

## HULA - HULEVESIEN LAADULLINEN HALLINTA JA HAITALLISTEN AINEIDEN MONITOROINTI



## SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	4
2 LAINSÄÄDÄNTÖ JA RAJA-ARVOT .....	5
2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki .....	5
2.2 Vesihuoltolaki .....	7
2.3 Laki tulvariskien hallinnasta eli tulvariskilaki.....	8
2.4 Raja-arvot .....	8
3 HULEVEDET RAKENNETULLA ALUEELLA .....	12
3.1 Hulevesien muodostuminen .....	12
3.2 Hulevesiviemärointi .....	16
4 HULEVESIEN HAITTA-AINEET .....	17
4.1 Haitta-aineet ja niiden esiintyminen maankäyttömuodoittain.....	17
4.2 Haitta-ainepitoisuuksien määrittäminen .....	23
5 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET .....	25
5.1 Vesistövaikutukset .....	25
5.2 Pohjavesivaikutukset.....	26
6 HULEVESIEN HALLINTAMENETELMÄT .....	27
6.1 Hulevesien määrän vähentäminen.....	27
6.2 Hulevesien johtaminen.....	30
6.3 Hulevesien viivyttäminen.....	31
6.4 Hulevesien käsittely .....	33
7 TEKNOLOGISET RATKAISUT HULEVESIEN MONITOROINTIIN .....	35
7.1 Yleistä online-mittareista .....	35
7.2 Vedenlaadun online-mittarit .....	37
7.3 Virtaaman online-mittarit .....	39
8 CASE TARKASTELU .....	43
8.1 Suomi.....	44
8.2 Ruotsi.....	67
8.3 Norja .....	78
8.4 Tanska .....	78
8.5 Saksa .....	79

9	TEKNIS-TALOUDELLINEN TARKASTELU .....	80
9.1	Hulevesikosteikko .....	80
9.2	Hulevesiallas .....	83
9.3	Suotopato .....	85
9.4	Suodatinkaivo .....	85
9.5	Hulevesikasetti .....	87
10	HULA-HANKKEESSA HAVAITTUA .....	87
	LÄHTEET .....	90

## 1 JOHDANTO

Tämä selvitys on tehty Hula – Hulevesien laadullinen hallinta ja haitallisten aineiden monitorointi –hankkeessa. Hula-hanketta rahoitti ympäristöministeriö Vesiensuojelun tehostamisohjelman kaupunkivesiteemasta ([www.ym.fi/vedenvuoro](http://www.ym.fi/vedenvuoro)) 132 996 eurolla. Hanketta toteutettiin ajalla 1.3.2021-30.11.2022. Selvityksessä käydään läpi hulevesiin liittyvää lainsäädäntöä, huleveden muodostumista ja sen sisältämiä haitta-aineita, sekä hulevesien ympäristövaikutuksia ja hallintamenetelmiä. Lisäksi tarkastellaan hulevesien monitorointiin soveltuvia teknologisia ratkaisuja. Selvityksessä on myös tarkasteltu eri Pohjoismaissa ja Saksassa toteutettuja hulevesirakenteita ja niiden toimintaa, sekä tehty erityyppisten hulevesirakenteiden teknis-taloudellista tarkastelua. Kirjallisuusselvitystä on täydennetty Hula-hankkeen tuloksilla.

Suurin osa suomalaisista asuu kaupungeissa, ja kaupungistuminen näyttää yhä jatkuvan. Kaupunkien laajentuessa myös vettä läpäisemättömien pintojen kuten asfalttipäällysteiden ja kattopinta-alan määrä kasvaa. Läpäisemättömät pinnat vaikuttavat veden luontaiseen kiertokulkuun ja lisäävät huomattavasti hulevesivaluntaa eli rakennettujen alueiden pinnoille kertyvien sade- ja sulamisvesien määrää. (Aaltonen ym. 2008, 7–8; Kuntaliitto 2012, 19.)

Rakennettujen alueiden hulevesien hallinta on Suomessa perustunut hulevesien johtamiseen hulevesiviemärintijärjestelmillä mahdollisimman nopeasti pois joko erillisviemäroinnin tai sekaviemäroinnin avulla. Sekaviemäroinnissä hulevedet johdetaan samoissa putkistoissa kuin jätevedet ja rakenteiden kuivatusvedet, mutta erillisviemäroinnissä hulevedet ja rakenteiden kuivatusvedet johdetaan omassa putkistossaan. Pääasiassa hulevedet johdetaan erillisviemäreillä, mutta esimerkiksi vanhoilla keskusta-alueilla voi olla vielä käytössä sekaviemärintijärjestelmiä. Hulevesiviemäreitä ei ole mitoitettu johtamaan rankkasateiden vesiä, minkä takia hulevesijärjestelmien kapasiteetin ylittyessä esiintyy ylivuotoja vesistöihin tai taajamatulvia rakennetuilla alueilla. (Kuntaliitto 2012, 18–21; Aaltonen ym. 2008, 7–11.)

Hulevesien laatu vaihtelee maankäyttömuodoittain. Hulevedet voivat sisältää erilaisia haitta-aineita, kuten kiintoainetta, metalleja, ravinteita, PAH-yhdisteitä, öljyjä,

liukkaudentorjunta-aineita ja suolistoperäisiä bakteereja. Käsittelemättöminä ne voivat aiheuttaa lyhytaikaisia tai pitkäaikaisia veden laatua huonontavia vesistövaikutuksia. Lisäksi hulevedet voivat heikentää pohjavesien laatua. (Kuntaliitto 2012, 124–133).

Viime aikoina on havahduttu hulevesien määrän hallinnan lisäksi hulevesien laadun hallintaan. Hulevesiviemärointijärjestelmien rinnalle on noussut luonnonmukaisia hulevesien hallintamenetelmiä, joiden avulla voidaan sekä vähentää hulevesien määrää että poistaa haitta-aineita hulevesistä. Luonnonmukaisten hulevesien hallintamenetelmien tarkoituksena on edistää luonnollista vedenkiertokulkua sekä vähentää, käsitellä, viivyttää ja johtaa hulevesivaluntaa. (Kuntaliitto 2012, 19.)

Hula-hankkeessa tutkimuskohteina oli kolme erilaista hulevesirakennetta: Naistingin hulevesikosteikko, Karikon hulevesiallas sekä Pitkäjärven hulevesien tutkimusympäristö. Kaikki kohteet ovat melko tuoreita, vanhin niistä on Pitkäjärven tutkimusympäristö, joka on rakennettu vuonna 2018–2019. Kohteiden valuma-alueet ovat maankäytöllään erilaisia, Naistingin hulevesikosteikon valuma-alueella on omakotiasutusta, sekä toimistokiinteistöjä ja julkisia rakennuksia, Karikon hulevesialtaan valuma-alueella puolestaan on runsaasti liikennealueita, sekä yritystoimintaa. Pitkäjärven tutkimusympäristön valuma-alueella näkyy myös liikennealueiden vaikutus.

## **2 LAINSÄÄDÄNTÖ JA RAJA-ARVOT**

Hulevesiin liittyviä säännöksiä on annettu muuan muassa maankäyttö- ja rakennuslaissa ja vesihuoltolaissa sekä tulvariskilaissa. Vaikka Suomessa on hulevesien hallintaan liittyviä säännöksiä, hulevesien haitta-ainepitoisuuksille ei ole määritelty lainsäädännössä raja-arvoja. Hulevesien laatua arvioitaessa on monissa Suomessa tehdyissä tutkimuksissa käytetty Ruotsissa Tukholman läänin hulevesille annettuja raja-arvoja. Myös Hula-hankkeen tuloksia verrattiin kyseisiin raja-arvoihin.

### **2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki**

Maankäyttö- ja rakennuslakiin (5.2.1999/132) tehdyn muutoksen (22.8.2014/682) myötä lakiin on lisätty 13 a luku, jossa on annettu hulevesiä koskevia säännöksiä. Hulevesillä tarkoitetaan rakennettujen alueiden pinnoille kertyviä sade- ja sulamisvesiä. Myös perustusten kuivatusvesiin sovelletaan samoja säännöksiä. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 103 a §.) Hulevesien hallintaa ovat hulevesien imeyttämiseen, viivyttämiseen, johtamiseen, käsittelyyn ja viemäröintiin liittyvät toimenpiteet (Maankäyttö- ja rakennuslaki 103 b §). Maankäyttö- ja rakennuslain 103 c §:n mukaan hulevesien hallinnan yleisenä tavoitteena on hulevesien suunnitelmallisen hallinnan kehittäminen etenkin asemakaava-alueella, hulevesien imeyttäminen ja viivyttäminen niiden kerääntymispaikalla, ympäristölle ja kiinteistölle hulevesistä aiheutuvien haittojen ja vahinkojen ehkäiseminen sekä hulevesien jätevesiviemäriin johtamisen lopettaminen.

Asemakaava-alueella hulevesien hallinnan järjestäminen on kunnan vastuulla. Myös asemakaava-alueen ulkopuolisilla alueilla kunta voi ottaa vastuulleen hulevesien hallinnan järjestämisen. Tarvittaessa kunnan tulee toteuttaa hulevesien hallitsemiseksi tarvittavat alueet ja rakenteet sekä vesihuoltolaitoksen hulevesiviemäriverkostot tai hoitaa hulevesien hallinta muilla keinoin. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 103 i §.) Vuosittain kiinteistöjen omistajilta tai haltijoilta perittävällä hulevesimaksulla kunta voi kattaa hulevesijärjestelmästä aiheutuneet kustannukset. Hulevesimaksu voidaan periä kiinteistöltä, mikäli se sijaitsee kunnan hulevesijärjestelmän vaikutusalueella. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 103 n §.)

Kunnan tarvittaessa hyväksymä hulevesisuunnitelma sisältää tiedot kunnan hulevesien hallintaan käytettävistä rakenteista. Suunnitelman teossa tulee huomioida muun muassa yleisten alueiden suunnitelma, katusuunnitelma, asemakaava sekä viihtyvyydelle, turvallisuudelle ja toimivuudelle asetetut vaatimukset. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 103 l §.)

