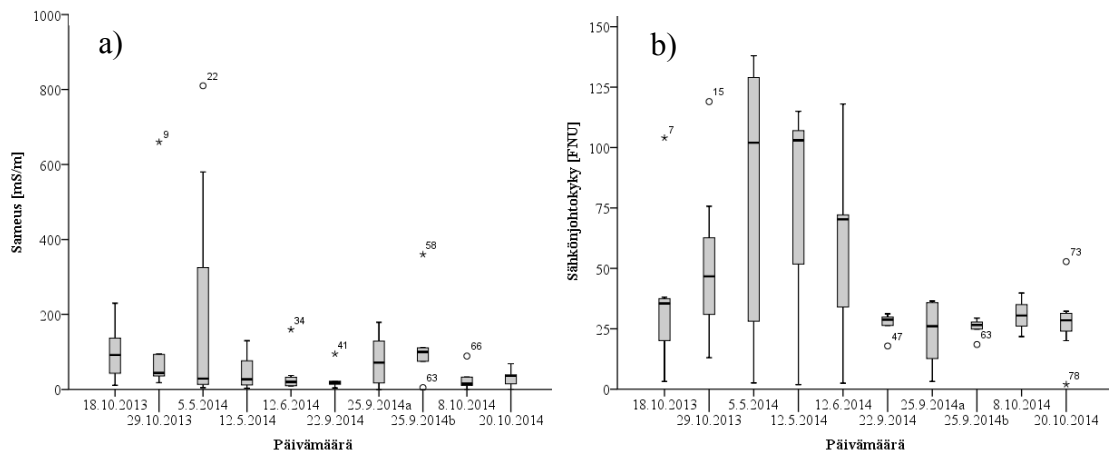
Kuvassa 20 on esitetty kiintoainepitoisuuden (a) ja pH-arvon (b) laatikkokuvaajat. Kiintoainepitoisuuksissa on suurta hajontaa eri näytteenottopäivien välillä, mutta mediaaneissa vaihtelua on huomattavasti vähemmän (kuva 20a). Kirjallisuuteen verratessa heti

rakentamisen jälkeen kiintoainepitoisuudet ovat yllättävän alhaisia (Sillanpää, 2013) ja koko tarkastelujakson aikana mediaanit laskevat vain vähän ja tasoittuvat viimeisten mittausten perusteella alle 50 mg/l. Kiintoainepitoisuus näyttää myös olevan riippumaton sadannan suuruudesta. pH-arvo ei myöskään näytä olevan riippuvainen sadannan suuruudesta eikä vuodenajasta (kuva 20b). Mediaanien perusteella pH –arvo vaikuttaisi olevan hieman matalampi kesällä kuin syksyllä, vaikka hajonta on silti hyvin vähäistä (7–7,6). Syksyllä ja talvella sataa yleensä enemmän sekä ajoradan pinnassa on enemmän haitta-aineita (kiintoaineista, liukkaudenestoainetta), jotka nostavat pH:ta. Vastavasti kesällä taas sataa vähemmän, jolloin hulevesi ehtii olla biosuodatusrakenteessa kauemmin ja maaperä laskea pH-arvoa.

Kuvassa 21 on esitetty sameuden (a) ja sähkönjohtokyvyn (b) laatikkokuvaajat. Verrattessa sameutta (kuva 21a) ja sähkönjohtokykyä (kuva 21b) Luoden Consulting Oy:n jatkuvatoimiseen mittaukseen (liite I), on yllättävää kuinka vähän sadannan suuruus vaikuttaa mediaanien vaihteluun. Sameudessa on suurinta hajontaa näytteenottopäivinä 18.10.2013 (sademäärä 19,8 mm), 5.5.2014 (sademäärä 1,9 mm) sekä 25.9.2014 (sademäärä 12,2 mm) kuvan 21a. Tämä viittaa samaan kuin Luoden Consulting Oy:n mittaukset (liite I), että sameus kasvaa sadetapahtuman suuruuden mukaan. Sähkönjohtokyvyn pitäisi vastaavasti laskea rankkojen sadetapahtumien yhteydessä. Hulevedessä olevien elektrolyyttien määrä vähenee (Airola ym., 2014), jolloin myös sähkönjohtokyvyn pitäisi pienentyä. Kuvan 21b mukaan sähkönjohtokyky näyttää laskevan tarkastelujakson aikana, mikä korreloi hyvin myös pienentyvään kiintoainepitoisuuteen.



Kuva 20. Kiintoainepitoisuuden (a) ja pH-arvon (b) laatikkokuvaajat 18.10.2013–20.10.2014



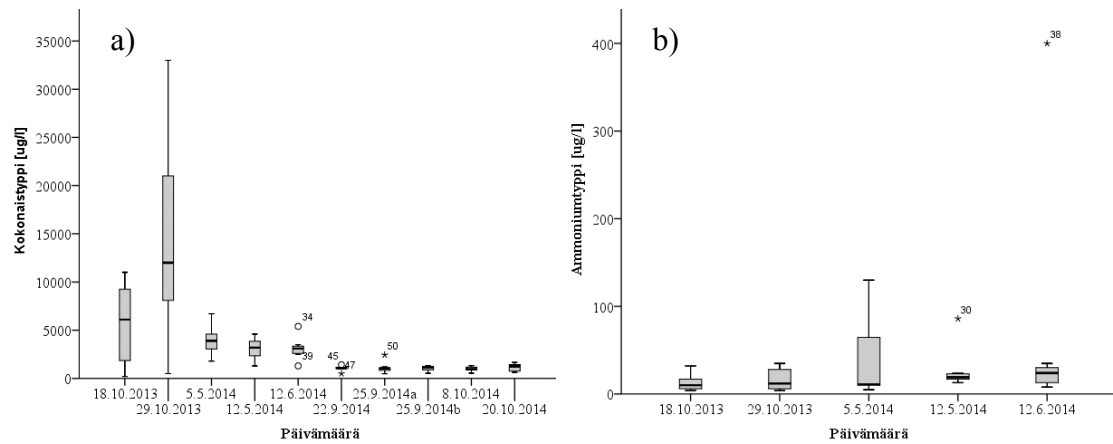
Kuva 21. Sameuden (a) ja sähköjohtokyvyn (b) laatikkokuvaajat 18.10.2013–20.10.2014

Kuvassa 22 on esitetty kokonaistypen (a) ja ammoniumtypen (b) laatikkokuvaajat. Kokonaistyyppipitoisuus on oletetusti hyvin korkea ja hajonta on suurta ensimmäisien näytteenottojen aikana (kuva 22a). Kuten maanäytteet havainnollistivat, niin vastarakennettujen biosuodatusalueiden eloperäisessä kasvualustassa on suuria määriä tyyppiä ja Tikkurilantien vielä käynnissä olevien rakennustöiden yhteydessä maaperästä vapautuu tyyppiä (Sillanpää, 2013). Ajan myötä kasvit käyttävät kasvualustan vapaata tyyppiä tai ravinteet huuhtoutuvat rakenteen läpi lähtevän huleveden mukana niin kuin kuva 22a osoittaa. Kokonaistyyppipitoisuudet ovat viimeisten mittauksen aikana tasoittuneet vaihtelevasti tasolle 1000  $\mu\text{g/l}$ . Ammoniumtypen tarkastelujakso on lyhempi (kuva 22b) kuin kokonaistypen, mutta ammoniumtypen mediaanit ovat lähes samanlaiset kaikkien viiden näytteenoton kanssa. Yleisesti hajontaa ja suuria poikkeamia ammoniumtyypipitoisuuksissa voi aiheuttaa biosuodatusalueiden ulkoiset tekijät, kuten eläinten urea.

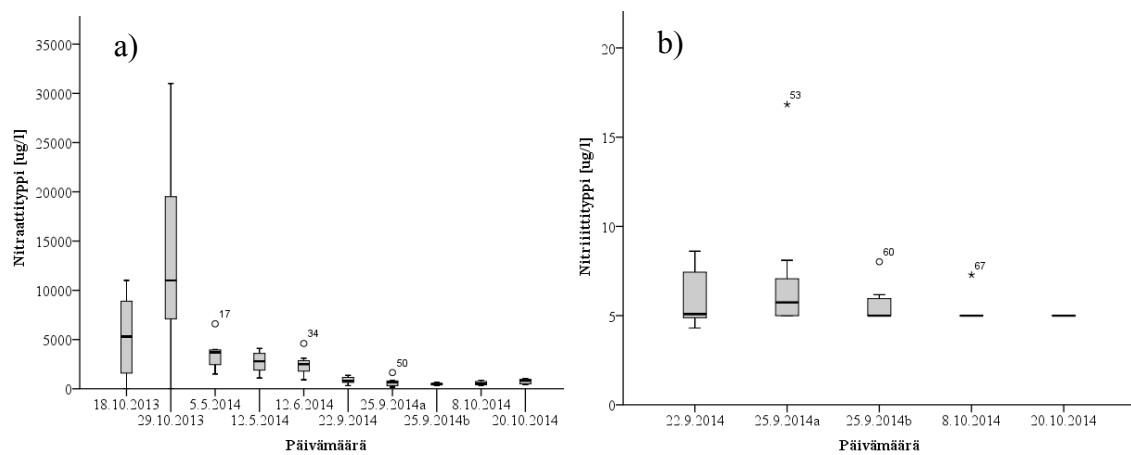
Kuvassa 23 on esitetty nitraattitypen (a) ja nitriittitypen (b) laatikkokuvaajat. Nitraattipitoisuus on heti rakenteiden valmistumisen jälkeen korkea, mutta laskee kokonaistypen tavoin (kuva 23a) ajan kanssa, ja näyttää tasoittuvan tasolle noin 600  $\mu\text{g/l}$ . Nitriittipitoisuus on hyvin samanlaista niin eri biosuodatusalueiden välillä kuin eri näytteenottopäivien suhteen (kuva 23b). Nitriittityypipitoisuuden muutos on muutenkin hankala arvioida, sillä suuri on liukoisesta nitriittitypestä on nitraattityypeä. Nitraatti- ja nitriittipitoisuudet näyttävät heti rakenteiden valmistuttua reagoivan enemmän ajalliseen muutokseen kuin sadetapahtuman suuruuteen. On myös mahdollista, että stabiloitumattomasta maaperästä voi huuhtoutua nitraattia myös itsestään (Sankiaho & Sillanpää, 2014).

Kuvassa 24 on esitetty kokonaisfosforin (a) ja fosfaattifosforin (b) laatikkokuvaajat. Tulevan huleveden laadussa on jo suurta fosforipitoisuuden vaihtelua (Vahtera, 2014), joten on myös luonnollista, että biosuodatusalueissa on kuvan 24a kaltaista vaihtelua. Kokonaisfosforipitoisuudet eivät noudattele sadantaa, mutta kohonneet kokonaisfosforipitoisuudet noudattelivat kohonneita kiintoainepitoisuuksia (5.5.2014, 12.6.2014 ja 25.9.2014). Tämä on järkevää, sillä suuri osa fosforista on kiinnittyneinä hiukkasiin (Airola ym., 2014). Fosfaattifosfori ei myöskään reagoi sadantaan, mutta hajonta näytti pienenevän ajan kanssa vaikka mediaanit olivatkin melko samoja. Kuten Vahte-

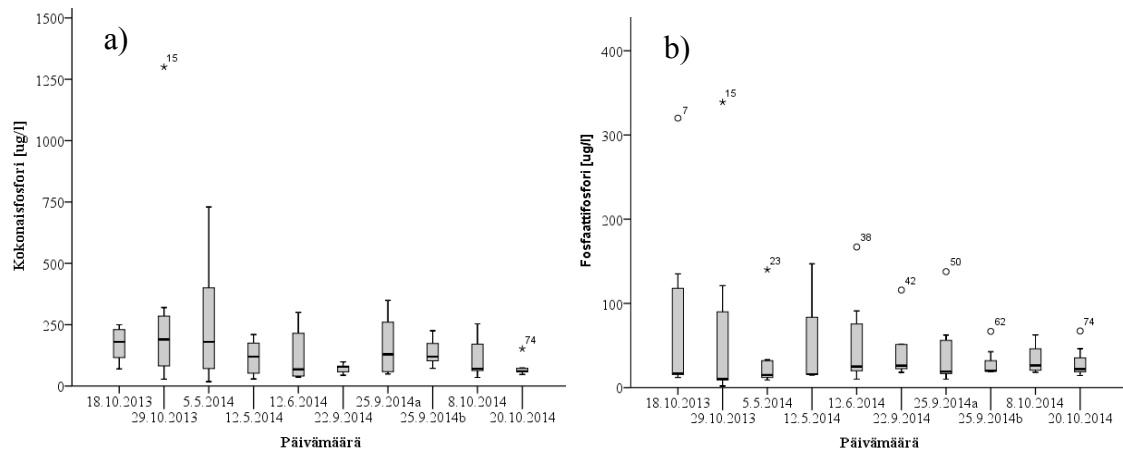
ran (2014) hulevesitutkimuksissa, niin myös biosuodattuneen huleveden kokonaisfosforipitoisuuksista noin puolet on liuennutta fosfaattifosforia.



Kuva 22. Kokonaistyyppipitoisuuksien (a) laatikkokuvaaja 18.10.2013–20.10.2014 ja ammoniumtyyppipitoisuuksien (b) laatikkokuvaaja 22.9.2014–20.10.2014



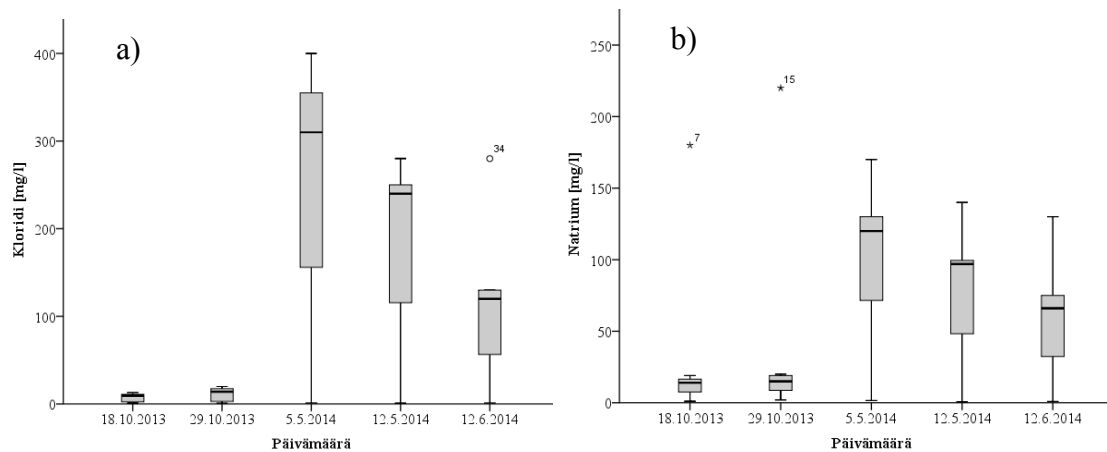
Kuva 23. Nitraattityppipitoisuuksien (a) laatikkokuvaaja 18.10.2013–20.10.2014 ja nitriittityppipitoisuuksien (b) laatikkokuvaaja 22.9.2014–20.10.2014



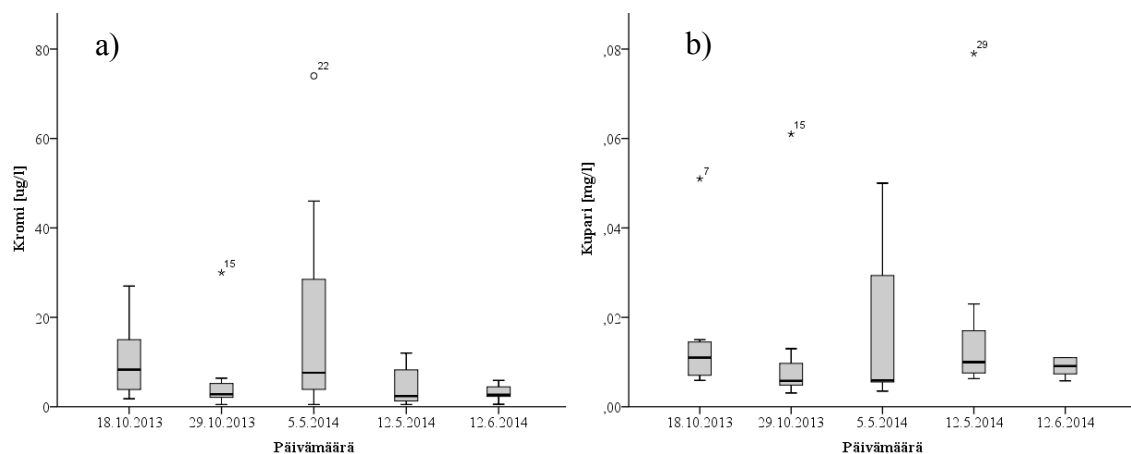
Kuva 24. Kokonais- (a) ja fosfaattifosforipitoisuuksien (b) laatikkokuvaajat 18.10.2013–20.10.2014

Tutkitut suolat ja raskasmetallit on esitetty kuvissa 25–28. Kirjallisuuden mukaan vastavalmistuneet biosuodatusrakenteet pidättivät hyvin kuparia ja sinkkiä eikä pidättyvyydellä näytänyt olevan merkittävää eri vuoden aikojen välillä (Sänkiaho & Sillanpää, 2014). Kloridi (kuva 25a) ja natrium (kuva 25a) näyttävät reagoivan samalla tavalla vuodenaikaan (syksyllä matalammat ja keväällä korkeammat pitoisuudet). Alkukevästä katualueiden hulevedet saattavat olla likaisimpia, sillä silloin kaduilla suoritetaan hiekoituksen poistoa, joihin voi olla sitoutuneena myös suoloja raskasmetalleja. Pitkällä aikavälillä kirjallisuuden (Prince George's County, 2007) perusteella biosuodatuksen avulla on silti saatu erittäin hyviä reduktioita eri raskasmetalleille.

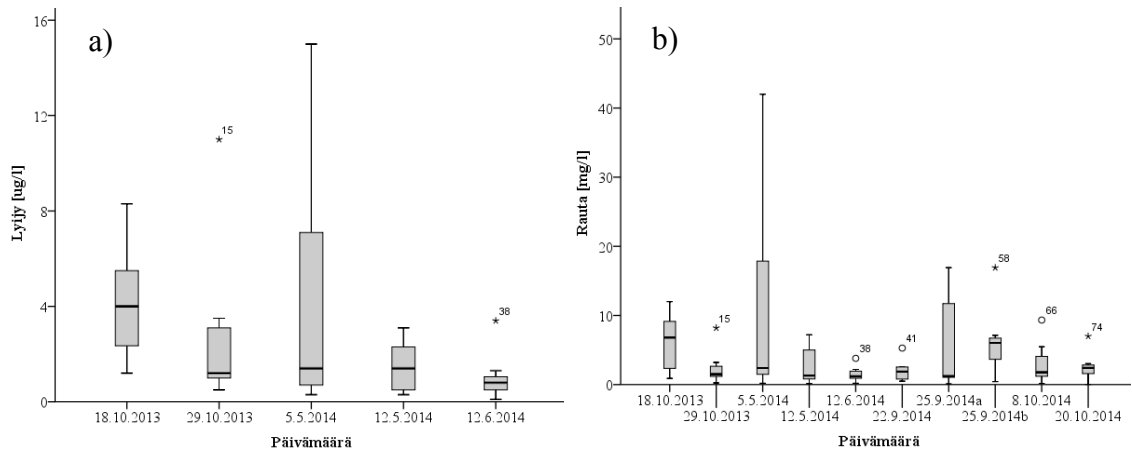
Read ym. (2007) mukaan kasvillisuudella ei ole suurta vaikutusta raskasmetallien poistoon, joten silloin kasvillisuuden kasvukaudellakaan ei pitäisi olla suurta merkitystä. Raskasmetallit eivät myöskään näytä reagoivan sääolosuhteisiin vaan hajontaa näyttää olevan riippumatta sadannan suuruudesta. Hajonnan puolesta kloridi ja natrium näyttävät reagoivan samalla tavalla.