Kiinteistön hulevesien hallinta on kiinteistön omistajan vastuulla (Maankäyttö- ja rakennuslaki 103 e §). Kiinteistön hulevedet tulee johtaa kunnan hulevesijärjestelmään, mikäli hulevesiä ei voida imeyttää kiinteistöllä tai niitä ei johdeta vesihuoltolaitoksen hulevesiviemäriin. Kiinteistön omistaja voi hakea vapautusta liittymisvelvollisuudesta vesihuoltolaitoksen viemäriverkostoon liittymisestä, mikäli

hulevesien hallinta voidaan toteuttaa asianmukaisesti muulla tavoin. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 103 f §.)

## 2.2 Vesihuoltolaki

Vesihuoltolakia (119/2001) ja sen muutosta koskevaa lakia (681/2014) sovelletaan hulevesien viemärointiin ja perustusten kuivatusvesiin silloin, kun siitä huolehtii vesihuoltolaitos. Vesihuoltolaitoksen on kyettävä huolehtimaan hulevesien viemäroinnistä taloudellisesti ja asianmukaisesti, eivätkä maksut viemäroinnin kustannusten kattamiseksi saa muodostua kohtuuttomiksi ja epäoikeudenmukaisiksi. Hulevesien viemäroinnistä vesihuoltolaitoksella edellyttää myös sopimusta kunnan ja laitoksen välillä. Jos sopimusta ei ole tehty, hulevesien viemäroinnissä noudatetaan maankäyttö- ja rakennuslakia. (Vesihuoltolaki 17 a §.).

Jos kunta on tehnyt sopimuksen hulevesien viemäroinnistä vesihuoltolaitoksen kanssa, on sen alueella olevat kiinteistöt liitettävä laitoksen hulevesiviemäriin. Jos vesihuoltolaitoksen toiminta vaikeutuu kiinteistöltä tulevan huleveden laadun tai määrän vuoksi tai heikentää sen edellytyksiä huolehtia muiden kiinteistöjen hulevesien viemäroinnistä, laitos voi kieltäytyä liittämästä kiinteistöä laitoksen hulevesiviemäriin. Kiinteistö voidaan vapauttaa liittämismuutoksen velvollisuudesta, jos liittäminen hulevesiviemäriin on kohtuutonta liittämisestä aiheutuvien kustannusten vuoksi tai hulevesiä muodostuu kiinteistöllä vain vähän. Vapauttamisesta huolimatta hulevesien viemärointi vesihuoltolaitoksen hulevesiviemäroinnin alueella on pystyttävä hoitamaan taloudellisesti ja asianmukaisesti ja vapautetun kiinteistön hulevesi on poistettava muutoin asianmukaisesti. (Vesihuoltolaki 17 b–c §.)

Hulevesiä ei saa johtaa jätevesiviemäriin. Poikkeuksena on ennen vuotta 2015 rakennetut jätevesiviemärit, jotka on mitoitettu myös huleveden poisjohtamiseen. Hulevedet voidaan johtaa jätevesiviemäriin myös siinä tapauksessa, että alueella ei ole huleveden viemäriverkostoa ja vesilaitos pystyy huolehtimaan jätevesiviemäriin johdettavasta hulevedestä. Vesihuoltolaitos voi periä maksun hulevesien viemäroinnistä. (Vesihuoltolaki 17 d §, 19 §.)

### 2.3 Laki tulvariskien hallinnasta eli tulvariskilaki

Tulvariskilain (620/2010) tarkoituksena on vähentää tulvariskejä, edistää tulviin varautumista sekä ehkäistä ja lieventää tulvista aiheutuvia vahinkoja. Laissa on määritetty eri viranomaisten vastuut tulvariskien hallinnassa. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus) toimii ylimpänä viranomaisena. Sen tehtäviin kuuluu vesistöalueiden ja merenrannikon tulvariskien alustavien arviointien tekeminen, tulvavaara- ja tulvariskikarttojen ja tulvariskien hallintasuunnitelmien laatiminen sekä ehdotuksien valmisteleminen merkittävien tulvariskialueiden nimeämiseksi. ELY-keskus avustaa kuntia tulvariskien hallintasuunnitelmien laadinnassa, hulevesitulvariskien alustavassa arvioinnissa sekä tulvariskialueiden nimeämisessä. (Tulvariskilaki, 1 §, 3–4 §.)

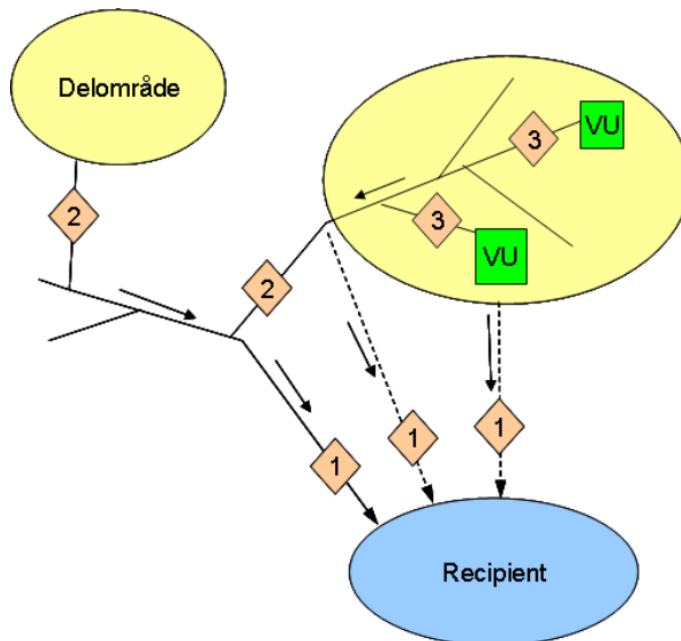
Hulevesitulvariskien hallinnan suunnittelussa kuntien tehtävänä on nimetä hulevesitulvien merkittävät tulvariskialueet, laatia alustavia arviointeja hulevesitulvista aiheutuvista tulvariskeistä sekä laatia merkittävälle tulvariskialueelle tulvavaarakartat ja tulvariskikartat. Hulevesitulvien takia merkittäviksi tulvariskialueiksi nimetyille alueille kunnan tulee laatia ja hyväksyä tulvariskien hallintasuunnitelma. (Tulvariskilaki, 19 §.)

### 2.4 Raja-arvot

Suomessa hulevesille ei ole olemassa laatuksiteereitä. Tämän takia haitta-ainepitoisuuksia verrataan monesti Ruotsissa, Tukholman läänissä käytössä oleviin raja-arvoihin (Kerkkänen ym. 2019). Aiolan ym. (2014) tekemässä tutkimuksessa selvitettiin Helsingin kaupungin hulevesien laatua erilaisilla kaupunkialueilla. Hulevesinäytteiden haitta-ainepitoisuuksia verrattiin sekä Tukholman läänin huleveden raja-arvoihin että valtioneuvoston asetuksessa ja sen muutoksessa vesiympäristölle vaarallisista ja aineista (1022/2006, 868/2010) annettuihin raja-arvoihin. Inhan ym. (2013, 19) maanteiden hulevesien laatua selvittävässä projektissa haitta-aineiden pitoisuuksia verrattiin talousveden laatuvaatimukseen ja -suositukseen (STMa 461/2000) sekä valtioneuvoston asetukseen vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006 muutoksineen).



Tukholman läänin huleveden raja-arvot on jaettu kolmeen tasoon riippuen päästölähteen sijainnista suhteessa purkuvesistöön (kuva 1). Taso 1 tarkoittaa päästöjä suoraan vastaanottajaan (vesistö, järvi tai meri), taso 2 koskee osavaluma-alueita, jotka ovat ylävirtaan vastaanottajan purkupisteestä ja taso 3 koskee toiminnanharjoittajia. Kahdella ensimmäisellä tasolla erilaiset ohjearvot riippuvat huleveden vastaanottajan tyypistä.



**Kuva 1.** Raja-arvojen tasojen määrittelyn perusteet. Delområde=osavaluma-alue, VU (verksamhetsutövare)= toiminnanharjoittaja ja recipient= vastaanottaja (esim. vesistö) (Riktvärdesgruppen 2009).

Raja-arvo on sitä tiukempi mitä lähempänä päästölähde on suhteessa purkuvesistöön. Näin ollen pienempien järvien, vesistöjen ja merenlahtien ohjearvot ovat tiukemmat kuin suurten järvien ja merien päästöt (taulukko 1). Pienemmät järvet, vesistöt ja merenlahdet kuuluvat tasoon M, kun taas suuremmat järvet ja meret kuuluvat tasoon S. Oletuksena on, että muun muassa pienemmällä järvillä on rajoitettu veden vaihtuvuus ja vähemmän mahdollisuuksia epäpuhtauksien pitoisuuksien laimentumiseen. Raja-arvoehdotukset ovat vuosikeskiarvoja, jotka on analysoitu suodattamattomasta tai sentrifugoidusta näytteestä. Vuosikeskiarvot voidaan joko laskea erilaisilla mallinnustyökaluilla tai mitata virtaukseen suhteutetulla näytteenotolla. Ohjearvon ylittyminen on merkki hulevesien puhdistustarpeesta.

**Taulukko 1.** Ehdotetut ohjearvot (vuosittainen keskimääräinen pitoisuus) hulevesipäästöille (Riktvärdesgruppen 2009).

	Taso	Pienemmät järvet, vesistöt ja merenlahdet		Isommat järvet ja meret		Toimijat
		1M	2M	1S	2S	
<b>Haitta-aine<sup>1</sup></b>	<b>Yksikkö</b>					
fosfori (P)	µg/l	160	175	200	250	250
typpi (N)	mg/l	2,0	2,5	2,5	3,0	3,5
lyijy (Pb)	µg/l	8	10	10	15	15
kupari (Cu)	µg/l	18	30	30	40	40
sinkki (Zn)	µg/l	75	90	90	125	150
kadmium (Cd)	µg/l	0,4	0,5	0,45	0,5	0,5
kromi (Cr)	µg/l	10	15	15	25	25
nikkeli (Ni)	µg/l	15	30	20	30	30
elohopea <sup>2</sup> (Hg)	µg/l	0,03	0,07	0,05	0,07	0,1
kiintoaine (SS)	mg/l	40	60	50	75	100
öljyindeksi (öljy)	mg/l	0,4	0,7	0,5	0,7	1,0
bentso(a)pyreeni <sup>2</sup> (BaP)	mg/l	0,03	0,07	0,05	0,07	0,1

1. Kokonaisfraktiot viittaavat ravinteisiin ja metalleihin (suodattamaton tai sentrifugoitu näyte).

2. Jos vain tämän aineen ohjearvo ylittyy, sen ei pitäisi yksinään olla perustana päätöksille toimenpiteistä epävarman tiedon takia.