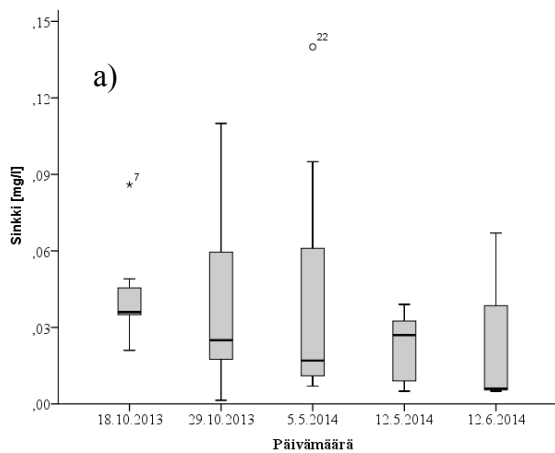
Kuva 25. Kloridi- (a) ja natriumpitoisuuksien (b) laatikkokuvaajat 18.10.2013–12.6.2014



Kuva 26. Kromi- (a) ja kuparipitoisuuksien (b) laatikkokuvaajat 18.10.2013–12.6.2014



Kuva 27. Lyijypitoisuuden (a) laatikkokuvaaja 18.10.2012–12.6.2014 ja rautapitoisuuden (b) laatikkokuvaaja 18.10.2013–20.10.2014



Kuva 28. Sinkkipitoisuuden (a) laatikkokuvaaja 18.10.2013–12.6.2014

#### 5.1.4 Näytteenottoajankohdan tärkeys

Liitteessä I esitetyn Luode Consulting Oy:n ylivuotokaivon BS3 ja salaojakaivon BS5 jatkuvatoimisen mittauksen perusteella voidaan tehdä yleistyksiä biosuodatusalueiden toiminnasta. Mittauksista (liite Ia) kävi selkeästi ilmi, että biosuodatusalueet tasaavat huleveden lämpötilaa rakenteessa. Salaojakaivoon BS5 tuleva hulevesi oli melko tasalämpöistä ja vastaavasti ylivuotokaivon BS3 lämpötila vaihteli, koska kaivoon pääsi suoraan sadevettä sekä kadun ja biosuodatusalueen ylivuotovesiä. Pinnankorkeuden muutoksen (liite Ib) perusteella voidaan todeta, että biosuodatusalueet suodattavat suurimman osan hulevedestä nopeasti läpi hyvin pian sadetapahtumasta (muutama tunti sadetapahtuman alkamisesta) ja sen jälkeen rakenteista tihkuu vettä kaivoihin tasaisesti usean tunnin ajan, joskus jopa melkein vuorokauden ajan.

Jos tarkastellaan jatkuvatoimista sameuden mittausta (liite Ic), niin biosuodatusalueiden voidaan todeta toimivan hyvin, sillä sameus (erityisesti salaojakaivossa BS5) oli matala sadetapahtumia lukuun ottamatta. Jatkuvatoiminen mittaus toi hyvin esiin sen, että sadetapahtumilla on hulevettä huomattavasti samentava vaikutus (erityisesti ylivuotokaivossa BS3). Jatkuvatoimisen sähkönjohtokyvyn (liite Id) mittauksen perusteella voidaan



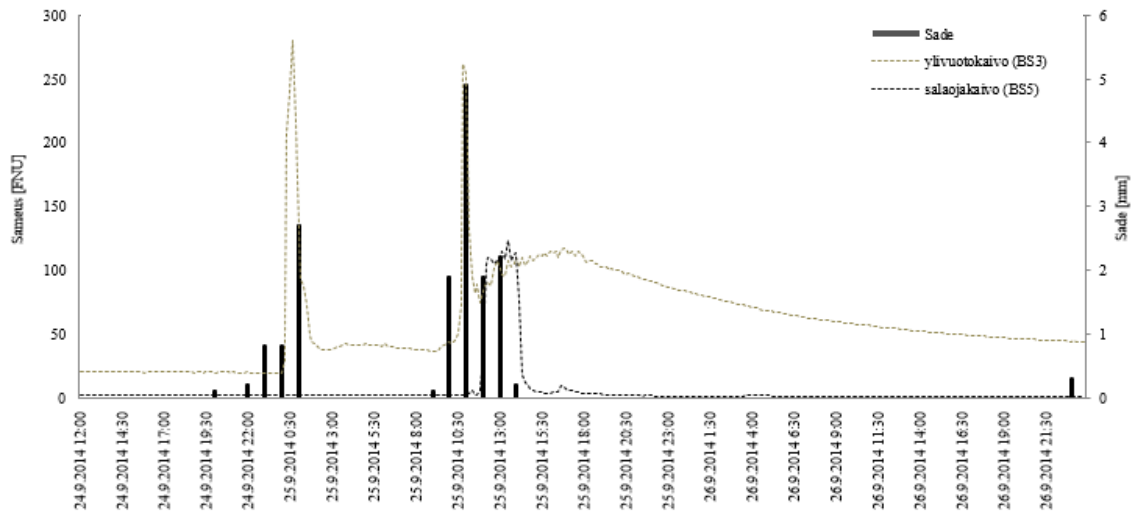
todeta, että vastaavasti sadetapahtumat taas laskivat huleveden sähkönjohtokykyä. Alentuneet arvot johtuvat luultavasti siitä, että muiden haitta-aineiden huleveteen liuenneiden elektrolyyttien määrä vähenee (Vahtera, 2014).

Yleistysten lisäksi haluttiin selvittää, kuinka hyvin tämän työn yhteydessä otetut satunnaisnäytteet korreloivat jatkuvatoimiseen mittaukseen sekä samalla tarkastella näytteenottoajankohdan vaikutusta tuloksiin. Luode Consulting Oy:n jatkuvatoimisesta mittauksesta valittiin syksyn 2014 näytteenottopäivien kanssa mahdollisimman samanhetkinen mittaus. Taulukossa 29 on esitetty jatkuvatoimisen mittauksen (vasemmalla) ja satunnaismittauksen (oikealla) sameuden ja sähkönjohtokyvyn vertailu. Vertailusta nähdään, että mittauksissa on hajontaa, mutta hajonta on prosentuaalisesti melko pientä. Salaojakaivon BS5 sameuden suhteen on silti huomattavaa hajontaa. Mittausvirhe on saattanut tulla laboratorioissa tai sitten mittauslaitteissa on ollut jotain vikaa.

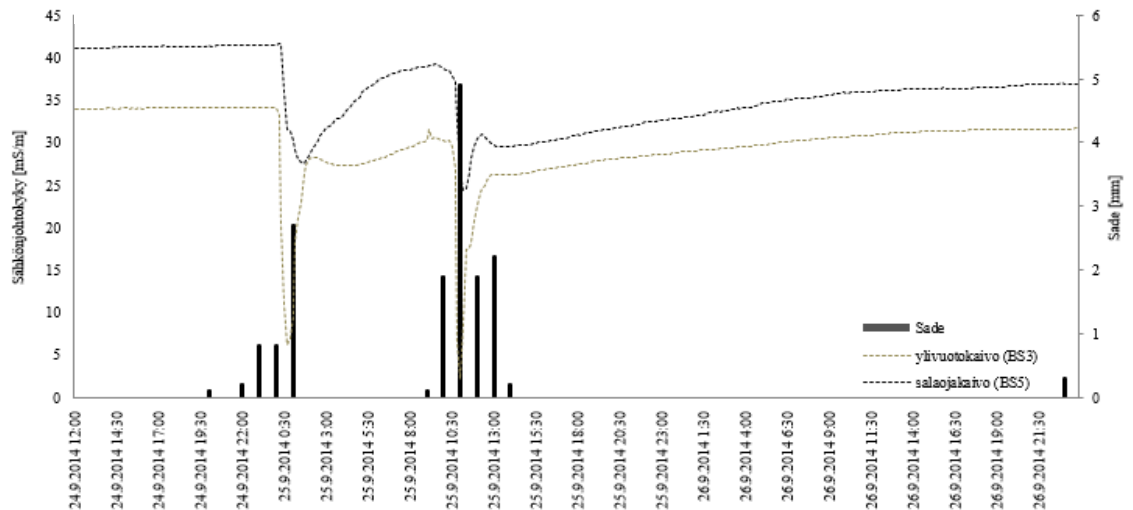
*Taulukko 29. Luode Consulting Oy:n jatkuvatoimisen (vasemmalla) sameuden ja sähkönjohtokyvyn vertailu tämän työn satunnaisnäytteisiin (oikealla)*

	BS3				BS5			
	Sähkönjohtokyky [mS/m]		Sameus [FNU]		Sähkönjohtokyky [mS/m]		Sameus [FNU]	
20.9.2014	37,1	28,8	23,6	21,8	36,5	31,2	1,6	17,8
25.9.2014	26,2	26,2	107,5	104,0	29,7	29,4	12,3	111,0
8.10.2014	32,7	31,8	26,2	19,3	35,3	35	1,7	11,4
22.10.2014	32	28,5	43,9	37,6	35,8	32,3	1,9	40,2

Näytteenottoajan vaikutusta pitoisuuksiin havainnollistettiin kuvissa 29 ja 30, joissa sameutta ja sähkönjohtokykyä tarkasteltiin 25.9.2014 sadetapahtuman yhteydessä. Sameuden nähdään reagoivan heti sadantaan ja nousevan moninkertaisesti sadetapahtuman yhteydessä (kuva 29). Ylivuotokaivon BS3 sameuden minimi oli 19,3 FNU ja maksimi oli 279,9 FNU, joten nousu oli noin 92,6 %. Salaojakaivon BS5 sameuden minimi oli 0,9 FNU ja maksimi 123,5 FNU, joten nousu oli noin 99,3 %. Vastaavasti myös sähkönjohtokyky reagoi sadantaan välittömästi, mutta arvo laskee vähemmän huomattavasti (kuva 30). Ylivuotokaivon BS3 sähkönjohtokyvyn minimi oli 19,3 mS/m maksimi oli 279,9 mS/m, joten lasku oli noin 95,6 %. Salaojakaivon BS5 sameuden minimi oli 24,4 mS/m ja maksimi 41,6 mS/m, joten lasku oli noin 41,9 %. Lukemien perusteella voidaan siis todeta, että näytteenoton hetki on erittäin määrittävä pelkkiä pitoisuuksia tarkasteltaessa. Kuormituksen arviointi pelkän satunnaisnäytteen pitoisuuksien perusteella saattaa kuvien 29 ja 30 perusteella antaa harhaanjohtavia tuloksia.



Kuva 29. Jatkuvatoiminen sameuden mittaus ja sadanta kahden vuorokauden ajan (24.–26.9.2014)



Kuva 30. Jatkuvatoiminen sähköjohtokyvyn mittaus ja sadanta kahden vuorokauden ajan (24.–26.9.2014)

### 5.1.5 Hulevesinäytteiden tilastollinen tarkastelu

Taulukossa 30 on esitetty valuma-alueiden (VA1–VA3) ja ominaisuusalueiden (OA1–OA3) keskinäisen vertailun merkitsevyytaso (p-arvo) sekä nollahypoteesin hyväksyminen tai hylkääminen. Valuma-alueiden ja ominaisuusalueiden muuttujien pitouksissa oli keskinäistä hajontaa, mutta molempien tarkastelualueista nollahypoteesi hyväksyttiin kiintoaineen, ammoniumtypen, nitriittitypen, kromin, kuparin, lyijyn ja natriumin kohdalla. Lisäksi valuma-alueiden pH:n, sähköjohtokyvyn ja kokonaisfosforin nollahypoteesit hyväksyttiin sekä ominaisuusalueiden sameuden kokonaistypen, kloorin ja sinkin nollahypoteesit hyväksyttiin.

Valuma-alueiden kohdalla tilastollista poikkeavuutta oli sameuden ( $p=0,019$ ), kokonaistypen ( $p=0,002$ ), nitraattitypen ( $p=0,005$ ), kloridin ( $p=0,009$ ), raudan ( $p=0,022$ ) ja sin-

kin ( $p=0,016$ ), jolloin näiden nollahypoteesit hylättiin ja vaihtoehtoinen hypoteesi otettiin voimaan. Ominaisuusalueiden kohdalla tilastollista poikkeavuutta oli vähemmän kuin valuma-alueiden kohdalla, mutta pH:n ( $p=0,002$ ), sähkönjohtokyvyn ( $p=0,002$ ), kokonaisfosforin ( $p=0,047$ ) ja fosfaattifosforin ( $p=0,015$ ) kohdalla nollahypoteesit silti hylättiin.

*Taulukko 30. Valuma-alueiden ja ominaisuusalueiden hulevesinäytteiden pitoisuuksien keskinäisen vertailun merkitsevyystarkastelu p-arvon avulla*

	Valuma-alue		Ominaisuusalue	
	p-arvo	H <sub>0</sub>	p-arvo	H <sub>0</sub>
TSS	0,1	hyväksytty	0,966	hyväksytty
pH	0,525	hyväksytty	0,002	hylätty
Sameus	0,019	hylätty	0,731	hyväksytty
Sähkö.	0,2	hyväksytty	0,002	hylätty
kok.N	0,002	hylätty	0,584	hyväksytty
NH <sub>4</sub> -N	0,218	hyväksytty	0,532	hyväksytty
NO <sub>3</sub> -N	0,005	hylätty	0,906	hyväksytty
NO <sub>2</sub> -N	0,1	hyväksytty	0,188	hyväksytty
kok.P	0,686	hyväksytty	0,047	hylätty
PO <sub>4</sub> -P	0,001	hylätty	0,015	hylätty
Cl <sup>-</sup>	0,009	hylätty	0,308	hyväksytty
Na	0,826	hyväksytty	0,085	hyväksytty
Cr	0,932	hyväksytty	0,677	hyväksytty
Cu	0,651	hyväksytty	0,563	hyväksytty
Pb	0,866	hyväksytty	0,561	hyväksytty
Fe	0,022	hylätty	0,937	hyväksytty
Zn	0,016	hylätty	0,11	hyväksytty

### Valuma-alueiden ja ominaisuusalueiden ajallinen merkitsevyystarkastelu

Hulevesinäytteiden pitoisuuksien merkitsevyystasoa tarkasteltiin myös ajallisesti taulukossa 31. Ajallisesta vertailusta nähdään, että hulevesinäytteiden pitoisuuksilla on huomattavasti vähemmän hajontaa kuin keskinäisessä vertailussa. Valuma-alueiden merkitsevyystarkastelusta kaikkien muuttujien p-arvot olivat yli 0,05 jolloin myös kaikkien muuttujien nollahypoteesit hyväksyttiin. Ominaisuusalueiden kokonaistypen ( $p=0,005$ ), nitraattitypen ( $p=0,004$ ) ja kloridin ( $p=0,049$ ) nollahypoteesit hylättiin pienen merkitsevyystason takia.

Taulukko 31. Valuma-alueiden ja ominaisuusalueiden hulevesinäytteiden pitoisuuksien ajallisen vertailun merkitsevyytarkastelu p-arvon avulla

	Valuma-alue		Ominaisuusalue	
	p-arvo	H <sub>0</sub>	p-arvo	H <sub>0</sub>
TSS	0,539	hyväksytty	0,429	hyväksytty
pH	0,874	hyväksytty	0,967	hyväksytty
Sameus	0,653	hyväksytty	0,415	hyväksytty
Sähkö.	0,439	hyväksytty	0,892	hyväksytty
kok.N	0,278	hyväksytty	0,005	hylätty
NH <sub>4</sub> -N	0,771	hyväksytty	0,188	hyväksytty
NO <sub>3</sub> -N	0,256	hyväksytty	0,004	hylätty
NO <sub>2</sub> -N	0,93	hyväksytty	0,18	hyväksytty
kok.P	0,944	hyväksytty	0,711	hyväksytty
PO <sub>4</sub> -P	0,976	hyväksytty	0,829	hyväksytty
Cl	0,845	hyväksytty	0,049	hylätty
Na	0,986	hyväksytty	0,131	hyväksytty
Cr	0,347	hyväksytty	0,134	hyväksytty
Cu	0,204	hyväksytty	0,782	hyväksytty
Pb	0,122	hyväksytty	0,482	hyväksytty
Fe	0,779	hyväksytty	0,644	hyväksytty
Zn	0,669	hyväksytty	0,408	hyväksytty

Ominaisuus- ja valuma-alueiden tilastollinen poikkeavuus sameuden ja sähkönjohtokyvyn kohdalla on sopusoinnussa luvussa 5.4.1 esitettyjen perustelujen mukaan. Kirjallisuudessa on myös luvun 2.4.4 perusteella suurta hajontaa erityisesti fosforin suhteen ja sen pidättyminen pientä, joten tilastollinen poikkeavuus selittyy sillä. Biosuodatusalueet ovat vastavalmistuneita ja kuten aikaisemmin todettu, niin se saattavat toimia alussa erityisesti typen päästölähteenä, mikä selittäisi tilastollisen poikkeavuuden. Raskasmetalleista (rautaa lukuun ottamatta) tutkimustuloksia oli vain MetropoliLab Oy:n mittauksissa, joten pienempi otanta saattaa osaltaan selittää tilastollisesti merkittävän hajonnan.

Vertaillessa valuma-alueiden ja ominaisuusalueiden keskinäistä (taulukko 30) ja ajallista (taulukko 31) merkitsevyytarkastelua, voidaan todeta, että biosuodatusalueet käyttäytyvät tilastollisesti melko samalla tavalla. Tarkastelun perusteella voidaan sanoa, että biosuodatusalueet reagoivat sadetapahtumiin tilastollisesti samalla tavalla, mutta koko vuoden tarkastelujaksolla niiden keskinäiset ominaisuudet silti poikkesivat tilastollisesti toisistaan.

Taulukossa 32 on lisäksi tarkasteltu 25.9.2014 sadetapahtuman yhteydessä otettuja kaksoisnäytteitä. Kaksoisnäytteiden tilastollisen tarkastelun perusteella voidaan todeta, että samana päivänä otettujen näytteiden välillä on hajontaa p-arvojen mukaan, mutta otannat eivät tilastollisesti merkittävästi poikkea toisistaan ja valuma-alueen sekä ominaisuusalueen nollahypoteesit jätettiin voimaan.

Taulukko 32. Valuma-alueiden ja ominaisuusalueiden hulevesinäytteiden ajallinen merkitsevyystarkastelu 25.9.2014 sadetapahtuman aikana (otos: kaksi näytettä)

	Valuma-alue		Ominaisuusalue	
	p-arvo	H <sub>0</sub>	p-arvo	H <sub>0</sub>
TSS	0,156	hyväksytty	0,439	hyväksytty
pH	0,368	hyväksytty	0,439	hyväksytty
Sameus	0,102	hyväksytty	1	hyväksytty
Sähkö.	0,156	hyväksytty	1	hyväksytty
kok.N	0,102	hyväksytty	0,123	hyväksytty
NO <sub>3</sub> -N	0,18	hyväksytty	0,18	hyväksytty
NO <sub>2</sub> -N	0,091	hyväksytty	0,123	hyväksytty
kok.P	0,18	hyväksytty	0,651	hyväksytty
PO <sub>4</sub> -P	0,18	hyväksytty	0,156	hyväksytty
Fe	0,102	hyväksytty	0,156	hyväksytty

Tilastollisessa tarkastelussa ei silti otettu kantaa eri biosuodatusalueiden kaivokokoihin tai kaivorakenteisiin. Valuma-alueilla VA2 ja VA3 edustajat ylivuotokaivojen hulevesinäytteitä, joihin pääsee myös sade- ja ylivuotovesiä kadulta ja biosuodatusalueilta. Tilastollisen vertailun avulla haluttiin ennen kaikkea selvittää, kuinka tilastollisesti merkittävää hajontaa eri hulevesinäytteiden välillä on ja merkittävyyden kautta arvioida tulosten luotettavuutta.

### 5.1.6 Valunnan ja kuormituksen arviointi

#### 5.1.6.1 Laskennallinen LID –malli

BS4:n laskennallista LID –mallia muodostettaessa pintakerroksen, rakennekerrosten, varastointitilan ja kuivatusvesimäärän parametreja muutettiin sattumanvaraisesti ja testattiin LID –mallin herkkyyttä eri parametreihin. Testauksessa havaittiin, että LID –mallin toiminta perustuu pääasiassa rakennekerroksien parametrien keskinäisiin suhteisiin ja pintakerroksen, varastointitilan ja kuivatusvesimäärän parametrien valinnalla ei ollut juuri vaikutusta LID –mallin toimintaan. Rakennekerroksessa on lukumäärältään suurin määrä parametreja ja rakennekerros on myös 3 –kertaa paksumpi kuin esimerkiksi varastointitila. Taulukossa 33 on esitetty laskennallisen LID –mallin manuaalissa suositellut parametrit (Rossman, 2010), joihin tämän työn laskennat perustuvat.

Taulukko 33. Laskennallisen LID –mallin manuaalissa suositellut parametrit (Rossman, 2010)

Pintarakenne		Rakennekerrokset		Varastointitila		Kuivatusvesimäärä	
tasanne	150	paksuus	1000	paksuus	250	C	37,43
kasvillisuus	0,18	Φ	0,418	huokoisuus	0,6	kerroin	0,5
Manningin kerroin	0,68	FC	0,153	tihkunta	0,3	offset	20
kaltevuus	0,5	WP	0,08	tukkeutuminen	0		
		K	60,96				
		K slope	10				
		Ψ	134,49				



### 5.1.6.3 Toimivuuden tarkastelu vesitaseen avulla

Valunnan muodostumista ja laskennallisen LID –mallin toimintaa tarkasteltiin 18.10.2013 sadetapahtuman avulla kahdella tavalla. Ensimmäinen tapa oli syöttää SWMM:iin pelkästään 18.10.2013 sadetapahtuma ja ajaa malli sillä. Toinen tapa oli syöttää SWMM:iin koko tarkastelujakson (1.10.2013–1.11.2014) sadejakso, josta erikseen valittiin raportointiin 18.10.2013. Alkuoletus oli, että valunta muodostuisi molemmissa tavoissa samalla tavalla, mutta LID –mallin toiminnassa olisi eroja, sillä LID –mallin oletettiin olevan jo valmiiksi kyllästynyt aikaisemmista sadetapahtumista. Alkuoletuksen mukaan valunta muodostui yhtä suureksi molemmilla tavoilla, mutta myös LID käyttäytyi samoin molemmilla tavoilla. Jos tavan kaksi raportointiaikaa muutettiin kuvan 31 mukaan, niin silloin kuvan 31a mukaan saatiin koko 1.10.2013–19.10.2013 sadanta ja LID käyttäytyi sen mukaan, ja vastaavasti jos raportointiaika muutettiin kuvan 31b mukaiseksi, niin silloin sadanta oli vain 18.–19.10.2013 väliseltä ajalta ja LID käyttäytyi sen mukaisesti. Kuvan 31 havaintojen perusteella mallia on siis hankala saada toimimaan luonnollisella tavalla, jos halutaan tarkastella vain yksittäistä sadetapahtumaa.

*Kuva 31. LID –mallin raportointiajan valitseminen tarkastelujakson alusta näytteenottopäivään 18.10.2013 saakka (a) ja raportointiajan valitseminen vain näytteenottopäivän 18.10.2013 ajan (b)*

Taulukossa 36 on esitetty valunnan muodostuminen Tikkurilantieltä BS4:n kohdalla ja taulukossa 37 on osoitettu BS4:n LID –mallin toiminta näytteenottopäivän 18.10.2013 aikana. Jos (taulukon 36) muodostuvaa vesitasetta tarkastellaan, niin nähdään, että ajoradan ( $4,30 \text{ m}^3$ ) ja kevyen liikenteen väylän ( $4,91 \text{ m}^3$ ) valunta ohjataan pientareille. Pientareille tuleva ja pientareilta ( $0,64 \text{ m}^3$  ja  $0,32 \text{ m}^3$ ) muodostuva valunta ohjataan edelleen biosuodatusalueelle ( $4,82 \text{ m}^3$  ja  $5,17 \text{ m}^3$ ). Biosuodatusalue on oletettu läpäisemättömäksi pinnaksi, ja sille tuleva ( $9,99 \text{ m}^3$ ) ja siltä muodostuva ( $3,86 \text{ m}^3$ ) valunta ohjataan LID –malliin. LID –malli on rakennettu saman kokoiseksi kuin biosuodatusalue.

Taulukko 36. Tikkurilantien valuman tarkastelu BS4:n kohdalla yksittäisen 18.3.2013 sadetapahtuman avulla

Alue	Sadanta	Tuleva valunta	Haihdunta	Imeytyminen	Lähtevä valunta	Yksikkö
Ajorata	4,50	0,00	0,061	0,15	4,30	m <sup>3</sup>
Piennar-ajorata	0,64	4,30	0,008	0,11	4,82	m <sup>3</sup>
Biosuodatus	3,86	9,99	0,070	0,00	0,00	m <sup>3</sup>
Piennar-jalkak,	0,32	4,91	0,004	0,06	5,17	m <sup>3</sup>
Jalkakaytava	5,15	0,00	0,070	0,17	4,91	m <sup>3</sup>

Laskennallisen LID –mallin toiminnan tarkastelusta nähdään (taulukko 37), että LID –malli pystyy pidättämään kaiken siihen tulevan valunnan (13,85 m<sup>3</sup>). Rakenteessa olevan alkuvaraston (15,6 m<sup>3</sup>) suuruus on riippuvainen lakastumisrajasta. Tässä tarkastelussa lakastumisrajaksi asetettiin 0,08 ja tuloksissa alkuvarasto oli 80 mm (neliötä kohden). Vaikka lakastumisrajaa laskettiin huomattavasti (0,02) niin se ei vaikuttanut LID –mallin toimintaan muuta kuin alku- ja loppuvaraston suuruuden osalta. Tavallisesti jos lakastumisraja on pienempi kuin LID –malliin tuleva valunta, niin kasvillisuus ei pysty käyttämään sitä kaikkea ja se purkautuu ulos LID –mallista (Mustonen, 1986). Tässä tapauksessa LID –mallin muut parametrit näyttävät luovan riittävästi varastoitumistilaa eikä huleveden purkautumista tapahdu.

Taulukko 37. Laskennallisen LID –mallin toimivuuden tarkastelu yksittäisen 18.3.2013 sadetapahtuman avulla

Suodatus	Haihdunta	Tihkunta	Pintavalunta	Kuivatus	Alkuvarasto	Loppuvarasto	Yksikkö
13,85	0,07	0,00	0,00	0,00	15,60	29,38	m <sup>3</sup>

#### 5.1.6.4 Sääolosuhteiden merkitys

Haihdunta oli ainut sääolosuhteiden muokattava parametri, johon kasvillisuus ja pintakerroksen materiaali vaikuttivat. Kasvillisuuden (Manningin –kerroin huomioitu) ja satokertoimen ( $K_c$ ) vaikutus haihduntaan on kuvattu taulukossa 38, josta nähdään, että satokertoimella on huomattavasti suurempi vaikutus haihduntaa kuin kasvillisuuspeitteellä, sillä haihdunnan määrä muuttuu vain satokertoimen vaihtuessa. Haihdunta vaihtelee suuresti riippuen satokertoimen valinnasta (0,2  $k_c$  = 60,45 l ja 0,8  $k_c$  = 239,85 l). On siis tärkeää, että satokerroin valitaan oikein kirjallisuuden perusteella vaikka sitä ei voida kalibroida. Myös taulukon 34 mukaan materiaalilla näyttää olevan myös vaikutusta haihduntaan. Vertaillen eri materiaalien vaikutusta pidättyvyyteen, niin huomattiin, että mitä tiiviimpi materiaali on, niin sitä enemmän hulevettä haihtuu.

Taulukko 38. Kasvillisuuden ja satokertoimen ( $K_c$ ) vaikutus haihduntaan sadetapahtuman 18.10.2013 aikana

$K_c$	Kasvillisuus				Yksikkö
	0,1	0,13	0,16	0,19	
0,2	60,45	60,45	60,45	60,45	l
0,4	118,95	118,95	118,95	118,95	l
0,6	179,4	179,4	179,4	179,4	l
0,8	239,85	239,85	239,85	239,85	l



SWMM:n rakennettiin jokaisella tarkasteluajan näytteenottopäivälle oma sadetapahtuma ja malli ajettiin kaikilla sateilla läpi ilman, että alkukosteutta muutettiin. Laskennallinen biosuodatusalue pystyi pidättämään kaiken veden rakennekerroksessa eikä hulevettä purkautunut. Tämän perusteella voidaan todeta, että laskennallisella biosuodatusalueella on hyvä kapasiteetti pidättää tavanomaisia sateita, jotka ovat kestoaltaan lyhyitä ja intensiteetiltään vähäisiä. Luonnossa tilanne on kuitenkin toinen, sillä kuten jo aiemmin todettu, niin maaperässä on jo aina valmiiksi joku alkukosteus. Alkukosteus riippuu siitä, miten hyvin hulevesi suodattuu alempiin tai ympäröiviin maakerroksiin.

Taulukossa 39 on esitetty laskennallisen biosuodatusalueen poistuvan huleveden määrä eri mitoitussateilla. Mitoitussateina käytettiin 15 minuutin, 1 tunnin, 6 tunnin ja 12 tunnin sateita, kun sateen toistuvuus oli 1/2 a, 1/5 a ja 1/10 a. Laskennallinen biosuodatusalue ei tulvinut millään mitoitussateella ja taulukosta 39 nähdään, että mitoitussateen täytyi olla pitkäkestoinen ennen kuin poisvirtaamaa tapahtui.

*Taulukko 39. Mitoitussateiden vaikutus laskennallisen biosuodatusalueen poistuvan huleveden määrään [m<sup>3</sup>]. Mitoitussateina 15 min, 1 h, 6h ja 12 h sateet 1/2 a, 1/5 a ja 1/10 a toistuvuudelle*

Toistuvuus	15 min	1 h	6 h	12h	Yksikkö
1/2 a	0,0	0,0	3,9	8,5	m <sup>3</sup>
1/5 a	0,0	0,0	9,2	13,7	m <sup>3</sup>
1/10 a	0,0	0,4	11,8	18,9	m <sup>3</sup>

#### 5.1.6.5 Maaperän alkukosteuden vaikutus

Taulukossa 40 on esitetty maaperän alkukosteuden (0 %, 5 %, 10 %, 15 % ja 20 %) vaikutus laskennallisen biosuodatusalueen vesitaseeseen, kun sadetapahtumaksi valittiin näytteenottopäivän 18.10.2013 sadetapahtuma. Laskennallinen vesitase toteutuu maaperän eri alkukosteusprosentteilla, mutta taulukosta 40 voidaan havaita, että biosuodatusalueen alkuperäinen varastotilavuus kasvaa maaperän alkukosteuden myötä. Alkuperäinen varastotilavuus on normaalia, sillä maa muodostuu kiinteistä, nestemäisistä ja kaasumaisista osista, joiden suhteen vaihtelevat. Maaperässä tapahtuu jatkuvasti erilaisia fysikaalisia ja kemiallisia prosesseja, jotka vaikuttavat myös vesipitoisuuteen ja veden olomuotojen vaihteluun (Mustonen, 1986).

Mitä enemmän maaperässä on alkuperäistä varastotilavuutta, niin sitä vähemmän se pystyy pidättämään hulevettä ja sitä purkautuu biosuodatusalueesta. Koska mallia ei pystytty kalibroimaan tai validoimaan, niin tarkkaa alkukosteutta ei pystytä määrittämään, vaikka tiedetään, että luonnontilassa oleva maaperä ei ole ikinä täysin kuiva (Mustonen, 1986).

Taulukko 40. Alkukosteuden (0 %, 5 %, 10 %, 15 % ja 20 %) vaikutuksen tarkastelu 18.10.2013 sadetapahtumalla laskennallisen biosuodatusalueen vesitaseeseen

Alkukosteus	0	5 %	10 %	15 %	20 %	Yksikkö
Tuleva	71,04	71,04	71,04	71,04	71,04	m <sup>3</sup>
Haihdunta	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	m <sup>3</sup>
Tihkunta	0,00	10,36	10,90	11,39	11,64	m <sup>3</sup>
Pintavalunta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	m <sup>3</sup>
Lähtevä	0,00	9,24	30,21	51,25	72,54	m <sup>3</sup>
Alkuvarasto	80,00	101,56	123,13	144,69	166,25	m <sup>3</sup>
Loppuvarasto	150,12	152,08	152,13	152,17	152,19	m <sup>3</sup>
<b>Vesitase</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,01</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	m <sup>3</sup>

#### 5.1.6.6 Tarkastelujakson kuormituksen arviointi

BS4:n koko tarkastelujakson (1.10.2013–1.11.2014) tuottamaa haitta-aineiden kuormitusta Vantaanjokeen on arvioitu taulukossa 41. Suuntaa-antavan arvioinnin perusteella havaitaan, että erityisesti kokonaistyyppiä (4,97–5,12 kg/ha/a) vapautuu suuria määriä Vantaanjokeen tarkastelujakson aikana, jossa nitraattitypen osuus on huomattava (4–4,23 kg/ha/a). Nitraattitypen suuri osuus selittyy luultavasti sillä, nitraattityppi on liukoisessa muodossa, kun taas ammoniumtyppi (0,027 kg/ha/a) sitoutuu maahiukkasten pinnalle eikä sen takia huuhtoudu niin helposti. Kloridikuormitus (265,30–273,49 kg/ha/a) ja natriumkuormitus (138,77–143,05 kg/ha/a) olivat hyvin korkeat, mutta saatavat selittyä tien suolauksella. Raskasmetalleista rautakuormitus (5,19–5,35 kg/ha/a) oli myös suuri verrattuna muihin raskasmetalleihin.

Taulukko 41. Kuormitusten arviointi laskennallisella valunta- ja LID –mallien perusteella. Pitoisuudet ovat BS4:n hulevesinäytteiden koko tarkastelujakson (1.10.2013–1.11.2014) mediaaneja

	Pitoisuus	Yksikkö	- 20 %	- 10 %	0 %	10 %	20 %	Yksikkö
TSS	68,0	mg/l	143,05	141,43	140,94	139,80	138,77	kg/ha/a
kok.N	2435,0	µg/l	5,123	5,064	5,047	5,006	4,969	kg/ha/a
NH <sub>4</sub> -N	13,0	µg/l	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	kg/ha/a
NO <sub>3</sub> -N	2009,0	µg/l	4,226	4,178	4,164	4,130	4,004	kg/ha/a
NO <sub>2</sub> -N	5,2	µg/l	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	kg/ha/a
kok.P	60,5	µg/l	0,127	0,126	0,125	0,124	0,124	kg/ha/a
PO <sub>4</sub> -P	18,9	µg/l	0,040	0,039	0,039	0,039	0,038	kg/ha/a
Cl <sup>-</sup>	130,0	mg/l	273,49	270,37	269,44	267,26	265,30	kg/ha/a
Na	68,0	mg/l	143,05	141,43	140,94	139,80	138,77	kg/ha/a
Cr	2,0	µg/l	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	kg/ha/a
Cu	0,011	mg/l	0,023	0,023	0,023	0,023	0,022	kg/ha/a
Pb	1,2	µg/l	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	kg/ha/a
Fe	2,545	mg/l	5,354	5,293	5,275	5,232	5,194	kg/ha/a
Zn	0,017	mg/l	0,036	0,035	0,035	0,035	0,035	kg/ha/a

Jos Suomessa olisi käytössä viralliset kuormitusrajat hulevesille, niin taulukon 41 arvoja voisi alustavasti verrata niihin. Toisaalta kansallisten raja-arvojen asettaminen on pulmallista, sillä hulevesiä vastaanottavat vesistöt voivat olla hyvin herkkiä eri haitta-ainepitoisuudelle. Herkkyys voi riippua vastaanottavan vesistön koosta, josta esimerkkinä ovat rannikkokaupungit, joissa hulevesi mahdollisesti purkautuu mereen. Toisena esimerkkinä ovat sisämaan kaupungit, joissa hulevesi mahdollisesti purkautuu hyvin pieneen sisävesistöön. Toisaalta herkkyys voi riippua vastaanottavan vesistön eliöstöstä,

josta esimerkkinä ovat Vantaanjoen taimenet. Raja-arvojen asettamisen ongelmallisuudesta huolimatta hulevesien käsittelyyn tarvitaan yhtenäisiä hallinnan sääntöjä ja vastaavasti myös sääntöjen tuomia ohjeita niin yksityishenkilöille, kunnille ja konsulttitoimistoille.

Taulukon 41 haitta-ainekuormituksia voidaan silti verrata Järveläisen (2014) laskennallisiin huleveden haitta-ainekuormituksiin (kg/ha/a) katualueelta (KVL < 15 000) ilman mitään huleveden käsittelyä. Järveläisen (2014) tutkimuksen kiintoainekuormitus oli 90–400 kg/ha/a, kokonaistyyppikuormitus oli 1,5–2,7 kg/ha/a, kokonaisfosforikuormitus oli 0,3–0,37 kg/ha/a, kromikuormitus oli 0,007–0,03 kg/ha/a, kuparikuormitus oli 0,04–0,07 kg/ha/a, lyijykuormitus oli 0,01–0,21 kg/ha/a ja sinkkikuormitus oli 0,18–0,27 kg/ha/a. SWMM:n laskennallinen kiintoainekuormitus on (138,77–146,05 kg/ha/a) Järveläisen (2014) tutkimuksen alarajoilla samoin kuin kokonaisfosforikuormitus (0,124–0,127 kg/ha/a) oli huomattavasti matalampi. Vastaavasti taas SWMM:n laskennallinen kokonaistyyppikuormitus (4,949–5,123 kg/ha/a) oli korkeampi kuin Järveläisen (2014) tutkimuksissa, mikä selittyy vastavalmistuneilla rakenteilla. Raskasmetalleista SWMM:n laskennalliset kromikuormitus (0,004 kg/ha/a), kuparikuormitus (0,022–0,023 kg/ha/a) ja lyijykuormitus (0,002–0,003 kg/ha/a) olivat alhaisempia kuin Järveläisen (2014) puhdistamattomien hulevesien raskasmetallikuormitukset, mutta vastaavasti taas sinkkikuormitus (0,035–0,036 kg/ha/a) oli korkeampi.