Tukholman läänin raja-arvojen lisäksi suomalaisissa tutkimuksissa hulevesien haitta-ainepitoisuuksia on verrattu myös muihin asetuksiin (taulukko 2). Valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisissa ja haitallisissa aineissa (1022/2006) ja sen muutoksissa (868/2010, 1090/2016) on annettu päästökieltoja, päästöraja-arvoja sekä ympäristölaatunormeja vesiympäristölle vaarallisille ja haitallisille aineille. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (4001/2001) on annettu laatuvaatimuksia ja -suosituksia, joita sovelletaan muun muassa kaivovesiin. Valtioneuvoston asetuksessa vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006) ja sen muutoksessa (341/2009) säädetään muun muassa vesienhoitosuunnitelmaan kuuluvasta vesien tilan arvioimisesta. Asetuksessa on määritetty pohjavettä pilaavien aineiden ympäristölaatunormit.

**Taulukko 2.** Hulevesitutkimuksien haitta-ainepitoisuuksien arvioinnissa käytetyt asetukset ja haitta-aineiden raja-arvot.

Haitta-aine	Yks	VNa (1040/2006, 341/2009)	STM 401/2001		VNa (1022/2006, 868/2010, 1090/2016)	
			laatuvaatimus	laatusuositus	AA-EQS	MAC-EQS
antimoni	µg/l	2,5	5,0			
alumiini	µg/l			200		
boori	mg/l		1,0			
elohopea	µg/l	0,06	1,0			0,07 <sup>(3)</sup>
kadmium <sup>(2)</sup>	µg/l	0,4	5,0		0,08– 0,25 <sup>(3)</sup>	0,45–1,5 <sup>(3)</sup>
kromi	µg/l	10	50			
kupari	µg/l	20	2000			
koboltti	µg/l	2				
kloridi	mg/l	25		100		
lyijy	µg/l	5	10		1,2 <sup>(3) (4)</sup>	14 <sup>(3)</sup>
mangaani	µg/l			50		
nikkeli	µg/l	10	20		4 <sup>(3) (4)</sup>	34 <sup>(3)</sup>
rauta	µg/l			200		
sinkki	µg/l	60				
nitraatit	mg/l	50				
bentso(a)pyreeni	µg/l	0,005	0,0010			0,27
1,2-dikloorietaani	µg/l	1,5	3,0		10	ei sovelleta
antraseeni	µg/l	60			0,1	0,1
bentseeni	µg/l	0,5	1,0		10	50
bentso(a)fluorateeni	µg/l				0,03	ei sovelleta
dikloorimetaani	µg/l	10			20	ei sovelleta
fluoranteeni	µg/l					0,12
naftaleeni	µg/l	1,3			2	130
tetrakloorieteeni	µg/l	5 <sup>(1)</sup>	10 <sup>(1)</sup>		10	ei sovelleta
trikloorieteeni	µg/l	5 <sup>(1)</sup>	10 <sup>(1)</sup>		10	ei sovelleta
öljyjakeet (C10-40)	µg/l	50				

1. Tetrakloorieteenin ja trikloorieteenin enimmäispitoisuus yhteensä
2. Veden kovuusluokasta 1–5 riippuen.
3. Metallien (kadmium, lyijy, elohopea ja nikkeli) ympäristölaatunormi viittaa liukoiseen pitoisuuteen eli liuosfaasiin vesinäytteessä, joka on saatu suodattamalla 0,45 µm:n suodattimella tai jollain muulla vastaavalla esikäsitteilyllä. Verratessa seurantatuloksia ympäristölaatunormeihin voidaan huomioida metallien ja metalliyhdisteiden luonnolliset taustapitoisuudet ja metallien biosaataavuuteen vaikuttavat tekijät (esim. pH).

#### 4. Biosaatava pitoisuus.

Ympäristölaatunormi (EQS) ilmaisee pintavedessä, sedimentissä tai eliöstössä olevan aineen pitoisuuden, jota ei saa ylittää terveyden ja pintavesien suojelemiseksi. Ympäristölaatunormi AA-EQS puolestaan koskee aineen pitoisuuksien vuosikeskiarvoa. Kyseinen keskiarvo saadaan laskemalla näytepisteeltä vuoden aikana saatujen tulosten aritmeettinen keskiarvo. Ympäristölaatunormi MAC-EQS puolestaan tarkoittaa aineen enimmäispitoisuutta näytteessä. Taulukossa tarkastellut AA-EQS ja MAC-EQS laatunormit ovat sisämaan pintavesille annettuja ympäristölaatunormeja. Metalleista kadmiumin, nikkelin, lyijyn ja elohopean seurantatuloksia arvioitaessa tulee ympäristölaatunormiin lisätä metallien arvioidut luonnolliset taustapitoisuudet. Taustapitoisuuden arvioon vaikuttavat valuma-alueen ominaisuudet. (VNa 1022/2006, muutos1090/2016)

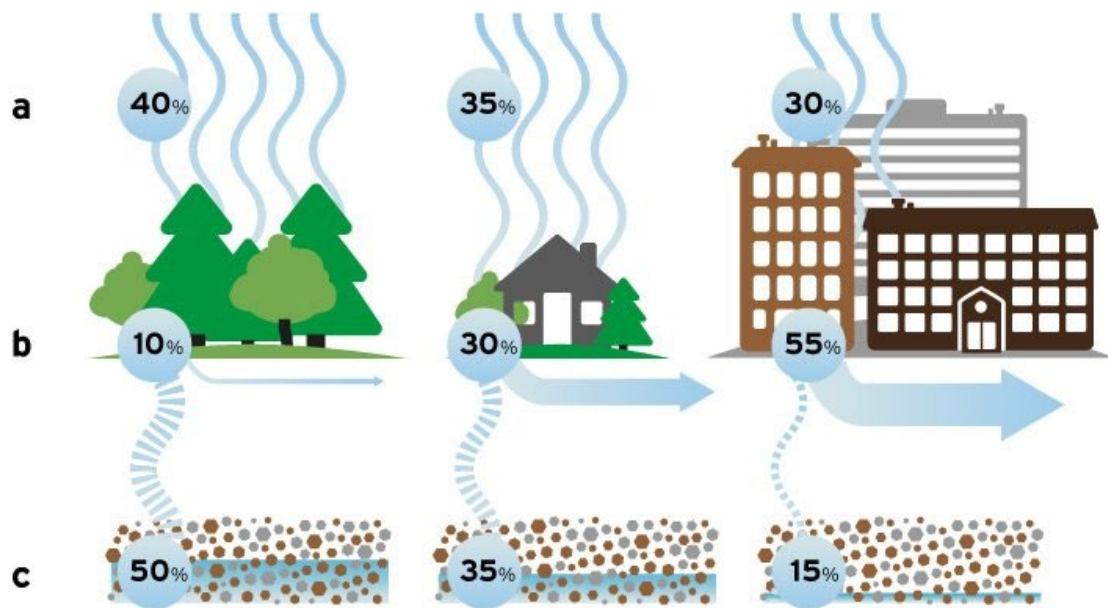
### **3 HULEVEDET RAKENNETULLA ALUEELLA**

#### **3.1 Hulevesien muodostuminen**

Hulevesivalunnaksi kutsutaan sitä osaa sataneesta vesimäärästä, joka ei haihdu tai imeydy maaperään sekä lumien sulamisvesiä. Valunnan syntyminen vaikuttavat vettä läpäisemättömien pintojen määrä, maaperän ominaisuudet, maanpinnanmuodot, kasvipeitteen määrä, sadanta ja sadantaa edeltäneen kuivan jakson pituus. (Eskola & Tahvonen 2010, 10–11; Kuntaliitto 2012, 15, 18.) Isoimmat vuorokausivalunnat esiintyvät rakentamattomilla ja väljästi rakennetuilla alueilla syksyn ja sulamiskauden aikana. Kesäsateet voivat aiheuttaa tiiviisti rakennetuilla alueilla yhtä suuret vuorokausivalunnat kuin syksyllä ja sulamiskaudella. (Kotola & Nurminen 2005, 29.)

Rakennetussa ympäristössä etenkin läpäisemättömien pintojen määrä vaikuttaa veden luontaiseen kiertokulkuun eli muun muassa veden haihduntaan, valuntaan ja suotautumiseen maaperään (kuva 2). Läpäisemättömillä pinnoilla tarkoitetaan tiiviitä pintoja, kuten teitä, katuja, pysäköintialueita ja kattoja, jotka vähentävät veden

imeytymistä maaperään ja edistävät pintavalunnan syntymistä. Lämpisemättömät pinnat nopeuttavat hulevesien muodostumista ja lisäävät muodostuvien hulevesien määrää, mikä aiheuttaa ongelmia etenkin tiiviisti rakennetuilla alueilla. Osa lämpisemättömälle pinnalle päätyvästä vedestä voi valua lähellä olevalle lämpisemävälle alueelle ja imeytyä maaperään. (Kuntaliitto 2012, 12, 18–19.)



**Kuva 2.** Rakennetun ympäristön ja päällystettyjen pintojen vaikutus hulevesien a) haihtumiseen, b) pintavalunnan muodostumiseen ja c) veden suotautumiseen maaperään (mukaiillen HSY s.a).

Taajama-alueella veden kokonaishaihdunta on luonnontilaiseen alueeseen verrattuna vähäisempää. Kokonaishaihdunta koostuu interseptiosta, transpiraatiosta ja evaporaatiosta. Interseptiolla tarkoitetaan kasvillisuuden pintojen kautta tapahtuvaa haihduntaa, kun taas transpiraatiolla kasvillisuuden elintoimintojen kautta tapahtuvaa haihduntaa. Taajamissa kasvillisuuden niukkuus vähentää sekä interseptiota että transpiraatiota. Evaporaatiolla puolestaan tarkoitetaan veden, maan ja lumen pinnoilta tapahtuvaa haihduntaa. Pääosin päällystetyiltä pinnoilta tapahtuva evaporaatio on olematonta. Taajama-alueilla evaporaatio on lyhytaikaisen kestoensa takia huomattavasti vähäisempää verrattuna luonnontilaisiin alueisiin. (Kuntaliitto 2012, 18–

19, 91.) Pohjaveden muodostuminen vähenee kaupunkialueilla, joissa on paljon vettä läpäisemättömiä pintoja (Aaltonen ym. 2008, 93).