Vertailun perusteella siis biosuodatusalueet puhdistavat huleveden laatua jo ensimmäisen vuoden aikana, jos toimivuutta tarkastellaan kuormituksen näkökulmasta. Biosuodatusalueet tosin lisäsivät kokonaistyyppikuormitusta, mutta tämä selittyy vastavalmistuneiden rakenteiden eloperäisellä kasvualustalla ja vastaistutetun kasvillisuuden toiminnalla.

## **5.2 Meiramitien biosuodatusalueiden laadullisen teemahaastattelun koonti**

Vantaan kaupungin kuntatekniikan henkilöstöä haastateltiin yksittäisissä teemahaastatteluissa. Eri haastatteluissa nousi esiin samoja asioita biosuodatusalueiden suunnittelusta, rakentamisesta ja kunnossapidosta, joten haastattelut purettiin teemoittain yksittäisten haastatteluiden sijaan. Teemoiksi valittiin Meiramitien biosuodatusalueiden: (1) *suunnittelun lähtökohdat ja vaatimukset*, (2) *suunnitteluvaiheen osapuolet*, (3) *rakentaminen ja valvonta*, (4) *biosuodatusalueiden toimivuus*, (5) *kadunpito* (6) *viheralueyksiön kunnossapito* sekä (7) *yhteenveto ja ehdotuksia tuleviin kohteisiin*. Kaikissa haastatteluissa korostui suunnittelun, rakentamisen ja kunnossapidon kokonaisuus, jossa keskeisenä täytyy olla aktiivinen valvonta.

Haastatteluissa todettiin, että biosuodatusalueiden suunnittelu, rakentaminen, valvonta ja kunnossapito vaativat poikkitieteellistä osaamista sekä ymmärrystä, miten biosuodatusrakenteet toimivat ja etenkin ymmärrystä siitä, mitä biosuodatuksella halutaan saavuttaa. Haastatteluissa ei otettu kantaa yleisiin biosuodatuksen suunnittelu- ja toteutus-

ratkaisuihin vaan keskityttiin Meiramitien onnistumisiin ja ongelmiin. Meiramitien biosuodatusalueet (BS1–BS5) sekä viheralueet (VH1 ja VH2) on esitetty liitteessä F.

### **(1) Suunnittelun lähtökohdat ja vaatimukset**

Meiramitie valikoitui hulevesikohteeksi, koska katu oli pahasti painunut ja kunnallistekniikka uusimisen tarpeessa. Katu päätettiin rakentaa kokonaan uudelleen. Asemakaavassa määritellyssä katutilassa oli riittävästi leveyttä, jolloin välikaistoille mahduttiin sijoittamaan hulevesirakenteita. Vantaan kaupungin kuntatekniikan keskuksen kadunsuunnittelu ehdotti Meiramitietä kohteeksi, sillä hulevesiohjelman jatkotyössä oli esitetty katuhulevesipilottien rakentamista. Samaan aikaan oli myös käynnissä Tikkurilantien urakan valmistelu, jonne tuli pitkiä suodatuspainanteita, joten Meiramitiellä haluttiin kokeilla toisenlaista, rakennetumpaa ratkaisua.

Meiramitien suunnittelu tilattiin konsultilta. Konsultille annettiin tehtäväksi mitoittaa ja suunnitella salaojitetut suodatuspainanteet ja sijoittaa ne katutilaan. Rakenteesta annettiin lähtötiedoksi Tikkurilantien suunnittelun yhteydessä selvitettyjä suodatusmateriaali-, kerrosvahvuus- ja kasvillisuustietoja. Konsultilla oli ajatus rakenteiden toteuttamisesta, mutta hän kuunteli myös hyvin tilaajan toiveita ja otti ne huomioon suunnittelussa. Suunnitteluratkaisuja käytiin läpi suunnittelukokouksissa ja kommentoimalla luonnoksia.

Huleveden johtamistapa välikaistalle oli suunnittelun alkuvaiheessa pohdinnassa ja rakenteiden sijoittuminen kadulle toispuolisesti selvisi vasta työn edetessä. Kokeiltujen ratkaisujen lisäksi mietittiin kitakaivoja, metallisia ritilöitä ja linjakuivatuskouruja, mutta niistä päätettiin luopua kustannus- tai kaivojen tukkeutumissyistä. Hulevettä rakenteeseen johtavan reunakiven aukkoa mietittiin yhdessä konsultin kanssa.

Katutilasta haluttiin viihtyisä, mielenkiintoinen ja helppohoitoinen. Ajoradan ja kevyenliikenteenväylän väliin sijoitettiin useita pieniä hulevesikohteita, joten tulevaisuudessa Meiramitiellä on luontevaa tutkia tarkemmin erilaisten kasvilajien soveltumista hulevesirakenteeseen. Suodatuspainanteiden päälle aurataan talvisin lunta, joten erityisesti kasvillisuuden talviaikainen kestävyys on tärkeä selvittää. Koska Meiramitie on teollisuusaluetta, niin myös lumi saattaa olla tavallista likaisempaa kasvavan raskaan liikenteen takia.

### **(2) Suunnittelunvaiheen osapuolet**

Kuntatasolla onnistuneen biosuodatusalueiden suunnittelun eri osapuoliksi tunnistettiin kaavoitus ja kaupunkisuunnittelu, kadunpito, kadunsuunnittelu, liikennesuunnittelu, ympäristökeskus, vesihuollon yleissuunnittelu ja viheralueyksikkö. Jokaisen osapuolen tehtävä on erilainen ja ilmenee suunnittelun eri vaiheissa sekä vaihtelee suunnittelukohteesta riippuen.

Eri osapuolten kommunikointi tulee olla avointa ja vuoropuhelu vilkasta jo suunnittelun luonnosvaiheessa. Onnistuneeseen ja kestäväan lopputulokseen päästään vain, jos eri osapuolet ymmärtävät biosuodatusalueet poikkitieteellisinä kokonaisuuksina. Haastattelussa korostettiin vuoropuhelun tärkeyttä jo suunnitelmien luonnosvaiheessa. Luonnosvaiheessa suunnittelijan tulee selvittää kadunpidon ja viheralueyksikön kunnossapidon vaatimukset, jolla varmistetaan biosuodatusalueiden tehokas toimivuus myös vuosien päästä. Vastaavasti on tärkeää, että rakentamisessa ymmärretään suunnittelun rakenneratkaisut, jotka takaavat biosuodatuksen toimivuuden. Haastattelussa nostettiin esille myös maisema-arkkitehtien maisemakuvallisten näkemysten tärkeys, jotta biosuodatusalueet palvelevat esteettisesti alueen asukkaita. Kommunikointi eri osapuolten välillä taataan parhaiten muuttamalla kokouskäytäntöjä kaikki osapuolet tavoitettavaksi.

### **(3) Rakentaminen ja valvonta**

Biosuodatusalueiden rakentamisessa ilmeni ongelmia, sillä suunnitteluratkaisut poikkesivat RIL:n ohjeiden tavanomaisesta mukaisesta viherrakentamisesta. Haastattelussa nousi esiin vuoropuhelun tärkeys erityisesti rakentamisen valvonnassa. Työmaalla ilmeneviä ongelmia yritettiin ratkoa suunnittelijan ja Vantaan kaupungin edustajien työmaavierailuilla, jossa biosuodatusalueiden toimintaperiaatetta käytiin läpi urakoitsijan kanssa.

Urakassa oli sovittu, että kadunrakentaja tekee viheralueiden pohjat ja nurmikot, jolloin viherrakentajalle kuului vain kasvillisuuden istuttaminen. Kadunrakentajalla oli vaikeuksia pohjien oikean korkotason kanssa, joka vaikutti suoraan pinnanmuotoiluun ja painanteisiin. Väärään korkotasoon tehtyjen pohjien takia myös puusto istutettiin väärään korkotasoon. Puustoa korjattiin jälkikäteen nostamalla pienimmät puut ylös ja istuttamalla ne uudelleen. Suuremmille puille ei voitu tehdä enää mitään, sillä muuten puiden juuristo olisi vahingoittunut liikaa (kuva 32a). Pohjien väärät korkotasot vaikuttivat myös biosuodatusalueiden painanteisiin. Painanteet rakennettiin liian jyrkiksi ja vastaavasti painanne jäi liian kapeaksi, jolloin vihertyöt eivät olisi olleet mahdollisia viheralueyksikön käyttämällä päältäistuttavilla koneilla. Painanteita muotoiltiin useaan kertaan, jolloin myös kohteen lopullinen luovutus viivästyi.

Meiramitielle aikaisemmin rakennettu kuvan 32b mukainen kunnallistekniikka, kuten maakaasulinja ja mainostaulu, täytyi ottaa huomioon pohjan korkotasossa ja pinnanmuotoilussa. Biosuodatusalueet sidottiin olemassa oleviin korkoihin ja rakenteisiin, joten myös tässä korostui vuoropuhelun tärkeys rakentamisen ja valvonnan välillä sekä ymmärrys biosuodatusalueiden toimintaperiaatteista. Jos väärään korkotason pohjat pääsevät valvonnasta läpi, niin virheet kostautuvat muissa rakennusvaiheissa.



Kuva 32. Viheralueen puustoa (a) ja olemassa oleva kunnallistekniikka (b)

#### (4) Biosuodatusalueiden toimivuus

Heti Meiramitien valmistuttua, biosuodatusalueiden toimivuutta testattiin palolaitoksen avulla kaatamalla biosuodatusalueille vettä. Testauksen yhteydessä arvioitiin, että biosuodatusalueet pidättivät noin puolet tai kaksi kolmasosaa niihin kaadetusta vedestä. Vastavalmistuneeseen ja kyllästymättömään biosuodatusrakenteeseen pidättyy enemmän hulevettä kuin kyllästyneeseen biosuodatusrakenteeseen, joten alkutestauksen pidätyskapasiteetti ei kerro biosuodatusalueiden nykyisestä vedenpidätyskapasiteetista vaan sillä testattiin biosuodatusrakenteen toimivuutta.

Vantaanjoen ja Helsingin Seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n (VHVSY) Hulevesiprojekti tutkii hulevesien laatua asunto-, kaupunki- ja työpaikka-alueilla kahdeksassa eri kohteessa Etelä-Suomessa. Yksi hulevesiprojektin tarkkailukohteista on Meiramitien biosuodatusalueet, joissa hulevesinäytteiden ottamisesta vastaa Vantaan kaupungin vesihuollon yleissuunnittelu. Meiramitieltä tutkitaan biosuodatusalueisiin tulevaa katujen hulevesien laatua sekä kahdesta biosuodatusalueesta poistuvaa hulevettä kokoomanäytteinä. Näytteidenotto aloitettiin loppusyksyllä 2014 ja sitä jatketaan syksyllä 2015. VHVSY julkaisee hulevesiprojektin raportin loppuvuodesta 2015, josta voi lukea tarkemmin Meiramitien biosuodatusalueiden puhdistustuloksista.

Hulevesinäytteitä yritettiin kerätä useita kertoja syksyn 2014 aikana, mutta näytteitä saatiin kerättyä vain kerran loppuvuodesta. Vaikka syksyllä 2014 oli useita sadejaksoja, sateen intensiteetti ei ollut riittävä. Hulevesi joko johtui suoraan hulevesiviemäriin, haihtui kivetyspainanteesta tai pidättyi rakenteisiin. Huleveden ei pitäisi päästä imeytymään katurakenteisiin, sillä koko katualue, kevyenliikenteenväylä mukaan lukien, on pilaristabiloitu kuvan 33 mukaan.





Huleveden ohjautuminen biosuodatusalueisiin kivetyspainanteen kautta on myös vähäistä, sillä kivetyspainanteen laskeutumiskynnys on 5 cm (kuva 35) ja kivetyspainanne kerää suurimman osan hulevedestä. Suurin osa hiekoitushiekasta ja roskista jää myös halutun mukaisesti kivetyspainanteelle, josta ne on helppo siivota harjakoneen avulla. Kevyet roskat, kuten lehdet ja tupakantumpit, kulkeutuvat biosuodatusalueelle huleveden mukana.



*Kuva 35. Kivetyspainanteen laskeutumiskynnys pidättää hulevesiä erittäin tehokkaasti. Samalla roskat kerääntyvät kivetyspainanteelle, mistä ne on helpompi siivota lakaisukoneella.*

## **(5) Kadunpito**

Kadunpidon kunnossapitotehtävät sijoittuvat katualueelle eikä varsinaisille biosuodatusalueille. Haastattelu keskittyi talviaikaisiin kunnossapitotehtäviin ja vielä toistaiseksi on hankala todeta, että poikkeako Meiramitien talviaikainen kunnossapito muista kohteista, sillä talvi 2013–2014 oli kuvan 16 mukaan poikkeuksellisen vähäluminen.

Aurauskalustolla ei tullut ongelmia Meiramitiellä, sillä vähälumisyyden takia reunakivien merkkipaalat pysyivät näkyvillä kuvan 36a mukaan ja auraaminen onnistui hyvin. Erityisesti aukotetun reunakiven kohdalla pohdittiin, miten se kestää aurauksen. Aukotetun reunakiven linja oli rakennettu suoraan, jolloin auran terä ei osunut aukkoihin ja auraaminen sujui ilman häiriöitä. Haastatteluissa tuli esille, että aukotetut reunakivet tuottavat ongelmia, jos aukot pääsevät jäätymään (kuva 36b). Silloin aurauskaluston lisäksi joudutaan työskentelemään miesvoimin, mikä hidastaa työntekoa. Samoin kesäaikaan aukotettujen reunakivien tukkeutuvat helpommin lehdistä ja muusta irtoroskasta





Kuva 36. Aukotettujen reunakivien merkkipaalut (a) sekä jäätynyt aukotettu reunakivi (b) ja kivetyspaikkanne (c) (Jukka Jormola, SYKE)

Haastatteluissa kävi myös ilmi, että kunnossapito tarvitsee riittävän leveän lumitilan, johon lumi voidaan aurata. Meiramtien kevyenliikenteenväylän ja ajoradan väliin jäävät biosuodatusalueet toimivat riittävän leveänä lumitilana, jolloin auraaminen onnistuu niin kevyenliikenteenväylän kuin ajoradan puolilta kuvan 37 mukaan. Tarvittavan lumitilan minimileveys on noin 1 m. Kadunpitoa helpottaa myös se, että Meiramitie on A1-luokan katu, jolloin sen kunnossapidossa käytetään myös suolausta.



Kuva 37. Meiramtien biosuodatusalueet toimivat kadun lumitilana, helmikuussa 2015

Biosuodatusalueet toimivat hyvin kadunpidon kokemusten perusteella myös talviaikaan, mutta Meiramtien ja Niittytien risteyksessä oli ongelmia talviaikaan. Niittytien huleve-

sien on tarkoitus joko valua Niittytien puolella olevaa liuskaa ojaan tai sitten ohjautua Meiramitien ajorataa pitkin biosuodatusalueille. Hulevesi jää seisomaan risteyskohtaan ja aiheuttaa jäätyessään vaarallisen ja jäisen risteyskohdan.

### **(6) Viheralueyksikön kunnossapito**

Meiramitie luovutettiin lopullisesti Vantaan kaupungille syksyllä 2014, jonka jälkeen alkoi urakoitsijan kahden vuoden hoitotakuu. Kaupungin viheralueyksiköllä ei ole vielä varsinaisia hoito- tai kunnossapitokokemuksia, mutta haastatteluissa silti ilmeni, mitä vaatimuksia viheralueyksiköllä on biosuodatusalueiden hoito- ja kunnossapidolle.

Kuten talviaikaan niin myös kesäaikaan Meiramitien ja Niittytien risteys aiheuttaa ongelmia. Rankoilla sateilla Niittytien hulevedet virtaavat suoraan VH2:n läpi ajoradalla ja huleveden voima syö samalla nurmikkoja kuvan 38 mukaisesti. Tämä on luultavasti vain ensimmäisien vuosien ongelma, jonka jälkeen nurmikon juuristo vahvistuu ja pysyy paikoillaan.



*Kuva 38. Huleveden pintavalunnan aiheuttamat vahingot viheralueelle*

Kasvivalinnat vaikuttavat oikeilta ja ne luovat vaihtelevan maisemakuvan Meiramitielle kuvan 40 mukaan. Kasvillisuus valittiin kestäväksi mahdollisimman hyvin vaihtelevia ilmasto-oloja ja ajoittain seisovaa vettä vahvoilla juuriversoilla. Lisäksi biosuodatus- ja viheralueet toimii kadun lumitilana, joten kasvillisuuden on kestävä myös tiesuolaa ja lumen painoa päällään. Kasvillisuuden toimintaa on silti hankala vielä arvioida, sillä biosuodatuksen toiminnasta ei ole vielä tutkimustuloksia.



*Kuva 39. Biosuodatusalueiden kasvillisuus tuo vaihtelevan maisemakuvan Meiramitielle*

Jo nyt on havaittavissa, että kevyenliikenteenväylän ja biosuodatusalueiden väliin kasaantuva hiekoitushiekka aiheuttaa ongelmia. Hiekoitushiekka kasaantuu kevyenliikente-



teenväylän ja biosuodatusalueiden rajakohtaan, jolloin nurmi kasvaa hiekan läpi muodostaen hiekkapaatin. Ajan kanssa hiekkapaatti muodostaa padon, mikä estää huleveden ohjautumisen biosuodatusalueelle. Toisaalta myös hiekoitushiekan poistaminen biosuodatusalueilta koneellisesti keräävällä harjakoneella on haastavaa. Hiekoitushiekan poistaminen biosuodatusalueelta on mahdollista vain 3–4 viikon ajan vuodessa (tavanomaisena vuonna), huhtikuun puolivälistä toukokuun puoliväliin. Vaatimuksena hiekoitushiekan poistamiselle on, että biosuodatusalueet ovat sulia, mutta maa vielä sen verran jäässä, että ne kestävät koneiden painon. Aikataulua vauhdittaa myös se, että nurmenleikkuu alkaa toukokuun puolivälissä, jota ennen hiekoitushiekka on poistettava.

Painanteiden kaltevuudet on myös oltava riittävän loivia, että niitä voidaan kunnossapitaa päältä ajettavalla ruohonleikkurilla. Maksimikaltevuudeksi asetettiin 1:4, jonka ruohonleikkuri pystyy vielä ajamaan. Samoin biosuodatusalueiden on oltava riittävän leveitä ruohonleikkurille. Minimileveytenä voidaan käyttää yhtä metriä. Maksimikaltevuu- den ja minimileveyden lisäksi haastatteluissa korostettiin rakenteiden minimietäisyyttä, joka on vähintään 1 m. Kuvassa 40 näkyy ongelmakohtia, joissa rakenteiden välissä on alle 1 m ja sen takia viheralueyksikön työ hankaloituu.