Valumiskertoimella ( $\varphi$ ) kuvataan, kuinka suuri osa sataneesta vesimäärästä kulkeutuu pintavaluntana ympäristöön. Valuntakerroin ilmaistaan arvolla, joka on välillä 0–1. Pintamateriaalien keskimääräiset valuntakertoimet vaihtelevat huomattavasti (taulukko 3). Esimerkiksi katon valuntakerroin 0,9 tarkoittaa, että 90 % pinnalle sataneesta vesimäärästä päätyy pintavaluntana ympäristöön ja vain 10 % haihtuu ilmaan. (Hulevesien luonnonmukaisen hallinnan menetelmät 2007, Jokela 2008, 12–13 mukaan.) Päälystetyn parkkipaikan on havaittu tuottavan 16 kertaa enemmän pintavaluntaa kuin samankokoinen niittyalue (Schueler 1995, Lee ym. 2014 mukaan).

**Taulukko 3.** Pintamateriaalien keskimääräisiä valuntakertoimia (Vägverket 1990; Hulevesien luonnonmukaisen hallinnan menetelmät 2007, Jokela 2008, 12 mukaan)

Pinta	Valuntakerroin
Katto	0,9
Betoni ja asfalttipinta	0,8
Tiivissaumainen kiveys	0,8
Kiveys hiekkasaumoin	0,7
Hyväkuntoinen soratie	0,5
Kallioinen puuton puistoalue	0,5
Paljas laakeahko kallio	0,4
Sorakenttä ja -käytävä	0,3
Puistomainen piha	0,2
Puisto, jossa runsaasti kasvillisuutta	0,15
Kallioinen metsä	0,15
Niitty, pelto, puutarha	0,1
Tasainen tiheä kasvuinen metsä	0,05

Pintavalunnan määrää vähentävät muun muassa veden pintavarastoituminen, imeytyminen, pidättyminen ja haihtuminen. Valuntakertoimeen vaikuttavat myös vuodenaika, lämpötila, ilmankosteus sekä alueen tai pinnan veden varastointikyky. (Hulevesien luonnonmukaisen hallinnan menetelmät 2007, Jokela 2008, 13 mukaan.)

Taajama-alueilla esiintyy sadantaa 5–10 % enemmän kuin luonnontilaisilla alueilla (Kuntaliitto 2012, 18). Sadannan todennäköisyyttä kaupunkialueilla lisäävät muun

muassa nousseen lämpötilan aiheuttama lämmön kasvanut kuljettuminen rakennetun alueen yläpuolelle, karkeiden pintojen aikaansaama ilmavirtojen pyörteisyys sekä ilmansaasteiden aiheuttama lisätiivistyminen (Kotola & Nurminen 2005, 12–16). Vuosittaisesta sademäärästä arviolta 40 % sataa lumena (Kuntaliitto 2012, 131). Kaupungistumisen on todettu lisäävän lumisateiden määrää ja vaikuttavan lumikauteen. Kaupunkialueiden lumikausi on lyhyempi verrattuna maaseutualueisiin. Lumiolosuhteet vaihtelevat kaupunkialueella lumen aurauksen ja kasaamisen takia. Vesisateiden aiheuttamassa lumien sulamistapahtumissa muodostuu runsaasti hulevesiä. (Kotola & Nurminen 2005, 12–16.)

Ilmastonmuutoksen myötä sateet tulevat lisääntymään Suomessa jokaisena vuodenaikana, mutta talvisateiden ennustetaan lisääntyvän enemmän kuin kesäsateiden. Kuitenkin malliarvioiden mukaan kesäkuukaudet tulevat olemaan jatkossakin kevät- ja talvikuukausiin verrattuna selkeästi sateisempia. Etenkin kesäkauden rankkasateet voimistuvat. Ajanjaksoon 2071–2100 mennessä kesäkauden sademäärien arvioidaan kasvavan noin 10–15 %, rankimpien vuorokausisateiden 10–30 % ja kuuden tunnin maksimisateiden 15–40 %. Pohjois-Suomessa kesäsateiden sademäärä tulee kasvamaan enemmän kuin Etelä-Suomessa. Sateen hetkellisten intensiteettien oletetaan kasvavan, mutta voimakkaiden intensiteettien enemmän kuin heikkojen intensiteettien. (Aaltonen ym. 2008, 83–91, 105.)

Taajamatulvalla tarkoitetaan kaupunkialueella tapahtuvaa huleveden hallitsematonta tulvimista, mikä voi aiheuttaa vahinkoja muun muassa rakennuksille. Rankkasade, sadannaltaan ja kestoltaan pitkäaikainen sadejakso tai vesistön- tai merenpinnan nouseminen voivat aiheuttaa taajamatulvia. Taajamatulvien syntymiseen vaikuttavat muun muassa vettä läpäisemättömien pintojen määrä, hulevesiviemäriverkoston mitoitus, puutteellinen kunnossapito, puutteelliset tulvareitit, suunnittelu- ja rakennusvirheet ja ilmastonmuutos. Yleensä hulevesitulvien syntymisen aiheuttaa hetkellinen voimakas sadanta ja rakennettujen pintojen suuri määrä, sillä kaupunkialueiden hulevesijärjestelmiä ei ole mitoitettu johtamaan rankkasateiden vesiä. Taajamatulvien syntyä ja niiden aiheuttamia vahinkoja voidaan ehkäistä tulvareittien suunnittelulla ja ylläpidolla. Tulvareiteilla tarkoitetaan maanpäällisiä huleveden virtausreittejä, kuten viherpainanteita ja reunakiveyksiä. Niiden avulla hulevedet ohjataan mahdollisimman nopeasti pois riskikohteiden läheisyydestä

esimerkiksi vesistöön, kun hulevesiviemäreiden kapasiteetti ylittyy. (Aaltonen ym. 2008, 8; Kuntaliitto 2012, 15–19, 94–96.)

### 3.2 Hulevesiviemäröinti

Hulevesijärjestelmillä on pyritty keräämään ja johtamaan hulevedet mahdollisimman nopeasti purkuvesistöön. Tällä tavoin on pyritty ehkäisemään taajamatulvien syntymistä sekä samalla takaamaan rakennettujen alueiden kuivatus (Järveläinen 2019, 5). Suomessa on käytössä sekä erillisviemäröintiä että sekaviemäröintiä. Erillisviemäröinnissä hulevesi johdetaan omalla viemärillä tai avoviemäreissä. Erillisviemäröintiä on suosittu yhä enemmän viemäröintialueiden laajentuessa. Sekaviemäröinnissä puolestaan jäte- ja hulevesiä sekä rakennusten kuivatusvesiä johdetaan samassa viemäröintijärjestelmässä. Vanhoilla keskusta-alueilla voi olla vielä käytössä sekaviemäröinti. Suomessa voitiin johtaa käsittelemättömiä hulevesiä erillisviemäreistä rantavesiin ja taajamapuroihin vielä 2010-luvun alkupuolella.

(Aaltonen ym. 2008, 7–11; Kuntaliitto 2012, 18–19, 133.)

Sekaviemäröinnissä hulevedet voivat aiheuttaa häiriöitä jätevedenpuhdistamolle, koska hulevedet lisäävät jätevedenpuhdistamolle tulevan veden määrää, laimentavat haitta-ainepitoisuuksia sekä alentavat tulevan veden lämpötilaa (varsinkin sulamisvedet). Rankkasateiden aiheuttaman tulvimisen seurauksena pumppaamoiden ja puhdistamoiden kapasiteetti ylittyy, jolloin sekaviemäreistä johdetaan puhdistamatonta vettä vesistöihin tulvakynnysrakenteiden kautta. Tämän takia erillisviemäröinti on sekaviemäröintiin verrattuna parempi vaihtoehto vesiensuojelun näkökulmasta. (Aaltonen ym. 2008, 11; Kuntaliitto 2012, 134, 190–194.)

Viemäröintijärjestelmien mitoitus perustuu mitoitusasteeseen, jonka määrittämisessä huomioidaan sateen intensiteetti, määrä, kesto aika ja toistuvuus. Nykyiset hulevesiviemärit on rakennettu vuosikymmeniä sitten, minkä takia niiden kapasiteetti ei riitä sadannan määrän tai intensiteetin kasvaessa. Lisäksi hulevesiviemäreiden rakentaminen on kallista. Tiiviisti rakennetuilla alueilla viemäreiden vaihtaminen on haastavaa. Uusia hulevesirakenteita suunniteltaessa tulee varautua sadannan



mahdolliseen lisääntymiseen suurentamalla hulevesien johtamisjärjestelmien mitoitusta tai rakentamalla johtamisjärjestelmän rinnalle hulevesien määrää vähentäviä ja virtaamia pienentäviä hulevesien hallintamenetelmiä. (Aaltonen ym. 2008, 11–12, 93; Kuntaliitto 2012, 99, 110, 206.)

Myös hulevesien laadulliseen hallintaan on alettu kiinnittämään entistä enemmän huomiota, minkä takia hulevesiviemäröinnin rinnalle on otettu käyttöön luonnonmukaisia hulevesien hallintajärjestelmiä (Järveläinen 2019, 5). Arvioiden mukaan erillisviiemäröintiin verrattuna luonnonmukaiset hulevesien hallintajärjestelmät voivat säästää 4–5 % enemmän luonnonvaroja. (Lindholm and Noreide 2000, Muthanna 2007, 3 mukaan.)

## **4 HULEVESIEN HAITTA-AINEET**

Hulevedet kuljettavat mukanaan rakennettujen alueiden pinnoilta peräisin olevia haitta-aineita. Haitta-aineiden esiintyvyyteen vaikuttavat muun muassa maankäyttömuoto ja sääolosuhteet.

### **4.1 Haitta-aineet ja niiden esiintyminen maankäyttömuodoittain**

Hulevedet sisältävät monenlaisia haitta-aineita, kuten ravinteita, kiintoainesta, metalleja, öljyjä, rasvoja, klorideja, torjunta-aineita, PAH-yhdisteitä, liukkaudentorjunta-aineita ja suolistoperäisiä bakteereja. Haitta-aineet voivat olla hulevesissä partikkelimaisessa tai liukoisessa muodossa. (Kuntaliitto 2012, 124–127). Myös mikromuoveja esiintyy hulevesissä (Setälä & Suikkanen 2020, 95). Fairbairn ym. (2018) havaitsivat Minneapolisin hulevesissä 123 haitta-ainetta tutkitusta 384:stä. Yhdisteiden joukossa oli muun muassa kaupallisia kuluttajayhdisteitä, henkilökohtaisten hygieniatuotteiden yhdisteitä, lääkeaineita sekä torjunta-aineita. Haitta-aineista 31:tä havaittiin  $\geq 50$  % näytteistä.

Valuma-alueen maankäyttö vaikuttaa huomattavasti siihen, mitä haitta-aineita hulevesissä esiintyy. Esimerkiksi tie- ja liikennealueilla esiintyy yleensä enemmän metalleja kuin asuin- ja viheralueilla. Tämän takia hulevesistä analysoitavat parametrit tulee valita tapauskohtaisesti alueen toiminnot huomioiden. Jotkin toiminnot kuten lentokentät ja huoltoasemat vaativat hulevesien erityistarkastelua. (Kuntaliitto 2012, 124–127.)

### **Liikenne- ja pysäköintialueet**

Liikenne- ja tiealueilla hulevesissä esiintyviä haitta-aineita ovat kiintoaine, hiilivedyt (mm. öljyt, polttoaineet ja rasvat), PAH-yhdisteet, metallit (mm. lyijy, kupari, sinkki ja kadmium) ja suola (Kuntaliitto 2012, 124–137). Mikromuoveja päätyy liikennealueilta hulevesiin sekundäärisen hajoamisen kautta esimerkiksi autojen renkaiden ja tiepintojen kulumisen seurauksena (Ignatius ym. 2019). Haitta-aineita päätyy hulevesiin liikenne- ja tiealueilla pakokaasupäästöjen, liukkauden torjuntaan käytettävien aineiden, ajoneuvojen korroosion sekä jarrujen, renkaiden, tie- ja katupintojen kulumisen seurauksena. Lisäksi ajoneuvoista voi tippua maahan esimerkiksi öljyä, bensiiniä ja jarrunestettä. (Göbel ym. 2006; Kuntaliitto 2012, 124–137.) Haitta-aineiden pitoisuuksiin ja leviämisalueeseen vaikuttavat liikennemäärä, ajonopeus, tuulen poikkeamat, kuivan sääjakson kesto, liikennetekniikan tila sekä hulevesitapahtumien kesto ja intensiteetti. BUWAL (1996) arvion mukaan vain 5–20 % liikenteen päästöistä päätyy valumavesiin ja loppuosa päätyy liikennealueen välittömään läheisyyteen muun muassa tuulen vaikutuksesta (Göbel ym. 2006).

Tiesuolan käyttömäärät riippuvat talven olosuhteista ja tien talvihoitoluokituksista, joka määräytyy muun muassa liikennemäärien ja tien merkityksen mukaan. Korkeimpaan hoitoluokkaan kuuluvat päätiet ja alimpaan hoitoluokkaan vähäliikenteiset tiet. Liukkaudentorjunnassa vilkasliikenteisillä teillä käytetään suolausta, kun taas muilla teillä käytetään hiekoitusta tai tienpinnan karhennusta. (ELY-keskus 2021.) Liukkaudentorjuntaan käytettävät tiesuola ja hiekoitushiekka kulkeutuvat tiealueilta hulevesien mukana. Tiesuola on vesiliukoista, minkä takia se ei pidäty maaperään. Lisäksi tiesuola voi edistää muun muassa metallien liukenemistä. Hiekoitushiekka lisää kiintoainehuuhtoumaa, mikä tulee huomioida tiealueen hulevesien imeytysrakenteiden suunnittelussa. (Kuntaliitto 2012, 124–137.)

Liukkaudentorjunta-aineiden on havaittu lisäävän ajoneuvojen korroosiota jopa 2–3-kertaiseksi. Ajoneuvojen korroosion seurauksena metalleja päätyy tieympäristöön. (Hallberg 2007, Jokela 2008, 21 mukaan.)

Inha ym. (2013, 38–46) havaitsivat sähkönjohtavuuden sekä ammoniumtyypen, natriumin ja kloridin pitoisuuksien kasvavan liikennemäärien kasvaessa. Liikennemäärät vaikuttavat teiden hoitoluokkaan ja näin ollen niiden suolaukseen. Suolauksen lisääntyminen vaikutti sähkönjohtavuuteen sekä natriumin ja kloridin pitoisuuksiin. Sen sijaan ammoniumtyypen pitoisuuden kasvulle ei löydetty selvää päästölähdettä, mutta sen mahdollinen lähde on liikenteen pakokaasut. Toisaalta liikennemäärän vaikutus sähkönjohtokyvyn sekä natriumin, kloridin ja ammoniumtyypen kasvuun voi olla välillinen, sillä suolauksen määrä lisääntyy portaittain tieluokituksen mukaan.

Useissa tapauksissa parkkipaikkojen ja tienpintojen valumavedet sisälsivät enemmän raskasmetalleja kuin esimerkiksi kattojen valumavedet. Raskasmetalleista lyijy, rauta, alumiini ja kromi esiintyvät suurimmaksi osaksi partikkeleihin sitoutuneena, kun sinkki, kupari, kadmium ja nikkeli esiintyvät suurimmaksi osaksi liukoisessa muodossa. Lyijypitoisuuksien havaittiin vähentyneen huomattavasti viime vuosikymmeninä, mikä on seurausta lyijypitoisen bensiinin asteittaisesta käytöstä poistamisesta. Liikennealueiden sinkkipitoisuudet olivat hyvin vaihtelevia muihin raskasmetallipitoisuuksiin verrattuna. Sinkkiä esiintyi ajoneuvojen osissa, sinkitetyissä rakenteissa ja autonrenkaiden kumimuruissa. Parkkipaikkojen raskasmetallipitoisuudet vaihtelivat laajasti niiden käyttötarkoituksen mukaan. Teollisen maankäytön valumavesistä suurin osa kuparikuormasta oli peräisin parkkialueilta. Lisäksi huomattava osa kaupunkien valuman sinkki- ja kadmiumkuormasta oli peräisin parkkialueilta. Asfalttipintojen ei havaittu juurikaan vaikuttavan sadeveden pH-arvoon, kun taas betonisten pintojen havaittiin nostavan sadeveden pH-arvoa. (Huber ym. 2015; Sansalone & Buchberger 1997.)

Grung ym. (2021) vertasivat polysyklisen aromaattisten yhdisteiden, PBDE-yhdisteiden, organofosfaattiyhdisteiden sekä bentsotiatsolien esiintymistä kahdessa liikenteen hulevesiä käsittelevässä hulevesialtaassa kahteen maaseutualueella sijaitsevaan järveen. Vuoden 2016 kesä–elokuussa otettiin näytteitä vedestä, sedimentistä ja kasveista. Lisäksi osasta kohteita pyydystettiin analysoitaviksi toukkia

ja kaloja. Kaikkien kohteiden vesinäytteissä havaittiin kahta PBDE-yhdistettä (BDE47 ja 99), mutta vain hulevesialtaissa esiintyi myös BDE153-yhdistettä. Alkaloituja polysyklisiä aromaattisia yhdisteitä, organofosfaattiyhdisteitä ja PBDE-yhdisteitä esiintyi enemmän hulevesialtaissa. Kaikkia organofosfaattiyhdisteitä havaittiin hulevesialtaiden vedestä, mutta vain puolta yhdisteistä havaittiin järvistä. Organofosfaattiyhdisteitä havaittiin vähemmän sedimentissä kuin vedessä. Haitta-aineryhmien pitoisuuserot olivat suurimmat sedimentissä. Bentsotiatsoleja havaittiin vain pieninä pitoisuuksina hulevesialtaiden sedimenteissä. Biokertyvyyttä havaittiin polysyklisillä aromaattisilla yhdisteillä ja PBDE-yhdisteillä. Ainoastaan hulevesialtaiden kaloissa esiintyi organofosfaattiyhdisteitä ja bentsotiatsoleja. Tutkimuksen perusteella voidaan päätellä, että hulevesialtaat ovat hot spot -alueita kaupunki- ja liikenneperäisille epäpuhtauksille.

### **Teollisuusalueet**

Etenkin teollisuusalueilla hulevesissä esiintyvät haitta-aineet vaihtelevat huomattavasti. Hätisen (2010) tekemässä tutkimuksessa selvisi, että Hollolan teollisuusalueiden maaperästä sekä hiekanerotus- ja imeytyskaivosta otetuissa näytteissä esiintyi monia eri haitta-aineita. Useimmiten hulevesissä esiintyi raskaita öljyhiilivetyjä, kuparia ja sinkkiä, mutta myös VOC- ja PAH-yhdisteitä. Lisäksi joillakin teollisuusalueilla havaittiin teollisuustoiminnasta peräisin olevia haitta-aineita, kuten tolueenia. (Kuntaliitto 2012, 126.) Liu ym. (2019) tekemän tutkimuksen mukaan mikromuoveja esiintyi enemmän yritys- ja teollisuusalueiden hulevesilammikoissa kuin asuin- ja tieliikennealueiden hulevesilammikoissa.

Haitta-aineiden päästölähteitä teollisuus- ja liikealueilla ovat lastausalueet, kulkuneuvojen huolto ja vuodot sekä materiaalien ja raaka-aineiden käsittely ja varastointi (Kuntaliitto 2012, 126). Teollisuuden ja energiantuotannon ja polttoprosesseissa syntyvät ilmapäästöt päätyvät hulevesiin kuiva- tai märkälaskeumana, ja laskeuma voi olla peräisin paikallisista lähteistä tai kaukokulkeutumaa. (Airola ym. 2014, 14–15.) Kuivalaskeuman myötä hulevesiin voi päätyä aerosoleja, kaasuja ja pölyä (Georgij ym. 1983, Göbel ym. 2006 mukaan). Sateen, lumen, sumun, kasteen ja pakkasen johdosta ilmakehästä huuhtoutuneet haitta-aineet päätyvät maahan märkälaskeumana. Märkälaskeuma sisältää muun

muassa sulfaatteja, klorideja, nitraatteja, fosfaatteja sekä polttolaitosten toiminnassa syntyviä happoja (rikkioksidit (SO<sub>x</sub>), typen oksidit (NO<sub>x</sub>) ja kloridi). Ihmistoiminnasta peräisin olevien ilmansaasteiden ja laskeuman esiintyminen vaihtelevat alueellisesti. Eniten niitä esiintyy teollisuusalueilla ja niiden laitamilla. (Göbel ym. 2006.)