*Kuva 40. Viheralueyksikön esittämä huomiokohdat kunnossapidossa. Viheralueella olevien rakenteiden ympärillä tulisi olla vähintään metrin työskentelytila, jotta kunnossapito onnistuu ilman erikoiskoneita*

## **(7) Yhteenveto ja ehdotuksia tuleviin kohteisiin**

Haastatteluista tehdessä Meiramitien biosuodatusalueet olivat olleet käytössä vasta vuoden, joten niiden pitkän aikavälin toimivuudesta oli hankala tehdä johtopäätöksiä. Meiramitien suurin haaste oli ajoradan hulevesien kulkeutuminen kivetyspinateelle ja kivetyspinateelta biosuodatusalueelle. Kevyenliikenteenväylän hulevedet ohjautuivat hyvin biosuodatusalueelle ja biosuodatusalue pidatti hulevesiä tehokkaasti. Laadun kannalta olisi tärkeää, että myös ajoradan hulevedet puhdistuisivat biosuodatuksessa eikä ohjautuisi puhdistumattomina hulevesiviemärin kautta vastaanottavaan vesistöön.

Haastatteluiden yhteydessä nousi esiin ajatus, että kevyenliikenteenväylän ja biosuodatusalueen rajakohtaan levitettäisiin noin 20–40 cm levyinen (riippuen käytettävissä olevasta tilasta) ns. sorainen jätkänpolku. Hiekoitushiekka pysähtyisi jätkänpolulle, josta se olisi helpompi tasoittaa tai kerätä talteen pilaamatta nurmea.

Mutkittelevuus kadun vaakageometriassa rikkoisi huleveden suoraviivaista liikettä, jolloin hulevesi mahdollisesti kulkeutuisi paremmin kivetyspainanteelle. Samoin kivetyspainanteen kynnys voisi olla mahdollisesti hieman matalampi (< 50 mm), jolloin hulevesi ohjautuisi nopeammin biosuodatusalueelle ja suodattuisi rakenteiden läpi eikä jäisi seisomaan tai haihtuisi kivetyspainanteelta.

Tulevissa kohteissa nollareunakiven kohdalla voisi kokeilla myös ns. madallettua nollareunakiveä eli tasaus voisi olla -5 mm, jolloin se kompensoisi mahdollisia poikkeamia tai virheitä kivitöissä. Samalla poikkeava rakenne voisi auttaa rakentajaa ja valvojaa ymmärtämään paremmin biosuodatusalueiden toimintaperiaatetta. Asfaltoinnissa on myös tehtävä selväksi, että -5 mm on tarkoituksenmukainen ratkaisu, jotta asfalttia ei laiteta samaan tasoon. Madallettu nollareunakivi saattaisi silti kerätä roskia ja tukkeutua erityisesti syksyisin, mutta suurimman osa vuodesta hulevesi saattaisi kulkeutua helpommin kivetyspainanteelle.

Lisäksi tulevissa kohteissa on hyvä miettiä kadun- ja liikennesuunnitellun kanssa katu-  
jen yksipuoleista kallistusta. Kohteissa kuten Meiramitie, joissa on kadun kaksipuoleinen kallistus, niin vähintään puolet kadun hulevesistä johtuu puhdistamottomina hulevesiviemäroinnin kautta vastaanottavaan vesistöön. Katualueen molemmille puolille rakennettavat biosuodatusalueet saattavat nostaa kokonaiskustannuksia huomattavasti.

Tärkeimmäksi ehdotukseksi haastatteluissa nousi kokouskäytäntöjen muuttaminen kaikkia osapuolia tavoittavaksi ja sitä on jo onnistuneesti lähdetty toteuttamaan Vantaan kaupungin kuntatekniikan keskuksessa. Biosuodatusalueet ovat rakenteena ja toiminnaltaan uutta useimmille osapuolille, joten vuoropuhelun tulee jatkua läpi suunnittelu-, rakentamis-, valvonta- ja kunnossapitoprosessin. On tärkeää, että Meiramitien onnistumiset ja ennen kaikkea haasteet kirjataan ylös, jotta niistä voidaan oppia ja samat virheet voidaan välttää seuraavassa kohteessa.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Työssä tutkittiin kadun vastavalmistuneiden biosuodatusalueiden toimivuutta niin huleveden laadun ja määrän hallinnan suhteen sekä selvitettiin biosuodatusalueiden kunnossapidollisia vaatimuksia. Tarkkailukohteiksi valittiin kaksi Vantaan kaupungin rakennuttamaa biosuodatusaluetta, jotka toimivat samalla tutkimuskohteina SYKE:n HuleGreen –hankkeelle ja VHVSY:n hulevesiprojektille. Biosuodatusalueiden vaikutusta huleveteen tutkittiin hulevesinäytteiden laboratorioanalyysien avulla, tekemällä haastatteluita ja kenttäkäyntejä tarkkailukohteisiin sekä mallintamalla biosuodatusalueita.

### **Tikkurilantien biosuodatusalueiden laadullinen toimivuus**

Tikkurilantien maanäytteiden analyysistä selvisi, että biosuodatusalueiden kasvualustassa (M2) on huomattavasti korkeammat ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet kuin rakenteen suodatinkerroksessa (M3) tai kadulta tulevassa hulevedessä (HV1). Barrett ym. (2013) tutkimukset osoittivat, että kasvualusta ei välttämättä tarvitse orgaanista ainesta kasvillisuuden hyvinvointiin. Orgaaninen aines on yleensä kompostoitunutta ja sisältää luonnostaan tyypeä sekä fosforia (Valtananen ym., 2010), mitkä huuhtoutuvat rakenteen kautta vastaanottavaan vesistöön ellei biosuodatusalue pysty pidättämään niitä. Tämän työn tulosten perusteella kasvualustalle on järkevää etsiä vaihtoehtoisia menetelmiä, etenkin jos hulevesiä vastaanottava vesistö on erittäin herkkä. Biosuodatusalueiden toiminta alkoi kuitenkin tasaantua jo lyhyen tarkkailujakson (18.10.2013–20.10.2014) aikana, joten tämän tutkimuksen tulokset ovat vain suuntaa-antavia. Lisäksi tämän tutkimuksen perusteella pelkällä hiekkasuodatuksella saatiin hyviä pidätystuloksia kiintoaineen, sameuden ja sähköjohtokyvyn osalta, mutta vastaavasti ravinteiden ja raskasmetallien pidättyvyydessä oli heikkoja tuloksia.

Eri valuma-alueiden (VA1, VA2 ja VA3) koko tarkastelujakson hulevesinäytteiden pitoisuuksien mediaaneja verrattiin Tukholman hulevesien laatuluokitukseen (Aldheimer & Bennerstedt, 2003; Sänkiaho & Sillanpää, 2012). Vertailun perusteella biosuodatusalueista lähtevän huleveden kiintoainepitoisuus (25,4 mg/l) kuuluu alhaiseen pitoisuusluokitukseen, ravinteista kokonaistyyppipitoisuus (1300,0 µg/l) kuuluu kohtalaisen korkeaan ja kokonaisfosforipitoisuus (85,0 µg/l) kuuluu alhaiseen pitoisuusluokitukseen. Myös raskasmetalleista kromipitoisuus (3,2 µg/l), kuparipitoisuus (7,3 µg/l), lyijypitoisuus (1,0 µg/l) ja sinkkipitoisuus (21,0 µg/l) kuuluvat alhaiseen pitoisuusluokitukseen. Suuresta hajonnasta huolimatta Vantaanjokeen biosuodatusalueiden kautta kulkeva hulevesi oli jo nyt hyvälaatuista ja tulevien tutkimusten avulla saadaan selville, mille haitta-ainepitoisuustasolle biosuodatusalueen toiminta lopullisesti tasoittuu.

## **Meiramitien biosuodatusalueiden määrällinen toimivuus**

Meiramitiellä ongelmana oli huleveden vähäinen johtuminen biosuodatusalueille. Kevyillä sateilla (<17–20 mm) huomattava määrä hulevedestä valui reunakiveä pitkin suoraan kadun hulevesikaivoon ja tarvittiin usein rankempi sadetapahtuma (>17–20 mm) ennen kuin hulevesi päätyi nollareunakiven yli kivetuspainanteelle. Laskeutumiskynnys (50 mm) keräsi suurimman osan kivetuspainanteelle tulevasta hulevedestä ja loppujen lopuksi ajoradan hulevesistä vain pieni osuus päätyi biosuodatusalueille. Kevyenliikenteenväylän hulevedet johtuivat hyvin biosuodatusalueille ja pidättyivät hyvin rakenteseen.

Haastatteluiden ja kenttäkäyntien perusteella selvisi, että biosuodatusalueiden rakentaminen poikkeaa tavanomaisesta RIL:n asettamista rakennustöidenohjeista erityisesti kivitöiden osalta. Nollareunakiven pieni kaltevuus tai koholla oleminen menisi tavallisessa kivityössä sallittuun poikkeamaan, mutta Meiramitien biosuodatusalueiden kohdalla pienet poikkeamat vaikuttivat ratkaisevasti koko biosuodatusalueen toimintaan ja vaikeuttivat entisestään huleveden kulkeutumista kivetuspainanteelle.

## **Biosuodatusalueiden kunnossapito**

Talvi 2013–2014 oli poikkeuksellisen vähäluminen (Ilmatieteen laitos, 2014), joten kadunpidolla ei ollut vielä varsinaista talvikunnossapitokokemusta biosuodatusalueista. Heidän alustavien havaintojen mukaan Meiramitien ja Tikkurilantien biosuodatusalueet ovat riittävän leveitä toimimaan kadun lumitilana (1 m). Molemmissa tarkkailukohteissa myös ajorata ja kevyenliikenteenväylä oli suunniteltu ja rakennettu onnistuneesti, mikä helpotti talviaurausta. Viheralueyksikön vaatimukset kunnossapidolle koskivat painanteiden riittävän loivaa kallistusta (1:4) ja riittävän leveää painannetta (1 m), jotta viher-työt onnistuvat päältäistuttavalla ruohonleikkurilla. Lisäksi haastatteluissa korostettiin, että ruohonleikkurilla tulee olla esteetön kulku (1 m) joka suuntaan.

Davis ym. (2009) ovat todenneet, että erityisesti biosuodatusalueiden kunnossapidon luonne ja vaikutukset ovat vielä ratkaisematta, mitkä määrittävät pitkäaikaisen toimivuuden ja vaikuttavat elinkaarikustannuksiin. Haastatteluissa kävi vahvasti ilmi, että kunnossapidon näkökulmat täytyy ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa ja ylläpitää avointa keskustelua koko suunnittelu- ja rakennusprosessin ajan. Huolellinen kunnossapidon suunnittelu ja toteutus auttavat biosuodatusaluetta toimimaan tarkoituksenmukaisesti sekä säästävät pitkällä aikavälillä kokonaiskustannuksia.

## **Valunnan mallinnus SWMM –mallinnusohjelmalla**

Huleveden määrän hallintaa tarkasteltiin SWMM –mallinnusohjelman avulla, jossa on erityinen työkalu biosuodatusalueiden (LID) mallintamiseen. Kuten kaikessa mallintamisessa, niin myös LID –mallintamisessa on tärkeää, että malli voidaan kalibroida ja validoida. Tässä työssä selvisi, että LID –mallin kalibroimiseen ja validoimiseen tarvi-

taan lähtötiedot biosuodatusalueen rakennekerrosmateriaaleista ja –paksuudesta, tietoa vallitsevista sääolosuhteista sekä biosuodatusalueesta lähtevän huleveden virtaamatietoja ja useita sadetapahtumia. Riippumattomia sadetapahtumia on oltava riittävästi, jotta aineistoa riittää LID –mallin kalibroimiseen ja validoimiseen.

Työssä havaittiin yksittäisen sadetapahtuman mallintamisen haasteellisuus. SWMM –mallinnusohjelma olettaa, että maaperä on täysin kuiva, jos alkukosteus on 0 % ja toisaalta, jos alkukosteutta nostetaan (5 %, 10 %, 15 % ja 20 %) niin samalle sadetapahtumalle saadaan vaihtelevia virtaamatietoja. Pitkällä tarkasteluvälillä ja useiden sadetapahtumien aikana laskennallinen LID –malli kyllästyy luonnontilaisen maaperän tapaan, jolloin mallista saadaan ulos virtaamatietoja. Toimivan LID –mallin ja hulevesinäytteiden avulla voidaan arvioida biosuodatusalueiden haitta-aineiden kuormittavuutta, etenkin pitkällä tarkastelujaksolla. LID –malli voidaan ajaa läpi useilla mitoitussateilla ja selvittää, miten rankan sadetapahtuman yhteydessä biosuodatusmalli alkaa tulvimaan. SWMM –mallinnusohjelman avulla voidaan mahdollisesti siis säästää rakennemateriaalikustannuksissa, jos selvitetään LID –mallin kyky pidättää hulevettä.

### **Suositukset tuleviin kohteisiin**

Biosuodatusalueiden toiminnan tarkastelussa tulisi keskittyä biosuodatusalueiden koko elinkaareen, jotta kokonaistoimivuuden tarkastelu on realistista. Kokonaistoimivuuden kannalta on tärkeää selvittää, miten biosuodatusalueet käyttäytyvät heti valmistuttuaan, kuinka monta vuotta ne toimivat suunnitellusti ja kuinka pitkän ajan jälkeen puhdistusteho on heikentynyt sen verran, että rakenteet kaipaavat kunnostusta. Pitkäaikaisella tutkimuksella saadaan tarkempaa tietoa biosuodatusalueiden hydraulisesta johtavuudesta sekä todellista tietoa kasvillisuuden selviytymisestä vaihtelevissa sääolosuhteissa.

Barrett ym. (2013) toteavat, että vaikka biosuodatusta on tutkittu paljon, niin suunnitelmien toteutusta ja toiminnallisia ominaisuuksia ei ole dokumentoitu kunnolla. Hän täsmentää, että jopa alalle erikoistuneet tutkijat tunnustavat, että biosuodatuksen toiminnasta on edelleen kysymyksiä, joihin ei ole vielä saatu vastauksia. Biosuodatusalueiden toimivuudesta saadaan paljon tietoa kenttäkäynneillä vaihtelevien sadetapahtumien yhteydessä. Kenttäkäyntien yhteydessä nähdään parhaiten, miten hulevesi johtuu biosuodatusalueille ja lammikoituuko hulevesi biosuodatusalueiden päällä. Biosuodatusalueiden suunnittelussa olisi hyvä keskittyä vähäisten sademäärien (<17–20 mm) hallintaan, sillä vähäinen sade toistuu huomattavasti useammin kuin yksittäinen rankempi sade (>17–20 mm), kuten Sillanpää (2013) toteaa. Vähäisen sateen ensihuuhtouman haitta-ainepitoisuudet ovat myös huomattavasti korkeampia kuin rankkasateen haitta-ainepitoisuudet (Lee ym., 2002).

Tikkurilantielle ja Meiramitielle biosuodatusalueille on rakennettu erilaiset rakennekerrokset sekä käytetty monipuolista ja vaihtelevaa kasvillisuutta. Rakennekerroksien materiaaleja olisi hyvä tutkia muutaman vuoden päästä, jotta nähdään paljonko niihin on sitoutunut haitta-aineita. Tutkimalla systemaattisesti näitä kahta tarkkailukohdetta tule-

vien vuosien aikana, saadaan kattavaa tietoa biosuodatusalueiden haitta-aineiden puhdistustehosta ja kunnossapidosta. Airolan ym. (2014) mukaan Suomessa liikenne, teiden hiekotus ja suolaus lisäävät eniten haitta-aineita hulevesiin, joten etenkin talviaikaisesta toiminnasta tarvitaan lisää tutkimusta. Biosuodatusalueiden hulevesistä olisi hyvä tutkia perusmuuttujien, ravinteiden, suolojen ja raskasmetallien lisäksi myös haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC), polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH), öljyjä, sulfaatteja ja rikin oksideja, sillä ne ovat teiden tyypillisiä haitta-aineita (Jokela, 2006; Valtanen ym. 2010).

Yksittäisten haitta-ainepitoisuuksien sijaan tutkimusta olisi hyvä kohdistaa kuormituksen selvittämiseen EMC –arvojen avulla, jotta saadaan selville koko sadetapahtuman aiheuttama kuormitus eikä vain satunnaisen hetken pitoisuus. Barbosa ym. (2012) toteavat, että budjetti on olennainen osa hulevesitutkimuksia, joka täytyy ottaa huomioon. Budjetin sallimissa rajoissa on hyvä tehdä vähintään jatkuvatoimista virtaamamittausta ja täsmällistä hulevesinäytteiden keräämistä, mutta vielä suositeltavampaa olisi tehdä suoraan laatumittausta. Laatumittauksen olisi hyvä perustua virtaamaperusteiseen näytteenottoon aikaperusteisen sijasta. Ennen mittauksien aloittamista on oltava selkeä kuva siitä, mitä näytteenotolla halutaan selvittää, ja miten se onnistuu parhaiten taloudellisten reunaehto- jen sisällä.

Ilmastonmuutos tulee muuttamaan myös Suomen sääolosuhteita, joten suunnitteluratkaisut ja kunnossapito joutuvat mukautumaan niihin. Helpoiten syntyvän huleveden määrään voidaan vaikuttaa kaavoituksella, jossa jätetään riittävästi hulevettä läpäiseviä viheralueita. Hulevettä läpäiseviä rakennusmateriaaleja on jo kehitetty ja niistä on saatu hyviä tutkimustuloksia (Kling ym., 2015). Ennen kaikkea Suomessa huleveden luonnonmukaisessa käsittelyssä ja biosuodatuksessa on kyse vielä melko uudesta tieteestä, jossa kaivataan lisätutkimusta niin suunnittelusta, toteutuksesta ja kunnossapidosta. Kuten Barbosa ym. (2012) tiivistää, että *vähän tietoa on parempi kuin ei tietoa ollenkaan, mutta vähän luotettavaa tietoa on parempi kuin paljon epäluotettavaa tietoa*. Kaikki dokumentoitu ja julkinen tieto, niin onnistumiset kuin epäonnistumiset, tuovat lisäarvoa vallitsevaan ymmärrykseen biosuodatusalueiden toiminnasta sekä samalla vahvistavat jo nyt hyvää yhteistyötä eri kuntien ja konsulttitoimistojen välillä.



## LÄHDELUETTELO

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56. Rooma: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). ISBN 92-5-104219-5.
- Airola, J., Nurmi, P. & Pellikka, K. 2014. Huleveden laatu Helsingissä. Helsinki: Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 12/2014. 81 s. ISBN 978-952-272-730-5.
- Aldheimer, G. & Bennerstedt, K. 2003. Facilities for treatment of stormwater runoff from highways. *Water Science and Technology* 48(9). s. 113–121
- Alasuutari, P. 2011. Laadullinen tutkimus 2.0. Neljäs painos. Tampere: Osuuskunta Vastapaino. 331 s. ISBN 978-951-768-385-2.
- Barrett, M.E, Limouzin, M. & Lawler, D.F. 2013. Effects of media and plant selection on biofiltration performance. *Journal of Environmental Engineering* 139(9). s. 462–470.
- Barbosa, A.E., Fernandes, L.M. & David, L.M. 2012. Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water Research* 46(20). s. 6787–6898.
- Blecken, G-T., Zinger, Y., Deletic, A., Fletcher, T.D., & Hedström, A. 2010. Laboratory study on stormwater biofiltration: Nutrient and sediment removal in cold temperatures. *Journal of Hydrology* 394(3–4) s. 507–514.
- Blecken, G-T., Marsalek, J. & Vikander, M. 2011. Laboratory study of stormwater biofiltration in low temperatures: Total and dissolved metal removals and fates. *Water, Air, Soil, & Pollution* 219(1–4). s. 303–317.
- Brabec, E., Schulte, S. & Richards, P.L. 2002. Impervious surfaces and water quality: A review of current literature and its implication for watershed planning. *Journal of Planning Literature* 16(4). s. 499–514.
- Bratieres, K., Fletcher, T.D., Deletic, A. & Zinger, Y. 2008. Nutrient and sediment removal by stormwater filters: A large-scale design optimization study. *Water research* 42(14) s. 3930–3940.
- Brown, R.A. & William, F.H. 2012. Improving bioretention/biofiltration performance with restorative maintenance. *Water Science & Technology* 65(2). s. 361–367.