### **Asuin- ja viheralueet**

Asuin- ja viheralueiden sekä puutarhojen hulevesissä esiintyviä haitta-aineita ovat torjunta-aineet, lannoitteet, fosfori, typpi, happea kuluttavat aineet ja orgaaniset roskat. Myös puunsuoja-aineita voi esiintyä asuinalueelta peräisin olevissa hulevesissä. Asuinalueiden hulevesissä esiintyy yleensä vähemmän metalleja kuin liikenne- ja teollisuusalueilla, mutta asuinalueella esiintyy usein suuria määriä ravinteita ja bakteereja. Suolistoperäisten bakteerien määrän on havaittu kasvavan asukastiheyden kasvaessa. (Kuntaliitto 2012, 126–127.)

Melanen (1981, 160) havaitsi hulevesien laadussa tilastollisesti merkittävän eron esikaupunkialueiden ja muun tyyppisten alueiden (liikenne- ja keskusta-alueiden) välillä. Kontulan ja Pakilan esikaupunkialueiden hulevedet olivat parempilaatuisia verrattuna Herttoniemen liikennealueeseen. Lisäksi Kajaanissa sijaitsevan Kaukovainion asuinalueen ja Kajaanin keskusta-alueen hulevesien laadussa havaittiin merkittäviä eroja kokonaiskiintoaineen, suspendoituneen kiintoaineen, kokonaistypen, sulfaattien ja lyijyn suhteen. Haitta-aineiden suhteet olivat hieman ristiriitaisia, sillä kokonais- ja suspendoituneen kiintoaineen sekä lyijyn pitoisuudet olivat keskiarvoltaan korkeampia Kajaanin keskusta-alueella, mutta kokonaistypen ja sulfaattien pitoisuudet olivat korkeimmat Kaukovainion asutusalueella. Ristiriitaiset tulokset ja ei-merkittävät erot muihin parametreihin verrattuna johtuivat todennäköisesti Kajaanin keskusta-alueen hulevesien pienistä havaintomääristä.

### **Muut päästölähteet**

Rakennus- ja päällystemateriaaleilla on myös vaikutus hulevesien laatuun (Kuntaliitto 2012, 86). Rakenteista ja rakennuksista huuhtoutuu hulevesiin sadannan vaikutuksesta erityisesti metalleja esimerkiksi kadmiumia ja sinkkiä sekä orgaanista

ainesta. Metalleja huuhtoutuu hulevesiin etenkin kuparisista tai käsittelemättömistä sinkitetyistä peltikatoista. Rakennusten kaapeleista ja saumaussmassoista päätyy PCB-yhdisteitä hulevesiin. (Airola ym. 2014, 17–18.) Lisäksi rakennusmateriaaleista kulkeutuu hulevesiin muun muassa biosideja (Bollmann ym. 2014). Rakentamisessa tulisi suosia materiaaleja, jotka ovat testattu ja sisältävät vähän raskasmetalleja (Kuntaliitto 2012, 86).

Kooltaan pienillä rakennustyömailla voi olla suuri vaikutus valuma-alueen kokonaiskuormitukseen. Rakennustyömailla tehtävät kaivuutyöt sekä kasvillisuuden poistaminen lisäävät huomattavasti huleveden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksia. (Kuntaliitto 2012, 76, 128.) Erilaiset toiminnoissa syntyvät vedet ja lietteet, kuten julkisivujen puhdistuksessa muodostuvat vedet ja rappauksessa syntyvät lietteet, ovat yleensä emäksisiä, ja ne voivat sisältää kiintoaineen lisäksi erilaisia haitta-aineita. Hulevesien hallinta tulee huomioida jo rakennustöiden suunnittelussa. (Helsingin kaupunki 2013, 3.) Sillanpää (2007) tutki vuosina 2001–2006 Espoon Saunalahdessa sijaitsevan rakennustyömaan vaikutusta hulevesien määrään sekä kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksiin. Rakennustöissä metsäinen alue muutettiin asuinalueeksi, jossa suurin osa rakennuksista oli kerrostaloja. Hulevesivalunnan määrässä ja nopeudessa havaittiin selkeä nousu kesällä 2004, jolloin lähes jokaisella kohteella oli aloitettu asuntorakentaminen ja pääkadut oli päällystetty. Rakennustyömaan kiintoaine- ja ravinnekuormitusten havaittiin olevan lähes kolme kertaa suurempia verrattuna maatalouteen, 3–5 kertaa suurempia verrattuna rakennettuun asuinalueeseen ja 10–50 kertaa suurempia verrattuna metsätalousalueeseen.

Liikenteen lisäksi mikromuoveja päätyy muun muassa roskaamisen ja rakentamisen takia. Tekonurmikentillä käytettävää SBR-kumirouhetta voi päätyä ojiin ja puroihin sekä hulevesiverkostoon sateen, tuulen ja lumen sulamisvesien mukana, jos kentän huoltotöissä muodostuvia kumirouhekasoja ei poisteta oikealla tavalla (Setälä & Suikkanen 2020, 66–67, 95–96).

Bakteereja päätyy hulevesiin esimerkiksi eläinten ulosteista ja jätevesiviemäreiden vuodoista tai väärinkytkenöistä. Lisäksi kemikaalipäästön riskin alueilta (esim. huoltoasemilta) ja onnettomuuksien seurauksenavoi hulevesiin päätyä erilaisia haitta-aineita. Roskat ja jätteet ovat myös hulevesien haitta-aineiden päästölähteitä. (Kuntaliitto 2012, 124–127, 202.)

## 4.2 Haitta-ainepitoisuuksien määrittäminen

Haitta-ainepitoisuudet vaihtelevat suuresti paikallisten olosuhteiden sekä vuodenaikaisten ja päivittäisten säävaihteluiden takia (Holt ym. 2018, 20). Maankäytön ja alueen toimintojen lisäksi hulevesien laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat valuma-alue, vuodenaika, valuntaa edeltäneen kuivan jakson pituus sekä sadanta. Kylmillä ilmastoalueilla haitta-aineiden päästölähteet voivat vaihdella lämpimien ja kylmien kuukausien välillä. Esimerkiksi ajoneuvojen ja palamisreaktioiden päästöt kasvavat yleensä talvella. Kiintoaineen, orgaanisen hiilen ja useiden raskasmetallien pitoisuudet ovat suurempia lumen sulamisvesissä kuin lämpimän ajanjakson valumassa muun muassa lumenaurauksen ja nastarenkaiden aiheuttaman tien kulumisen takia. Kuitenkin kausittaisten valumien haitta-ainepitoisuudet voivat myös riippua maankäytöstä ja tarkasteltavasta haitta-aineesta. (Kuntaliitto 2012, 124–131, Valtanen 2015, 11–12.)

Päällystetyillä alueilla ainehuuhtoumat ovat yleensä suurempia. Mitä isompi osa alueesta on päällystetty, sitä korkeampia ovat keskimääräiset haitta-ainepitoisuudet. Tätä on havaittu etenkin kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuksissa. Päällystettyjen pintojen määrällä ei puolestaan ole havaittu olevan samanlaista vaikutusta kokonaistyyppipitoisuuksiin tai kemialliseen hapenkulutukseen. Lämpöisemmät pinnat vaikuttavat myös haitta-ainepitoisuuksien vuodenaikaisvaihteluihin. (Kotola & Nurminen 2005, 29–30; Kuntaliitto 2012, 124–131.)

Haitta-aineiden sitoutumisaste ja kulkeutumismekanismit vaihtelevat haitta-ainekohtaisesti, mutta myös olosuhteet, kuten pH vaikuttavat siihen esiintyvätkö haitta-aineet kiintoaineeseen sitoutuneena vai liukoisessa muodossa. Haitta-aineet ovat monesti sitoutuneena kiintoaineeseen, kun pH on yli 7. Kiintoainepartikkeleihin sitoutuneen haitta-aineen kulkeutumiseen vaikuttavat partikkelin koko ja paino. Kevyempi partikkeli kulkeutuu yleensä kauemmaksi alkuperäisestä lähteestä kuin painavampi partikkeli. (Jokela 2008, 23.) Hulevesien haitalliset vesistövaikutukset aiheutuvat monesti suorasti tai epäsuorasti kiintoaineen kulkeutumisesta. Tarkkailemalla kiintoaineen määrää ja kulkeutumista voidaan saada hyvää tietoa hulevesien laadusta. (Kuntaliitto 2012, 124–127.)

Hulevesien laatuun vaikuttavan ainehuuhtouman arvioimiseksi tarvitaan tietoa haitta-aineiden pitoisuuksista ja tarkkailuajan valunnasta. EMC-arvolla (Event Mean Concentration) kuvataan haitta-aineiden pitoisuuksien keskiarvoja valuntatapahtuman aikana. Se voidaan määrittää kokoomanäytteestä tai valuntatapahtuman valunnan määrällä painotettuna keskiarvona eri ajankohdista kerätyistä analyysituloksista. EMC-arvo soveltuu esimerkiksi kuormituslaskelmiin, joissa tietoa hetkellisistä pitoisuuksista ei tarvita. (Kuntaliitto 2012, 9, 124–131; Valtanen ym. 2012,13.) SMC-arvolla (Site Mean Concentration) tarkoitetaan paikkakohtaista pitoisuuskeskiarvoa, jonka avulla tarkastellaan huleveden laatua muun muassa maankäyttömuodoittain (Lee ym. 2002, Lehikoinen 2015 mukaan).

Hulevesien suurimmat haitta-ainepitoisuudet esiintyvät usein alkuhuuhtouman aikana (Kuntaliitto 2012, 129). Alkuhuuhtouman first flush -ilmiössä sadetapahtuman alkuvaiheessa vettä läpäisemättömiltä pinnoilta tulee merkittävä osuus koko sadetapahtuman aikaisesta kuormituksesta, kun sadevesi huuhtoo mukanaan päällystetyille pinnoille kertyneet epäpuhtaudet (Kotola & Nurminen 2005, 14; Ruth 2004, 10). Ruthin (2004, 104) tekemän tutkimuksen mukaan purovesien kiintoainepitoisuuksilla oli selkeä yhteys virtaamaan. Kuitenkin hulevesitulvan alku- ja loppuvaiheen yhtä suurien virtaamien kiintoainepitoisuuksissa oli huomattavia eroja. Suurimmat kiintoainepitoisuudet havaittiin pääosin juuri ennen huippuvirtaamia.