- Burton, G.A. & Pitt, R.E. 2001. Stormwater effects handbook: A toolbox for watershed managers, scientists, and engineers. Florida, USA: CRC Press. 929 s. ISBN 0-87371-924-7.
- Chocat, B., Krebs, P., Marsalek, J., Rauch, W. & Schilling, W. 2001. Urban drainage redefined: from stormwater removal to integrated management. *Water Science and Technology* 43(5). s. 61–68.
- 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* 135(3). s. 109–117.
- Dietz, M.E. 2007. Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. *Water, Air, Soil, & Pollution* 186(1–4). s.351–363.
- Eskola, J. & Suoranta, J., 1998. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Kolmas painos. Jyväskylä: Vastapaino. 268 s. ISBN 951-768-035-X.
- FCG Planeko Oy. 2009. Vantaan pienvesiselvitys. Vantaa: Vantaan kaupungin hankintakeskus/paino. 86 s. ISBN 952-443-282-8.
- Hamari, M. 2013. Tikkurilantien uusi läntinen osuus avataan liikenteelle 4.10. Vantaan kaupunki. Maankäytön, rakentamisen ja ympäristön toimiala. 26.9.2013. [Viitattu 10.11.2014] Saatavissa: [http://www.vantaa.fi/ajankohtaista-arkisto/vantaa\\_fi/101/0/tikkurilantien\\_uusi\\_lantinen\\_osuus\\_avataan\\_liikenteelle\\_4\\_10](http://www.vantaa.fi/ajankohtaista-arkisto/vantaa_fi/101/0/tikkurilantien_uusi_lantinen_osuus_avataan_liikenteelle_4_10)
- Hatt, B.E., Fletcher, T.D. & Deletic, A. 2008. Hydrologic and pollutant removal performance of fine media stormwater filtration systems. *Environmental Science & Technology* 42(7). s. 2535–2541.
- Hsieh, C-H. & Davis, A.P. 2005. Evaluation and optimization of bioretention media for treatment of urban storm water runoff. *Journal of Environmental Engineering* 131(11). s. 1521–1531.
- Hunt, W.F., Jarrett, A.R., Smith, J.T. & Sharkey, L.J. 2006. Evaluating bioretention hydrology and nutrient removal at three field sites in North Carolina. *Journal of irrigation and drainage engineering* 132(6). s. 600–608.
- Ilmatieteen laitos, 2014. Talven 2014–2015 sää [Viitattu 17.11.2014] Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/talvitalanne>
- Ilmatieteen laitos, 2015. Avoin data. [Viitattu 3.2.2015] Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data>

- Isoaho, S. & Valve, M., 1986. Vesikemian perusteet. 2. painos. Helsinki: Kyriikki Oy. 273 s. ISBN 951-672-048-X.
- Jokela, H., 2008. Maanteiden huleveden laatu. Kirjallisuusselvitys. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 81/2008. Helsinki: Tiehallinto. Tiehallinto, 48 s. ISSN 1459-1561.
- Jyrinki, E., 1974. Kysely ja haastattelu tutkimuksessa. Hämeenlinna: Oy Gaudeamus Ab. 160 s. ISBN 951-622-118-X.
- Järveläinen, J. 2014. Land-use based stormwater pollutant load estimation and monitoring system design: Case of Lahti city, Finland. Diplomityö, Aalto-yliopisto. Espoo. 101 s.
- Karttunen, E. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. Vammalan kirjapaino Oy, 2004. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 684 s. ISBN 951-758-438-5
- Kasvio, P. 2013. Hulevesien hallintamenetelmien toimivuus vihreänä infrastruktuurina –HULEGREEN. Suomen Ympäristökeskus. [Viitattu 10.10.2014] Saatavissa: [http://www.syke.fi/fifi/Tutkimus\\_\\_kehittaminen/Tutkimus\\_ja\\_kehittamishankkeet/Hankkeet/Hulevesien\\_hallintamenetelmien\\_toimivuus\\_vihreana\\_infrastruktuurina\\_\\_HULEGREEN](http://www.syke.fi/fifi/Tutkimus__kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Hulevesien_hallintamenetelmien_toimivuus_vihreana_infrastruktuurina__HULEGREEN)
- Keinänen, H. 2013. Pyhtäänkorvenojan valuma-alueen hulevesien ja uoman tulvimisen mallintaminen Keski-Vantaalla. Diplomityö, Aalto-yliopisto. Espoo. 107 s.
- Kling, T., Holt, E., Kivikoski, H., Korkealaakso, J., Kuosa, H., Loimula, K., Niemeläinen, E. & Törnqvist, J. 2015. Vettä läpäisevät päällysteet, Käsikirja suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon. VTT Technology 201. UTIGIVARE – PUBLISHER. 75 s. ISBN 978-951-38-8198
- Komulainen, E. 2011. Hulevesien biosuodatuksen soveltuvuus Suomen ilmasto-oloihin. Diplomityö, Aalto-yliopisto. Espoo. 131.
- Krebs, G., Kokkonen, T., Valtanen, M., Koivusalo, H. & Setälä, H. 2013. A high resolution application of a stormwater management model (SWMM) using genetic parameter optimization. Urban Water Journal 10(6). s. 394–410.
- Krebs, G., Kokkonen, T., Valtanen, M., Setälä, H. & Koivusalo, H. 2014. Spatial resolution considerations for urban hydrological modelling. Journal of Hydrology 512(6). s. 482–487.
- Kuismin, L. 2011. Ilmastonmuutoksen vaikutuksen viemärointiin ja jätevesien käsitteilyyn. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Espoo. 107 s.

- Kuntaliitto, 2012. Hulevesiopus. Helsinki: Suomen kuntaliitto. 298 s. ISBN 978-952-213-896-6.
- Lee, J.H., Bang, K.W., Ketchum, L.H., Choe, J.S. & Yu, M.J. 2002. First flush analysis of urban storm runoff. *Science of the Total Environment* 293(1–3) s.163–175.
- Lee, H., Lau, S-L., Kayhanian, M. & Stenstrom, M.K. 2004. Seasonal first flush phenomenon of urban stormwater discharges. *Water Research* 38(19). s. 4153–4163.
- Liu, J., Sample, D.J., Bell, C., & Guan, Y. 2014. Review and research needs of bioretention used for the treatment of urban stormwater. *Water* 6(4). s. 1069–1099.
- Liu, Wen. Chen, Weiping. Peng, Chi. 2009. Assessing the effectiveness of green infrastructures on urban flooding reduction: A community scale study. *Ecological Modelling* 291(10). s. 6–14.
- Lucas, W.L. & Greenway, M., 2008. Nutrient retention in vegetated and nonvegetated bioretention mesocosms. *Journal of irrigation and drainage engineering* 134(5). s. 613–623.
- Mangangka, I.R., Liu, A., Egodawatta, P. & Goonetilleke, A. 2015. Performance characterization of a stormwater treatment bioretention basin. *Journal of Environmental Management* 150(1). s. 173–178.
- Mellin, I. 2006. Todennäköisyyslaskenta ja tilastotiede: Kaavat. Opetusmateriaali. Aalto-yliopisto.
- Mustonen, S. 1986. Sovellettu hydrologia. Mänttä: Vesiyhdistys r.y. 503 s. ISBN 951-95555-1-X.
- Muthanna, T. M., 2007. Bioretention as a sustainable stormwater management option in cold climates. Norwegian University of Science and Technology, Doctoral Dissertations. NTUNU, 2007:45. 189 s. ISBN 978-82-471-0993-9
- Muthanna, T.M., Viklander, M., Gjesdahl, N. & Thorolfsson, S.V. 2007a. Heavy metal removal in cold climate bioretention. *Water, Air, Soil, & Pollution* 183(1–4). s. 391–402.
- Muthanna, T.M., Viklander, M., Gjesdahl, N. & Thorolfsson, S.V., 2007b. Snowmelt pollutant removal in bioretention areas. *Water research* 41(18). s. 4061–4072.
- Orava, M., Lehikoinen, E., Rimpeläinen, U-M., Semeri, S. & Loukkaanhuhta, U. 2014. Vantaan kaupungin hulevesien hallinnan toimintamalli. Vantaa: Kuntatekniikan keskus. Kuntek. 51 s.

Paus, K.H., Morgan, J., Gulliver, J.S., Leikens, T. & Hozalski, R.M. 2013. Assessment of the hydraulic and toxic metal removal capacities of bioretention cells after 2 to 8 years of service. *Water, Air, Soil, & Pollution* 225(1).

Pitt, R., Clark, S., Parmer, K. & Field, R. 1996. *Groundwater contamination from stormwater infiltration*. USA: Ann Arbor Press, Inc. ISBN 1-57504-015-8. 219 s.

Prince George's County. 2007. *Bioretention manual*. PGC, Maryland, Department of Environmental Resources, Environmental Services Division. 206 s. [Viitattu 11.6.2012] Saatavissa:

[http://www.princegeorgescountymd.gov/Government/AgencyIndex/DER/ESG/Bioreten tion/pdf/Bioreten tion%20Manual\\_2009%20Version.pdf](http://www.princegeorgescountymd.gov/Government/AgencyIndex/DER/ESG/Bioreten tion/pdf/Bioreten tion%20Manual_2009%20Version.pdf)

Pyke, C., Warren, M.P., Johnson, T., LaGro Jr, J., Scharfenberg, J., Groth, P., Freed, R. Schroeer, W. & Main, E. 2011. Assessment of low impact development for managing stormwater with changing precipitation due to climate change. *Landscape and Urban Planning* 103(2). s.166–173.

Pöyry Finland Oy, 2012. *Tikkurilantie välillä Riipiläntie-Katriinantie, ST-urakka*. Työselitys, Tikkurilantien-Riipiläntien vesihuoltolinja. Vantaan kaupunki, Maankäytön ja ympäristön toimiala, kuntatekniikan keskus, katutekniikka. 16 s.

Ramboll Finland. 2011. *Meiramitie*. Työselostus. Vantaan kaupunki, Maankäytön ja ympäristön toimiala, kuntatekniikan keskus, katutekniikka. 30 s.

Read, J., Wevill, T., Fletcher, T. & Deletic, A. 2007. Variation among plants species in pollutant removal from stormwater in biofiltration systems. *Water research* 42(4–5). s. 893–902.

Rodriguez-Hernandez, J., Fernández-Barrera, A.H., Andréas-Valeri, V.C.A., Vega-Zamanillo, A. & Castro-Fresno, D. 2013. Relationship between urban runoff pollutant and catchment characteristics. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 139(10). s. 933–840.

Roehr, D. & Kong, Y., 2010. Runoff reduction effects of green roofs in Vancouver, BC, Kelowna, BC, and Shanghai, P.R. China. *Canadian Water Resources Journal*. Vol. 35(1). s. 53–68.

Roseen, R.M., Ballester, T.P., Houle, J.J., Avellaneda, P.A., Briggs, J., Fowler, G. & Wildey, R. 2009. Seasonal performance variations for stormwater management systems in cold climate conditions. *Journal of Environmental Engineering* 135(3). s.128–137.

Rossmann, L.A. 2010. Storm Water Management Model. User's manual version 5.0. Cincinnati, USA: National risk management research laboratory. Office of research and development. U.S. Environmental protection agency.

Sillanpää, N., 2013. Effects of suburban development on runoff generation and water quality. Aalto University publication series, Doctoral Dissertations 160/2013. Unigrafia Oy, Helsinki 2013. 226 s. ISBN 978-952-60-5373-5.

Sumner, D.M. & Jacobs, J.M. 2004. Utility of Penman-Monteith, Priestly-Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 308(1–4). s.81–104.

Sumner, J. & Allen, P.D. 2013. Spatial accumulation and strength of affiliation of heavy metals in bioretention media. *Journal of Environmental Engineering*. Vol 139:4. S.479-487.

Suomen Astrologinen Seura ry. 2014. Suomen koordinaatit. [Viitattu 3.12.2014] Saatavissa: [http://www.suomenastrologinenseura.fi/mita-auringonmerkin-jalkeen/suomen\\_koordinaatit/](http://www.suomenastrologinenseura.fi/mita-auringonmerkin-jalkeen/suomen_koordinaatit/)

Sänkiäho, L. & Sillanpää, N. 2012. STORMWATER-hankkeen loppuraportti; Taajamien hulevesihaasteiden ratkaisut ja liiketoimintamahdollisuudet. Helsinki: Unigrafia Oy. 64 s. ISBN 978-952-60-4555-9.

Tuomi, J., & Sarajärvi, A., 2009. Laadullinen tutkimus ja sisällysanalyysi. 6. painos. Livonia Print. Kustannusosakeyhtiö Tammi, 2009. 182 s. ISBN 978-951-31-539-4

Trowsdale, S. A. & Simcock, R., 2010. Urban stormwater treatment using bioretention. *Journal of Hydrology* 397(3). s. 167–174.

Vahtera, H. 2014. Hulevesien laatu Hyvinkäällä. Seurantatuloksia vuosilta 2011–2013. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. Raportti 23/2014. 38 s.

Vakkilainen, P., Kotola, J. & Nurminen, J. (toim.). 2006. Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. No 776. Helsinki: Suomen ympäristö. 116 s. ISBN 951-731-319-5 (PDF)

Valtanen, M., Sillanpää, N., Hättinen, N. & Setälä, H. 2010. Hulevesien imeyttäminen ja suodattaminen: haitta-aineet ja menetelmät. STORMWATER-hanke. Kirjallisuusselvitys. 10.10.2010. Helsingin Yliopisto. Ympäristötieteiden laitos. 48 s.

Valtanen, M., Sillanpää, N. & Setälä, H., 2013. Effects of land use intensity on stormwater runoff and its temporal occurrence in cold climates. *Hydrological Processes* 28(4). s. 2639–2650.

Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry (VHVSY). 2014. Vantaanjoen vesistöalue. [Viitattu 4.11,2014] Saatavissa:  
<http://www.vhvsy.fi/content/fi/1/92/Vantaanjoen%20vesist%F6alue.html>

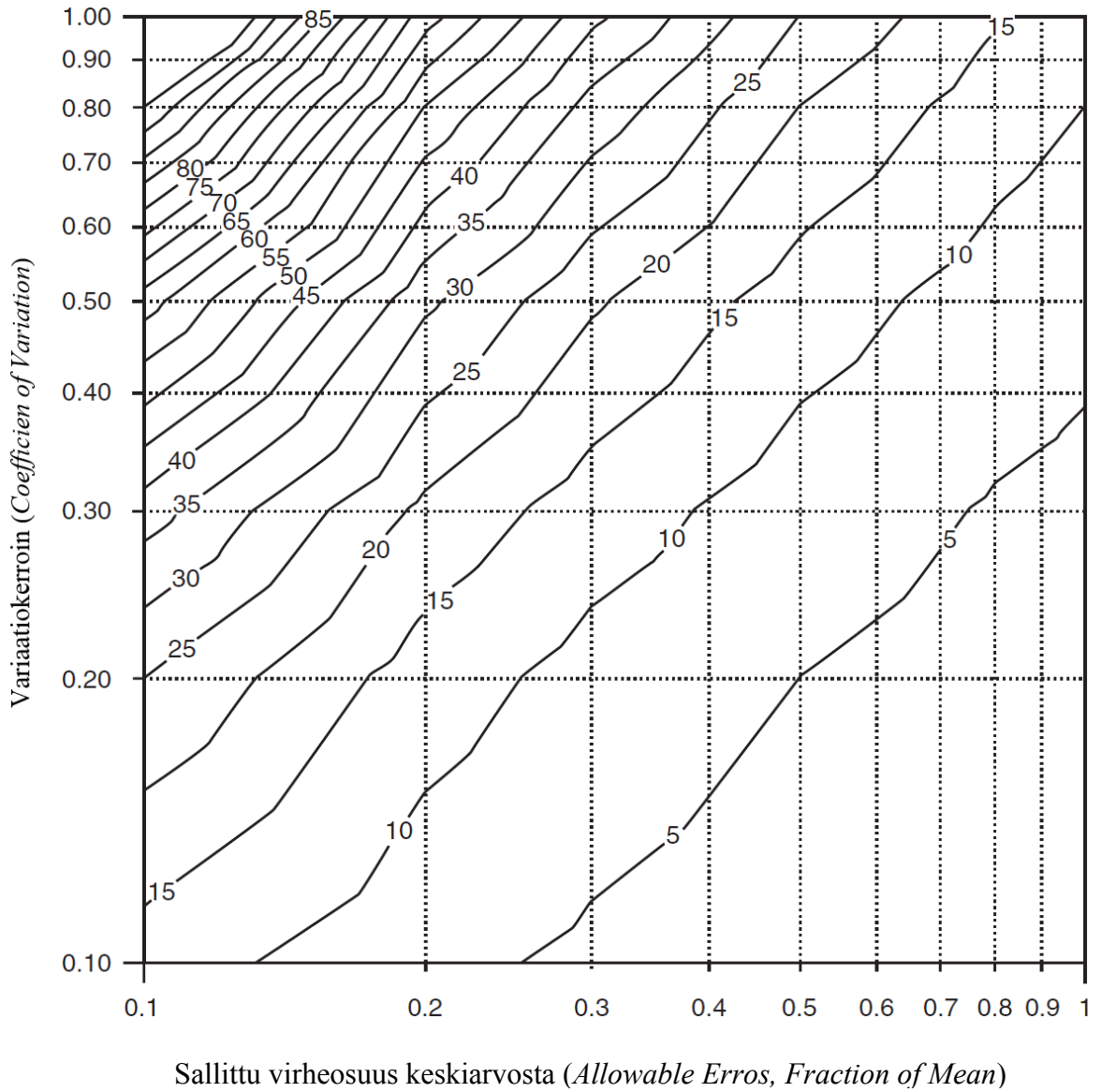
Villarreal, E.L., Semadeni-Davies, A. & Bengtsson, L. 2004. Inner city stormwater control using a combination of best management practices. *Ecological Engineering* 22(4). s. 279–298.

## LIITELUETTELO

- LIITE A: Näytteenottolukumäärän arvioiminen variaatiokertoimen (*VOC*) sekä sallitun virheosuuden avulla (Burton & Pitt, 2001)
- LIITE B: Melbourne Water (2005) rakentamisen aikaisen katselmuksen ja loppukatselmuksen tarkastuslista (Komulainen, 2012)
- LIITE C: Melbourne Water (2005) kunnossapidon tarkastuslista (Komulainen, 2012)
- LIITE D: Tikkurilantien asemapiirustus (WSP Finland Oy, 2012)
- LIITE F: Meiramitien asemapiirustus (Ramboll Finland Oy, 2011)
- LIITE G: Biosuodatusalueiden (BS1–BS7) hulevesinäytteiden keskinäinen vertailu  
Vertailussa esitetty on koko tarkkailujakson mediaanit, minimi ja maksimit
- LIITE H: Biosuodatusalueiden näytteenottopäivien hulevesipitoisuuksien ajallinen vertailu. Vertailussa on esitetty mediaanit, minimi ja maksimit.
- LIITE I: Luode Consulting Oy:n tekemä jatkuvatoiminen lämpötilan, pinnankorkeuden, sameuden ja sähkönjohtokyvyn mittaus ylivuotokaivosta BS3 ja salaojakaivosta BS5.
- LIITE J: Biosuodatusalueiden (BS1–BS7) laatikkokuviot (*boxplot*), joissa osoitettu koko näytteenottojen mediaanit sekä hajonta (ylä- ja alaneljännekset)
- LIITE K: Alkuprosentin (*initially saturated*) vaikutus LID-mallin biosuodatusalueesta poistuvaan virtaamaan (SWMM). Kuvissa (yläoikealta alkaen) alkukosteus on asetettu 5%, 10 %, 15 % ja 20 %.



LIITE A: Näytteenottolukumäärän arvioiminen variaatiokertoimen (*VOC*) sekä sallitun virheosuuden avulla (Burton & Pitt, 2001)



LIITE B: Melbourne Water (2005) rakentamisen aikaisen katselmuksen ja loppukatselmuksen tarkastuslista (Komulainen, 2012)

Tarkastettavat asiat	Tarkistettu		Hyväksytty	Ei hyväksytty
	Kyllä	Ei		
<b>RAKENTAMISEN AIKAINEN KATSELMUS</b>				
<b>Alustavat työt</b>				
1. Eroosion ja sedimentin torjuntasuunnitelma otettu käyttöön				
2. Liikenteen ohjauksen toimenpiteet				
3. Sijainti sama kuin suunnitelmissa				
4. Alueen suojaaminen nykyisiltä virtaamilta				
<b>Maanrakennustyöt</b>				
5. Painanteen pohjan korkeus on oikea				
6. Luiskien kaltevuudet ovat kuten suunnitelmissa				
7. Biosuodattimen mitat kuten suunnitelmissa				
8. Ympäröivä maaperä on varmistettu samaksi kuin suunnitelmissa				
9. Tarve salaojitukselle				
10. Salaojituksen asennus kuten suunnitelmissa				
11. Kuivatuskerroksen materiaali kuten suunnitelmissa				
12. Siirtymäkerroksen materiaali kuten suunnitelmissa				
13. Suodatinkerroksen materiaali kuten suunnitelmissa				
14. Tiivistysmenetelmä kuten suunnitelmissa				
15. Tarkoituksenmukainen pintamaa painanteessa				
<b>Rakennusosat</b>				
16. Kaivantojen sijainnit ja korkeudet kuten suunnitelmissa				
17. Turvallisuus järjestetty				
18. Pohjapatojen sijainnit ja korkeudet kuten suunnitelmissa				
19. Painanteen ylityksien sijainnit ja rakentaminen kuten suunnitelmissa				
20. Putkiläitökset kuten suunnitelmissa				
21. Kaivannon tuenta kuten suunnitelmissa				
22. Tuloaukko asianmukaisesti asennettu				
23. Tuloaukon eroosiosuojaus asennettu				
24. Reunakivet asennettu oikealle korkeudelle				
<b>Kasvillisuus</b>				
25. Maa-aineisten tiivistäminen tehty heti maanrakennustöiden jälkeen				
26. Istuttaminen tehty kuten suunnitelmissa (lajit ja istutusihetydet)				
27. Rikkakasvit poistettu ennen kiinnittämistä				
<b>LOPPUKATSELMUS</b>				
1. Tuloaukkojen ja laskuaukkojen korkeudet varmistettu				
2. Liikenteen ohjaus paikan päällä				
3. Rakennuosien koot varmistettu				
4. Luiskien kaltevuudet tarkistettu				
5. Kasvillisuus kuten suunnitelmissa				
6. Tarkistettu onko maa epätasaisesti painunut				
7. Tuloaukon eroosiosuojauksen toimiminen				
8. Kunnossapidon pääsy järjestetty				
9. Rakentamisesta aiheutuneen sedimentin poisto				

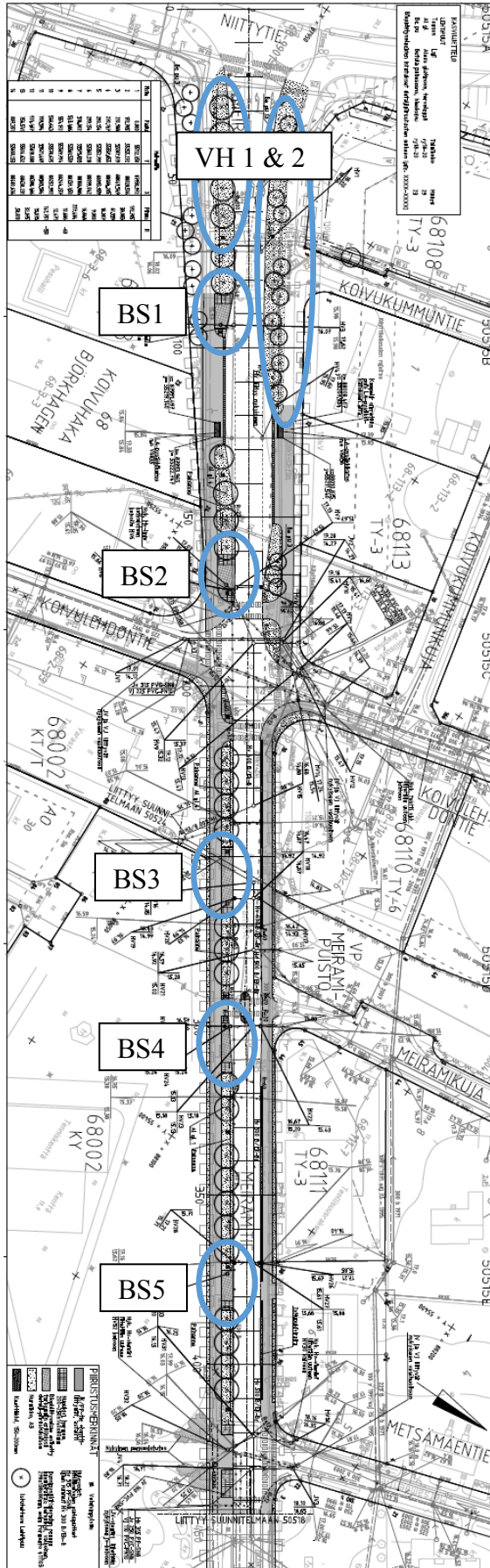
## LIITE C: Melbourne Water (2005) kunnossapidon tarkastuslista (Komulainen, 2012)

Biosuodatusalueen kunnossapidon tarkastuslista			
Tarkastustiheys	3 kk välein	Päivämäärä	
Sijainti:			
Kuvaus:			
Tarkastajan nimi:			
Tarkastettavat kohteet	Kyllä	Ei	Tarvittavat toimenpiteet
Onko sedimentin kerääntymistä tulovirtaamakohdissa?			
Onko roskia painanteessa?			
Onko eroosiota tuloaukoissa tai muissa tärkeissä rakenteissa?			
Onko sattunut liikennevahinkoa?			
Onko viitteitä jätteiden kaadosta (esim. rakennustyömaajätettä)?			
Onko kasvillisuuden kunto riittävä (tiheys, rikkaruohot jne)?			
Tarvitaanko uudelleen istutusta?			
Tarvitaanko niittoa?			
Onko tukkeumaa salaojaputken lähellä (sedimenttiä tai jätteitä)?			
Onko viitteitä lammikoitumisesta?			
Ovatko reunakivet yhä paikoillaan?			
Onko rakenteessa vaurioita tai onko tehty ilkivaltaa?			
Onko rakenteen pinnalla näkyvää tukkeumaa?			
Tarkistettiin salaojitus?			
Onko uudelleenasetus tarpeellinen?			
<b>Kommentteja?</b>			





LIITE F: Meiramtien asemapiirustus (Ramboll Finland Oy, 2011)



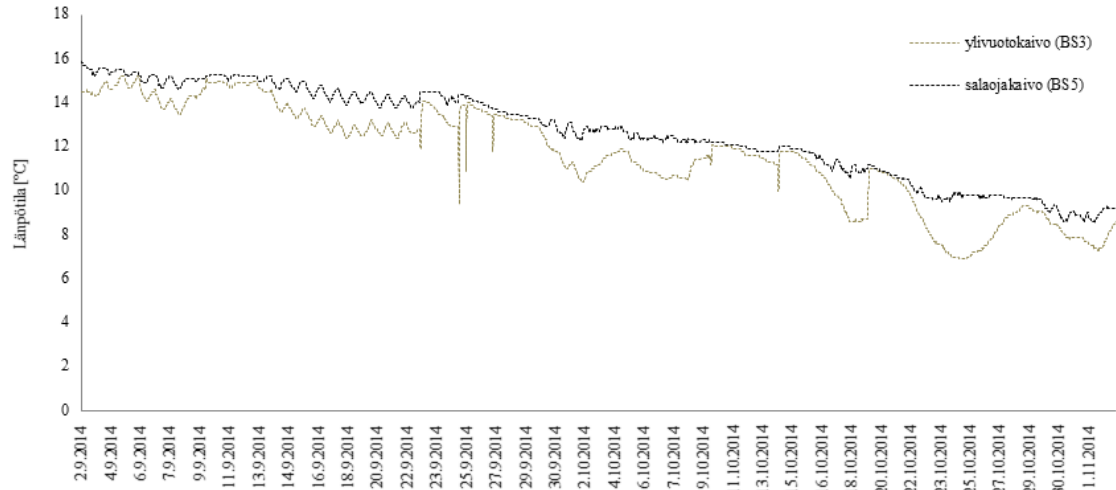
LIITE G: Biosuodatusalueiden (BS1-BS7) hulevesinäytteiden keskinäinen vertailu. Vertailussa esitetty on koko tarkkailujakson mediaanit, minimi ja maksimit

		TSS [mg/l]	pH	Sameus [ENU]	Sähkö. [mS/m]	kok.N [µg/l]	NH <sub>4</sub> -N [µg/l]	NO <sub>3</sub> -N [µg/l]	NO <sub>2</sub> -N [µg/l]	NO <sub>2</sub> -N [µg/l]	kok.P [µg/l]	PO <sub>4</sub> -P [µg/l]	Cl [mg/l]	Cr [µg/l]	Cu [mg/l]	Pb [µg/l]	Na [mg/l]	Fe [mg/l]	Zn [mg/l]
BS1	Mediaani	59.3	7.5	54.1	39.9	2060.0	11.0	1624.8	5.0	78.1	18.0	93.0	4.5	0.009	1.5	82.0	2.570	0.012	
	Minimi	7.0	6.6	4.7	12.7	744.0	7.0	310.3	5.0	18.0	9.0	9.6	2.7	0.005	0.4	19.0	0.720	0.006	
	Maksimi	980.0	8.0	660.0	115.0	12000.0	22.0	11000.0	7.4	320.0	21.2	400.0	16.0	0.015	8.3	170.0	12.170	0.049	
BS2	Mediaani	39.0	7.6	68.5	35.8	3900.0	19.0	2622.5	5.0	152.0	41.5	62.0	3.2	0.007	1.0	43.0	3.200	0.006	
	Minimi	11.0	7.5	16.0	26.1	1190.0	5.0	343.0	4.3	35.0	8.0	11.0	1.5	0.005	0.6	14.0	0.930	0.001	
	Maksimi	1300.0	8.0	360.0	118.0	20000.0	35.0	19000.0	5.0	348.8	137.7	280.0	5.0	0.008	2.2	130.0	16.910	0.021	
BS3	Mediaani	37.4	7.5	31.5	34.6	1775.0	25.0	1409.0	6.0	83.2	17.9	130.0	4.1	0.006	1.4	66.0	2.035	0.018	
	Minimi	6.9	7.4	9.6	26.2	920.0	19.0	423.7	5.0	37.0	10.0	13.0	0.6	0.005	0.1	14.0	0.200	0.005	
	Maksimi	170.0	7.8	120.0	122.0	22000.0	32.0	20000.0	8.6	250.0	29.1	250.0	12.0	0.023	4.0	100.0	12.000	0.036	
BS4	Mediaani	68.0	7.5	64.0	34.3	2435.0	13.0	2009.0	5.2	60.5	18.9	130.0	2.0	0.011	1.2	68.0	2.545	0.017	
	Minimi	6.0	7.3	7.8	3.2	958.0	4.0	165.9	5.0	28.0	2.0	11.0	1.1	0.006	0.4	12.0	0.700	0.005	
	Maksimi	750.0	7.7	580.0	136.0	33000.0	110.0	31000.0	8.1	730.0	31.0	310.0	46.0	0.049	12.0	120.0	29.000	0.095	
BS5	Mediaani	50.4	7.4	34.1	33.7	1605.0	12.0	1281.6	5.0	125.5	22.5	120.0	5.7	0.010	2.2	63.0	2.790	0.032	
	Minimi	11.2	7.1	11.4	5.5	1190.0	10.0	552.8	4.9	49.1	12.0	0.7	0.5	0.003	0.5	2.4	0.250	0.017	
	Maksimi	580.0	7.6	130.0	138.0	10000.0	35.0	8600.0	16.8	260.0	101.0	360.0	12.0	0.079	3.1	130.0	7.200	0.039	
BS6	Mediaani	33.4	6.2	22.5	2.7	1900.0	31.0	1500.0	5.0	210.0	66.8	1.7	5.9	0.011	3.4	1.7	1.420	0.067	
	Minimi	16.0	5.6	2.6	2.0	669.0	5.0	408.0	5.0	70.6	14.4	1.1	1.8	0.006	1.2	1.1	0.840	0.036	
	Maksimi	830.0	7.2	810.0	13.0	6200.0	400.0	5600.0	5.0	540.0	167.0	350.0	74.0	0.050	15.0	130.0	42.000	0.140	
BS7	Mediaani	8.8	7.7	4.5	19.2	542.5	15.0	339.0	5.0	119.2	71.1	1.3	2.6	0.008	0.8	1.6	0.310	0.058	
	Minimi	0.6	6.1	0.1	1.9	200.0	4.0	24.0	5.0	57.4	42.1	1.0	0.5	0.004	0.3	0.6	0.020	0.027	
	Maksimi	420.0	8.2	230.0	119.0	1800.0	130.0	1500.0	5.0	1400.0	339.0	4.1	30.0	0.061	11.0	220.0	8.200	0.110	

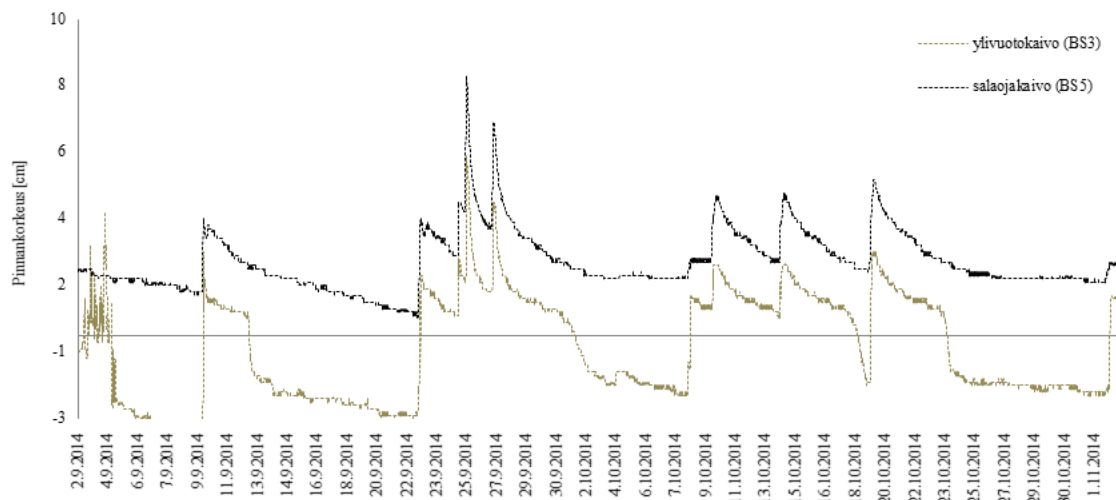
LIITE F: Biosuodatusalueiden näytteenottopäivien hulevesipitoisuuksien ajallinen vertailu. Vertailussa on esitetty mediaanit, minimi ja maksimit.