Sansalone (1997) puolestaan havaitsi, että alkuhuuhtoumaa ei esiinny kaikkien haitta-aineiden kohdalla. Liukoisessa muodossa olevien sinkin, kuparin ja kadmiumin kohdalla oli havaittavissa voimakasta alkuhuuhtoumaa, mutta lyijyn kohdalla esiintyi heikkoa alkuhuuhtoumaa kaikkien sadetapahtumien aikana. Kerkkänen (2019) selvitti kiintoaineen alkuhuuhtoumaa kahden sadetapahtuman aikana kiintoainenäytteiden ja viittä sadetapahtumaa jatkuvatoimisen mittarin sameusarvojen avulla, koska sameuden havaittiin korreloivan hyvin kiintoaineen kanssa. Näytteiden avulla määritetyistä sadetapahtumien kiintoainepitoisuuksista vain ensimmäisessä havaittiin alkuhuuhtoumaa. Valuntatapahtuman aikaisesta kiintoaineksestä 40 % oli huuhtoutunut, kun 20 % valuntatapahtuman valunnasta oli tapahtunut. Kolmen samana päivänä peräkkäin esiintyneestä ja intensiteetiltään samansuuruisesta sadetapahtumasta vain viimeisessä esiintyi hieman alkuhuuhtoumaa.



## 5 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Hulevesien haitta-aineet voivat aiheuttaa pinta- ja pohjavesissä haittavaikutuksia, jotka voivat ilmetä heti tai vasta ajan kuluessa. Usein hulevesi on laadultaan melko hyvää, eikä yksittäisellä hulevesitapahtumalla ole ympäristön kannalta suurta merkitystä (poissulkien tietysti haitallisten aineiden vuodot tms.), mutta koska hulevesistä aiheutuva kuormitus on jatkuvaa, kumuloituvat ympäristövaikutukset vähitellen. Esimerkiksi Hula-hankkeen monitoroinnin aikana ei havaittu vesinäytteiden tuloksissa Tukholman läänissä käytössä olevien raja-arvojen ylityksiä, kuin yksittäisissä tapauksissa. Tämä ei kuitenkaan poista tarvetta käsitellä hulevesiä ja samalla hallita niiden laatua.

### 5.1 Vesistövaikutukset

Hulevedet aiheuttavat sekä akuutteja että kroonisia laatuvaikutuksia purkuvesistöihin, etenkin mataliin ja herkkiin lampiin, pienjärviin tai järvenlahtiin. Akuuteilla laatuvaikutuksilla tarkoitetaan lyhyellä aikavälillä (tunti–päivä) tapahtuvia vaikutuksia vesistöön, joita aiheuttavat esimerkiksi kemikaalivuodot tai sekaviemäroinnin ylivuodot. Ne näkyvät vesistövaikutuksina muun muassa äkillisinä kalakuolemina. Kroonisilla laatuvaikutuksilla tarkoitetaan kestoltaan pitkällä aikavälillä (kuukausi–vuosi–vuosikymmen) tapahtuvia vaikutuksia vesistöön, jotka johtuvat haitta-aineiden kertymisestä. Haitta-aineiden kertyminen näkyy pohjaveden pilaantumisenä sekä vesistöissä rehevöitymisenä ja haitta-aineiden kertymisenä sedimenttiin. (Kuntaliitto 2012, 132–134.)

Suurin osa hulevesien aiheuttamista haittavaikutuksista ovat kroonisia, mikä tekee niiden havaitsemisesta ja arvioimisesta hankalaa. Hulevesien vesistövaikutukseen vaikuttaa se, esiintyvätkö haitta-aineet liukoisessa muodossa vai kiintoainepartikkeleihin sitoutuneena. Akuutteja vesistövaikutuksia aiheuttavat todennäköisesti suurina määrinä esiintyvät liukoiset haitta-aineet, kun taas kiintoaineseen sitoutuneet haitta-aineet aiheuttavat todennäköisesti kroonisia vesistövaikutuksia. Haitta-aineen olomuoto ja yhdisteet voivat kuitenkin muuttua

esimerkiksi viemäriverkostossa tai vesistöissä, minkä takia pelkästään haitta-aineen olomuoto ei määritä sen aiheuttamia vesistövaikutuksia. (Valtanen ym. 2010, 15.)

Kiintoaine kertyy verkostoihin, hulevesirakenteisiin ja vesistöjen pohjalle. Kertyvä kiintoaines pienentää vesistöjen vesitilavuutta ja aiheuttaa vesistöjen samentumista. Monet haitta-aineet kulkeutuvat kiintoaineen mukana vesistöihin. Ravinteet aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä ja umpeenkasvua. (Kuntaliitto 2012, 124–137.) Rehevöityminen vähentää vesistön happipitoisuutta, mikä voi aiheuttaa kalakuolemia ja vähentää biologista monimuotoisuutta. Hulevesien sisältämät bakteerit ja virukset voivat aiheuttaa muuan muassa vesistöjen hygieenisen laadun heikkenemistä ja pohjaveden pilaantumista. Raskasmetallit puolestaan ovat elinympäristölle haitallisia aineita ja myrkyllisiä pieninä pitoisuuksina. Metallit voivat kertyä eliöiden elimistöön, jolloin metallien pitoisuus kasvaa siirryttäessä ylöspäin ravintoketjussa. (Nurhonen 2020, 8–9.) Märkälaskeuman hapot alentavat hulevesien pH-arvoa (Göbel ym. 2006).

Hulevedet aiheuttavat myös muutoksia valunnan määrissä ja virtaamisissa, minkä takia purkuvesistöissä voi tapahtua laadullisia muutoksia. Esimerkiksi hulevedet voivat aiheuttaa purovesistöissä ylivirtaamia ja virtaamavaihteluita, mikä puolestaan lisää eroosiota ja kasvattaa uomien kiintoainekulkeumaa. Purovesistöjen lämpötila voi nousta kesäaikaan lämmenneiltä pinnoilta tulevien hulevesien seurauksena. (Kuntaliitto 2012, 134.)

## 5.2 Pohjavesivaikutukset

Rakennetun alueen vettä läpäisemättömät pinnat vähentävät maaperään imeytyvän veden määrää ja näin ollen pohjaveden muodostumista, mikä aiheuttaa pohjaveden pinnan alenemista ja vähentää pohjavesivirtausta uomiin. Tämän seurauksena uomien virtaamat voivat pienentyä kuivan kauden aikana. Pohjaveden pinnan aleneminen voi vaikuttaa kasvillisuuden elinehtoihin ja maaperän vesitalouteen. (Kotola & Nurminen 2005, 16 mukaan.)

Eniten pohjavesille haittaa aiheuttavat suuret pitoisuudet liukoisessa muodossa olevia haitta-aineita, sillä ne eivät pidäty maaperään yhtä hyvin kuin partikkelimaiset haitta-aineet. Hulevesissä esiintyvistä haitta-aineista erityisesti esimerkiksi bensiinin lisäaine

MTBE, tiesuolat ja torjunta-aineet ovat pohjaveden laatua pilaavia haitta-aineita. Tämän lisäksi hulevedet voivat kuljettaa mukanaan maaperään sitoutuneita luonnollista alkuperää tai ihmistoiminnasta peräisin olevia haitta-aineita. Erityisesti teollisuusalueilla ja tiesuolatuilla alueilla tulee huomioida pohjavesien pilaantumisen riski ja se, soveltuuko hulevesien imeyttäminen kyseiselle alueelle. (Kuntaliitto 2012, 124–136.)

## **6 HULEVESIEN HALLINTAMENETELMÄT**

Hulevesien hallinnan tavoitteena on pinta- ja pohjavesien tilan suojeleminen ja parantaminen, rakennettujen alueiden veden kierto- ja kierrättämisen edistäminen, taajamatulvien syntymisen ehkäiseminen ja taajamien kuivatus. Hulevesien hallinnan yleisten periaatteiden mukaan ensisijaisesti tulee ehkäistä hulevesien muodostumista. Jos hulevesien muodostumisen ehkäiseminen ei ole mahdollista, muodostuvien hulevesien määrää pyritään vähentämään käsittelemällä ja hyödyntämällä hulevedet jo niiden muodostumispaikalla. Prioriteettijärjestyksessä seuraavana tulee suosia hulevesien johtamista suodattavaan ja hidastavaan järjestelmään tai hidastus- ja viivytyalueille. Hulevedet tulee johtaa purkuvesistöihin tai pois alueelta, mikäli muita periaatteita ei voida toteuttaa. (Kuntaliitto 2012, 19–22.)

Hulevesien hallintamenetelmät jakautuvat toimintaperiaatteensa mukaan hulevesien vähentämiseen, käsittelyyn, viivyttämiseen ja johtamiseen. Toimintaperiaatteeltaan erilaisia hallintamenetelmiä voidaan yhdistää parhaimman lopputuloksen aikaansaamiseksi. Hulevesien hallintamenetelmän valintaan vaikuttavat alueen riskikohteet, koko sekä hulevesien hallinnalle asetetut laadulliset ja esteettiset tavoitteet. Joka kohteessa hulevesien määrällisen ja laadullisen hallinnan kannalta paras ratkaisu ei sovellu kohteeseen esimerkiksi liian vähäisen tilan tai turvallisuusriskien takia. (Kuntaliitto 2012, 19–22, 141.)

### **6.1 Hulevesien määrän vähentäminen**

Hulevesien määrän vähentämisen toimenpiteet voivat olla ei-rakenteellisia tai rakenteellisia. Ei-rakenteellisella toimenpiteellä tarkoitetaan esimerkiksi ohjeistuksia ja maankäytön suunnittelua. Rakenteellisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi vettä läpäisemättömien pintojen muuttaminen vettä läpäiseviksi tai pidättäviksi. Kasvillisuus pystyy pidättämään ja hyödyntämään vettä, mikä lisää veden haihduntaa. Lisäksi kasvillisuus ja maaperän ekosysteemi tekevät maaperästä vettä läpäisevämmän. Kulkeutuessaan painovoimaisesti maakerroksissa hulevesi suodattuu, jolloin kiintoaines ja epäpuhtaudet rikastuvat maakerrokseen. Maaperän mikrobit sekä poistavat että muuttavat epäpuhtauksia ja ravinteita vaarattomampaan muotoon. (Kuntaliitto 2012, 142–144.)