	TSS [mg/l]	pH	Sameus [ENU]	Sähkö. [mS/m]	kok.N [µg/l]	NH <sub>4</sub> -N [µg/l]	NO <sub>3</sub> -N [µg/l]	NO <sub>2</sub> -N [µg/l]	kok.P [µg/l]	PO <sub>4</sub> -P [µg/l]	Cl [mg/l]	Cr [µg/l]	Cu [mg/l]	Pb [µg/l]	Na [mg/l]	Fe [mg/l]	Zn [mg/l]
18.10. 2013	Mediaani 66.0 Minimi 16.0 Maksimi 420.0	7.5 6.4 8.1	92.0 11.0 230.0	35.5 3.2 104.0	6100.0 200.0 11000.0	10.0 4.0 32.0	5300.0 30.0 11000.0		180.0 70.0 1400.0	17.0 12.0 320.0	9.6 0.8 13.0	8.3 1.8 27.0	0.011 0.006 0.051	4.0 1.2 8.3	14.0 1.1 180.0	6.80 0.90 12.00	0.036 0.021 0.086
29.10. 2013	Mediaani 11.0 Minimi 980.0	7.5 7.2 8.2	44.0 18.0 660.0	46.7 13.0 119.0	12000.0 500.0 33000.0	12.0 4.0 35.0	11000.0 24.0 31000.0		190.0 28.0 1300.0	10.0 2.0 339.0	14.0 0.7 20.0	2.8 0.5 30.0	0.006 0.003 0.061	1.2 0.5 11.0	15.0 2.0 220.0	1.50 0.25 8.20	0.025 0.001 0.110
5.5. 2014	Mediaani 7.0 Minimi 830.0	7.6 6.0 8.0	29.0 4.7 810.0	102.0 2.6 138.0	3900.0 1800.0 6700.0	11.0 5.0 130.0	3700.0 1500.0 6600.0		180.0 18.0 730.0	15.0 9.0 140.0	310.0 1.3 400.0	7.6 0.5 74.0	0.006 0.004 0.050	1.4 0.3 15.0	120.0 1.6 170.0	2.40 0.20 42.00	0.017 0.007 0.140
12.5. 2014	Mediaani 6.0 Minimi 170.0	7.7 5.8 7.7	27.0 3.6 130.0	103.0 1.9 115.0	3200.0 1300.0 4600.0	19.0 13.0 86.0	2800.0 1100.0 4100.0		120.0 29.0 210.0	16.0 15.0 147.0	240.0 1.0 280.0	2.4 0.5 12.0	0.010 0.006 0.079	1.4 0.3 3.1	97.0 0.6 140.0	1.30 0.13 7.20	0.027 0.005 0.039
12.6. 2014	Mediaani 50.0 Minimi 1300.0	7.4 5.6 7.6	20.0 9.6 160.0	70.3 2.5 118.0	3100.0 1300.0 5400.0	24.0 8.0 400.0	2500.0 920.0 4600.0		68.0 37.0 300.0	25.0 10.0 167.0	120.0 1.3 280.0	2.7 0.6 5.9	0.009 0.006 0.011	0.8 0.1 3.4	66.0 0.9 130.0	1.20 0.20 3.80	0.006 0.005 0.067
22.9. 2014	Mediaani 6.0 Minimi 68.7	7.5 7.4 7.8	17.8 4.2 94.8	28.8 17.9 31.2	1080.0 499.0 1420.0	800.1 323.0 1372.7	5.1 4.3 8.6		78.5 43.9 98.8	26.0 18.1 115.8						1.87 0.50 5.28	
25a.10. 2014	Mediaani 0.7 Minimi 348.0	7.4 6.6 8.0	71.7 0.1 179.0	26.1 3.2 36.5	1040.0 491.0 2440.0	636.0 165.9 1645.0	5.7 5.0 16.8		129.4 49.1 348.8	19.1 10.0 137.7						1.22 0.09 16.91	
25b.10. 2014	Mediaani 7.5 Minimi 141.7	7.5 7.3 7.8	100.2 4.9 360.0	26.6 18.5 29.4	1120.0 540.0 1310.0	487.3 325.0 648.0	5.0 5.0 8.0		119.9 72.2 225.4	20.1 18.8 66.8						6.03 0.42 16.91	
8.10. 2014	Mediaani 0.6 Minimi 169.0	7.6 7.4 7.8	15.4 0.5 89.1	30.5 21.8 39.8	938.0 545.0 1320.0	526.0 350.0 875.0	5.0 5.0 7.3		71.1 34.9 253.8	26.3 18.2 62.5						1.78 0.17 9.33	
20.10. 2014	Mediaani 0.6 Minimi 37.1	7.5 6.9 7.8	35.9 0.8 68.5	28.5 2.0 52.8	1250.0 630.0 1660.0	818.0 407.0 1042.0	5.0 5.0 5.0		60.1 47.4 152.0	22.0 14.4 67.2						2.42 0.02 7.00	

LIITE I: Luode Consulting Oy:n tekemä jatkuvatoiminen lämpötilan, pinnankorkeuden, sameuden ja sähkönjohtokyvyn mittaus ylivuotokaivosta BS3 ja salaojakaivosta BS5

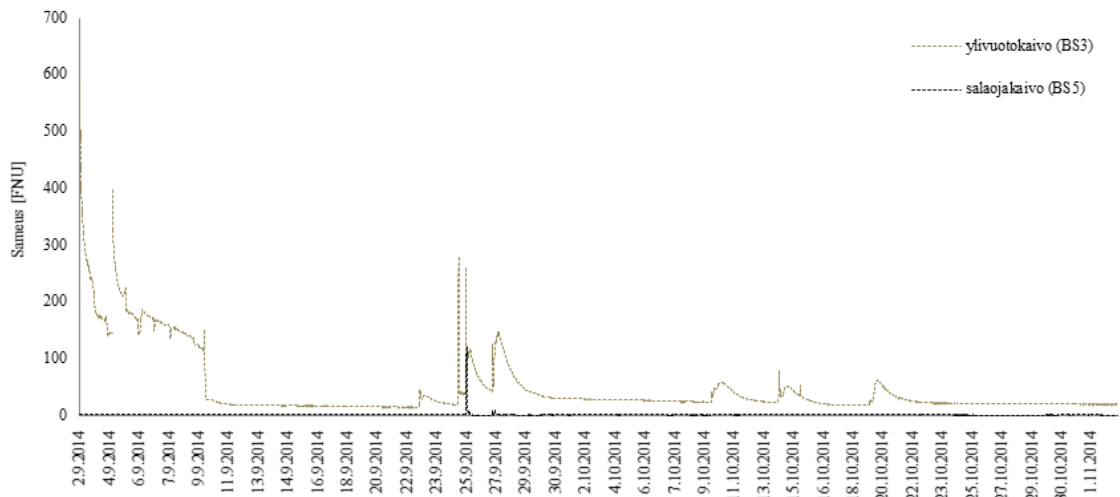


a) Ylivuotokaivon BS3 ja salaojakaivon BS5 huleveden jatkuvatoiminen lämpötilan mittaus [°C]

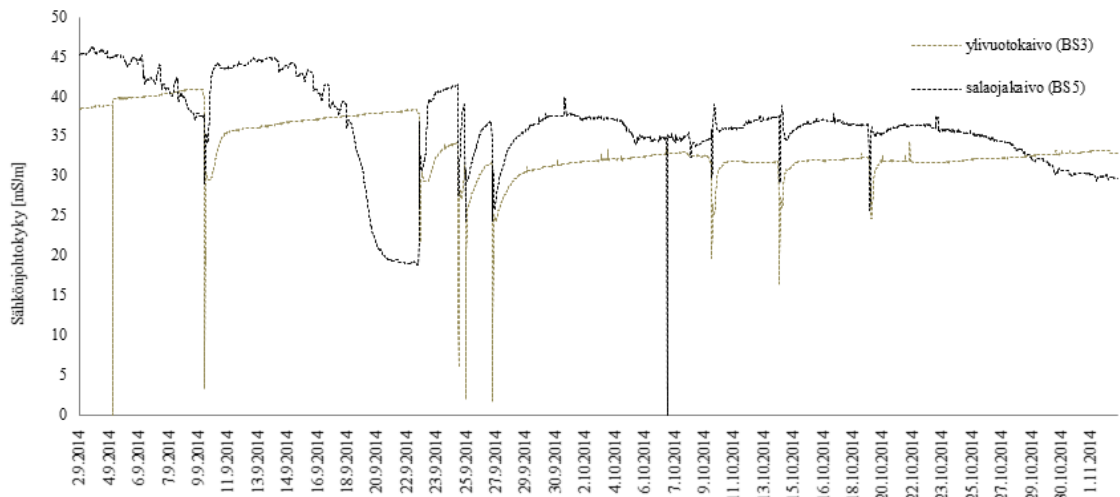


b) Ylivuotokaivon BS3 ja salaojakaivon BS5 huleveden jatkuvatoiminen pinnankorkeuden mittaus [cm]



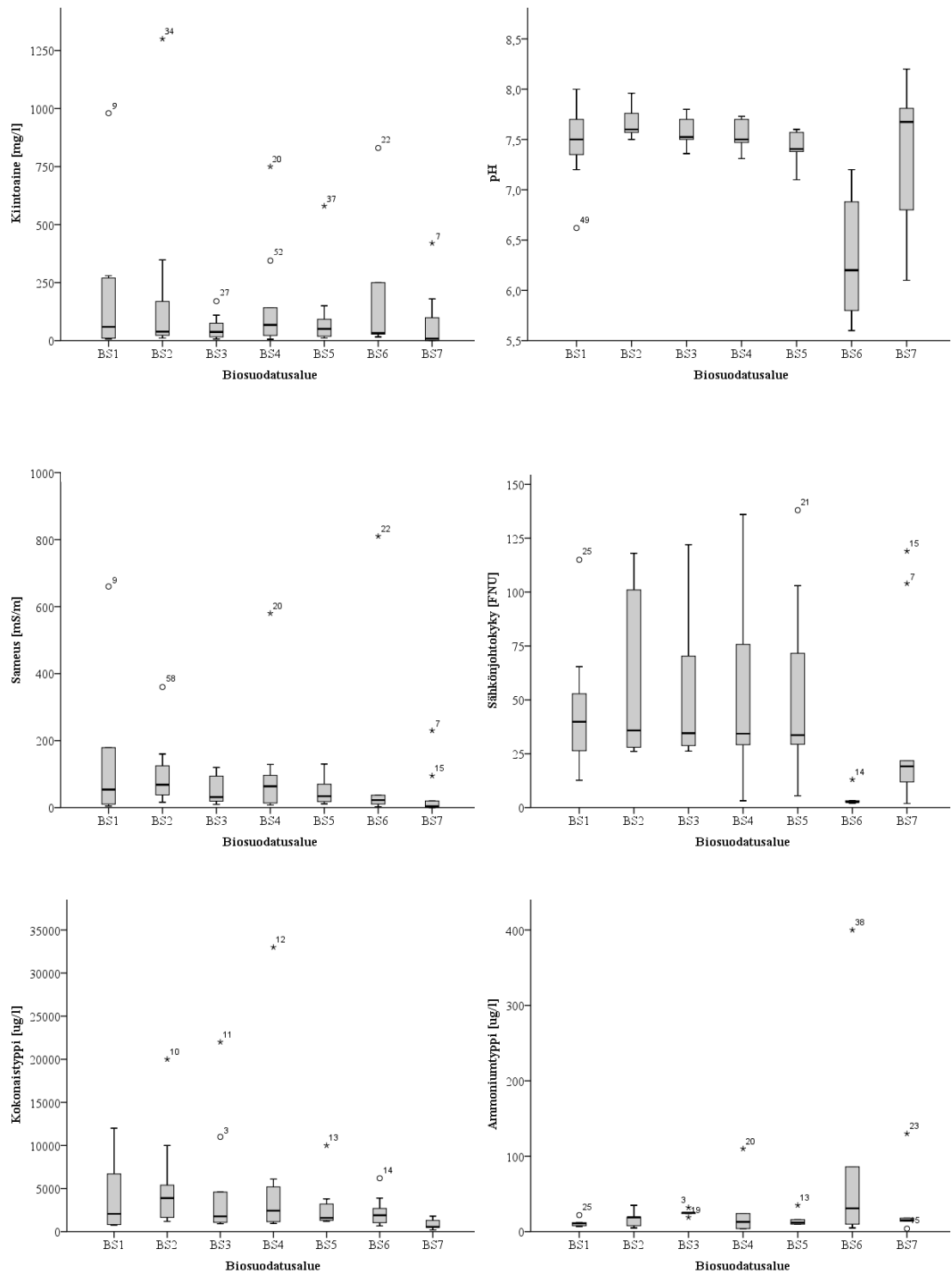


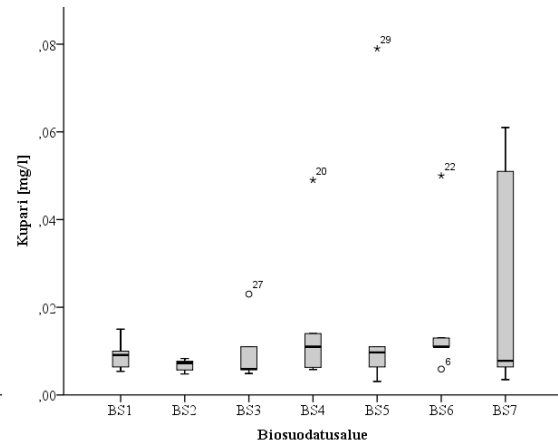
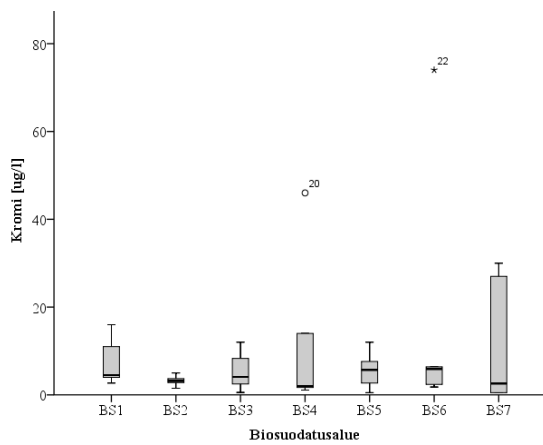
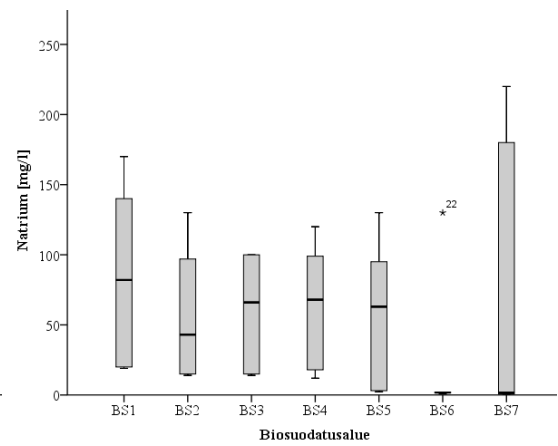
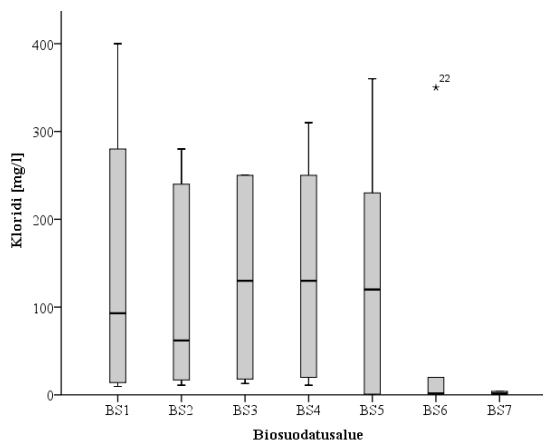
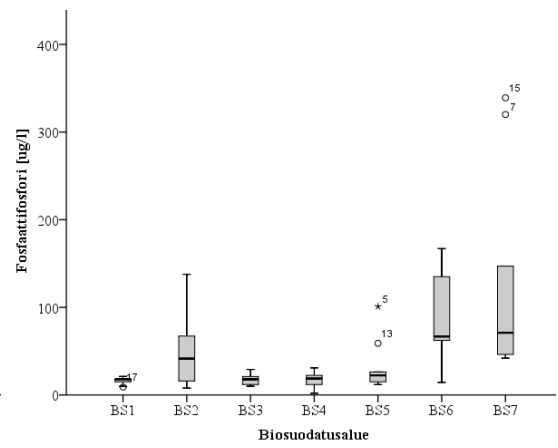
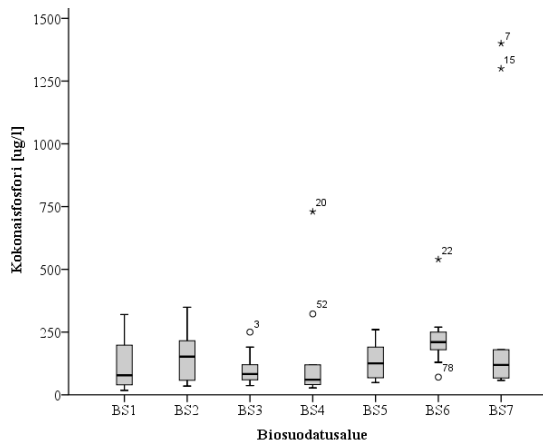
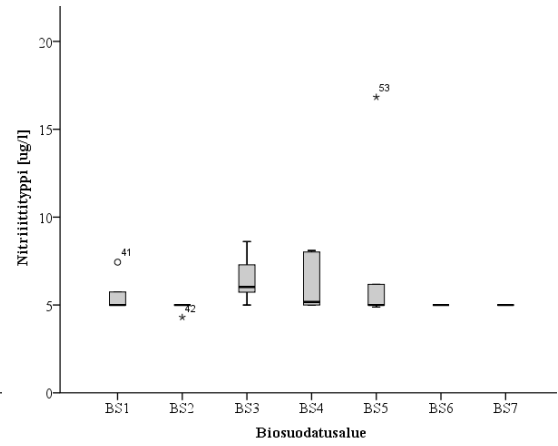
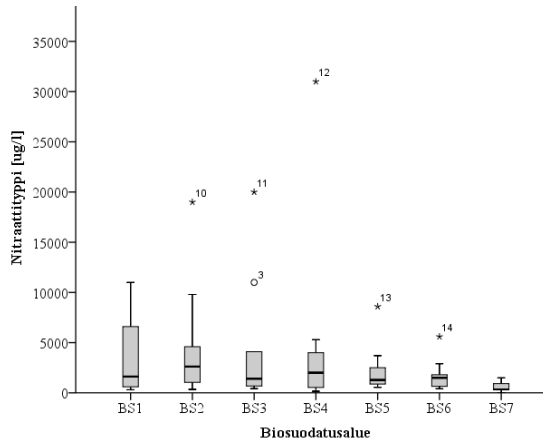
c) Ylivuotokaivon BS3 ja salaojakaivon BS5 huleveden jatkuvatoiminen sameuden mittaus [FNU]

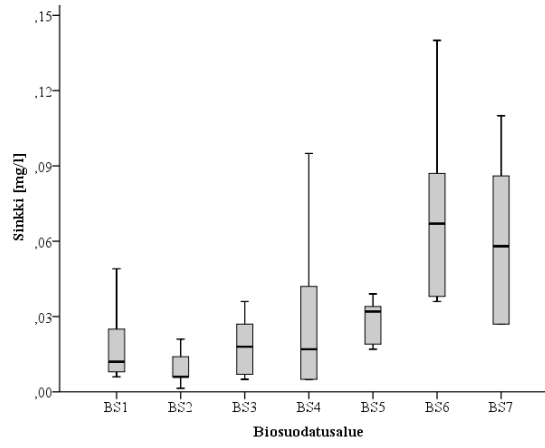
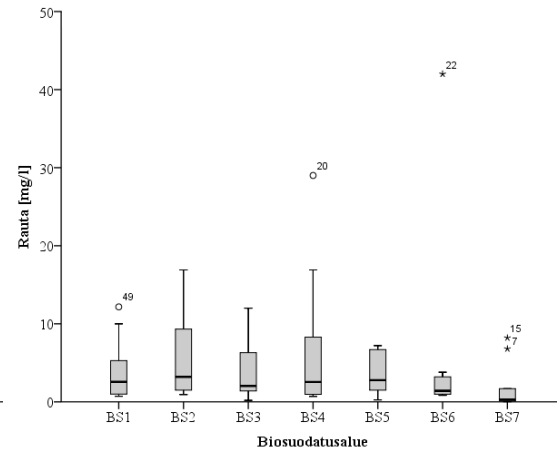
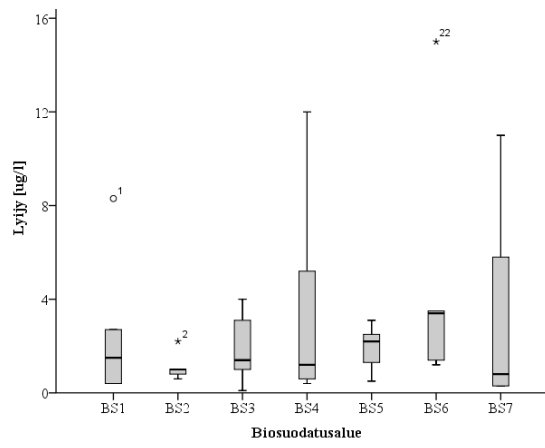


d) Ylivuotokaivon BS3 ja salaojakaivon BS5 huleveden jatkuvatoiminen sähköjohtokyvyn mittaus [mS/m]

LIITE J: Biosuodatusalueiden (BS1-BS7) laatikkokuviot (*boxplot*), joissa osoitettu koko näytteenottojen mediaanit sekä hajonta (ylä- ja alaneljännekset)







LIITE K: Alkuprosentin (*initially saturated*) vaikutus LID-mallin biosuodatusalueesta poistuvaan virtaamaan (SWMM). Kuvissa (yläoikealta alkaen) alkukosteus on asetettu 5%, 10 %, 15 % ja 20 %.