Hulevesien muodostumista voidaan ehkäistä hyvällä maankäytön suunnittelulla. Maankäytön suunnittelussa hulevesiä tulee tarkastella jokaisella kaavatasolla valuma-aluelähtöisesti. Yleiskaavoitusta varten tehtävän selvityksen tai suunnitelman avulla saadaan kokonaiskuva hulevesien hallinnan tarpeista ja keinoista. Asemakaavassa määritellään tilavaraukset hulevesien hallintajärjestelmille. Lisäksi asemakaavamääräykset voivat sisältää vaatimuksia hulevesien hallinnan järjestämiselle. (Kuntaliitto 2012, 15–20, 46–52.)

Hulevesien imeyttämällä pyritään ylläpitämään luonnollista hydrologista kiertoa muuttamalla hulevesien pintavalunta maaperässä tapahtuvaksi pintakerros- ja pohjavesivalunnaksi. Hulevedet puhdistuvat biologisten, kemiallisten ja fysikaalisten prosessien avulla kulkeutuessaan maakerroksissa painovoimaisesti. Imeytysjärjestelmät soveltuvat käyttökohteisiin, joissa halutaan ehkäistä pohjaveden pinnan alenemista. Ennen imeytysrakennetta, varsinkin kaivantoa, hulevedet tulee esikäsitellä esimerkiksi tasausaltaassa ensin, jotta kiintoaines ei tuki imeytysrakenteita. Imeytykseen johdettavien hulevesien esikäsitely on tarpeen alueilla, joilla hulevedet sisältävät suuria määriä kiintoainetta tai liukoisia haitta-aineita, tai riski kemikaalipäästöön on olemassa. (Kuntaliitto 2012, 146–147.)

Läpäisevät päällysteet, kuten avoin asfaltti, kennosora sekä reikälaatta ja -kiveys, pienentävät muodostuvan huleveden määrää ja virtaamaa sekä edistävät pohjaveden muodostumista. Hulevesi varastoituu läpäisevän pintakerroksen alapuolella oleviin karkean kiviaineksen rakennekerrokseen, joista vesi joko imeytyy maaperään tai johdetaan salaojilla eteenpäin. Läpäisevät päällysteet soveltuvat käyttökohteisiin,

joissa liikennemäärät ovat vähäiset, kuten esimerkiksi kevyen liikenteenväylille. Niitä käytettäessä tulee huomioida alueella mahdollisesti esiintyvät epäpuhtaudet. Läpäisevät päällysteet voivat tukkeutua, minkä takia rakenteen säännöllinen huolto on tärkeää. (Kuntaliitto 2012, 144.)

Viherkatot ovat yleensä kattoja, jotka on päällystetty sammal- tai maksaruohomatoilla. Ne vähentävät hulevesien määrää imeyttämällä sekä haihduttamalla hulevesiä (Kuntaliitto 2012, 250). Viherkattoja, joissa käytetään monipuolisesti kasvilajeja ja muita luonnonmateriaaleja, esimerkiksi puukappaleita, kutsutaan biodiversiteettikatoksi. Biodiversiteettikatot edistävät myös luonnon monimuotoisuutta. (Hautamäki ym. 2019, 12–14.)

Imeytyskaivannot ovat yleensä kiviaineksella täytettyjä kaivantoja, jotka ovat joko pinnaltaan avoimia tai maanalaisia. Pinnaltaan avoimiin kaivantoihin hulevedet johdetaan pintavaluntana ja ne esikäsitellään esimerkiksi viherpainanteessa tai viivytyksalpaissa. Kyseinen imeytysmenetelmä soveltuu suurelta valuma-alueelta johdettavien hulevesien imeyttämiseen. Maanalaisiin kaivantoihin hulevedet johdetaan salaojilla tai hulevesiviemäreillä ja esikäsitellään esimerkiksi hiekan- ja öljynerottimilla. Kyseinen imeytysmenetelmä soveltuu sekä pienien että suurien hulevesimäärien imeyttämiseen. (Kuntaliitto 2012, 147–149.)

Maanalaisten imeytyskaivantojen kiviaines voidaan myös korvata hulevesikaseteilla (Kuntaliitto 2012, 149). Hulevesikasetit ovat muovista valmistettuja moduuleita, joita voidaan asentaa päällekkäin tai vierekkäin. Kasetit voivat varastoida vettä jopa kolme kertaa enemmän kuin sepeli-imeytys. (Uponor 2012, 3–4.) Kasettien sisäpinnoille voi kehittyä ravinteita ja kiintoainetta hajottavaa biofilmiä (Setälä 2010; Jääskeläinen 2010, 64 mukaan). Hulevesikasetteja voidaan käyttää esimerkiksi pysäköinti- ja liikennealueilla, liikekeskuksissa sekä piha- ja varastoalueilla. Lisäksi on olemassa hulevesitunneleita, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi pientalokiinteistöllä. (Uponor 2012, 3–8.)

Biosuodatusalueella eli sadepuutarhalla tarkoitetaan hulevesien imeytykseen ja suodatukseen käytettäviä kasvillisuuden peittämiä painanteita. Biosuodatusrakenteessa on kasvien peittämä pintakerros, jonka alapuolella on 0,7–1 metriä paksu suodatinkerros. Suodatinkerroksessa käytetään hiekkaa tai muuta vettä hyvin läpäisevää suodatinmateriaalia. (Kasvio ym. 2016, 19.)

Biosuodatusrakenteeseen voidaan lisätä puhdistustehokkuutta lisääviä suodatinmateriaaleja, kuten biohiiltä (Kerkkänen ym. 2019). Painanteet voivat lammikoitua, minkä takia ne myös viivyttävät hulevesiä. Biosuodatusalueet soveltuvat hyvin esimerkiksi teollisuus-, keskusta tai liikennealueille, joiden hulevedet sisältävät suuria määriä kiintoainetta tai liukoisia epäpuhtauksia, tai alueilla on riski kemikaalipäästöille. (Kuntaliitto 2012, 147, 151.) Biosuodatusalueet eivät vaadi paljon tilaa, minkä takia ne soveltuvat rakennetuille alueille. Tutkimusten mukaan biosuodatusalueet poistavat hyvin kiintoainetta, ravinteita, raskasmetalleja sekä hiilivetyjä. Lisäksi ne voivat poistaa bakteereita. Biosuodatuksen on todettu poistavan tehokkaasti partikkelimaisia epäpuhtauksia, mutta liukoisten epäpuhtauksien poistotehokkuus on selvästi alhaisempaa ja vaihtelevaa. (Kasvio ym. 2016, 19–20.)

## 6.2 Hulevesien johtaminen

Hulevesien johtaminen tapahtuu joko pinta- tai putkijärjestelmillä. Pintajohtamisjärjestelmillä tarkoitetaan muun muassa kouruja, viherpainanteita, avo-ojia, puroja ja kanavia. Hulevesien pintajohtamismenetelmien periaatteena on hidastaa hulevesien virtausta, jotta epäpuhtauksien laskeutuminen ja hulevesien imeytyminen on mahdollista. Kyseinen johtamismenetelmä soveltuu väljästi rakennetuille alueille tai yksittäisille kiinteistöille. Putkijärjestelmillä puolestaan tarkoitetaan salaojia ja hulevesiviemäreitä. (Kuntaliitto 2012, 157–158.)

Avo-ojat ovat pintajohtamisjärjestelmiä, jotka viivyttävät hulevesiä sekä tasaavat virtaamia. Avo-ojat toimivat sen muodosta ja syvyydestä sekä maaperän ominaisuuksista riippuen myös hulevesiä imeyttävänä ja varastoivana rakenteena. Syviin avo-ojiin voidaan johtaa myös rakenteiden kuivatusvedet. Koska avo-ojat ovat yleensä jyrkkäluiskaisia ja syviä, ongelmina avo-ojissa ovat niiden kunnossapidon hankaluus, turvallisuusriskit sekä eroosio ja sortumat. (Kuntaliitto 2012, 158–159.) Avo-ojien käyttökohteita ovat teiden varret (Eskola & Tahvonen 2010).

Viherpainanteet, toisin kuin avo-ojat, ovat matalia ja reunakaltevuudeltaan loivia. Ne voivat olla nurmetettuja tai runsaan kasvillisuuden peittämiä alueita. Painanteiden tarkoituksena on hulevesien pintavalunnan johtaminen, mutta niitä voidaan myös

käyttää hulevesien viivytykseen, imeytykseen ja suodatukseen. Painanteisiin hulevesien johtaminen tapahtuu pintavaluntana tai keskitetysti muun muassa reunakiveyksien aukoista. Mataluutensa takia painanteet eivät sovellu rakenteiden kuivatusvesien johtamiseen. Hulevesien virtausta voidaan hidastaa pohjapatojen- ja kynnyksien avulla. (Kuntaliitto 2012, 159–160.)

Kanavat ovat hulevesien johtamiseen käytettäviä reittejä, jotka rakennetaan yleensä betonista tai kivistä. Ne ovat jyrkkäluiskaisia johtamisreittejä, joiden syvyys ja leveys vaihtelee. Kanaviin rakennettavien patojen avulla myös hulevesien viivyttäminen on mahdollista. Kanavat soveltuvat rakennetulle alueelle, sillä ne vaativat vähän tilaa. (Kuntaliitto 2012, 164.)

Rakennetuilla noroilla (avouomilla) tarkoitetaan mutkittelevia hulevesien johtamisreittejä, joissa käytetään muun muassa kiviä ja vesikasvillisuutta. Ne voivat olla muotoiltuja avo-ojia tai tarkoituksella kaivettuja. Rakennettuja noroja käytetään yleensä hulevesien pääpurkureittinä virkistysalueilla. Hulevesien johtamisen lisäksi uomat viivyttävät hulevesiä. (Kuntaliitto 2012, 164.)

Kourut ovat matalia ja kapeita hulevesien pintavalunnan johtamiseen tarkoitettuja painanteita, jotka rakennetaan betonista tai kivistä. Yleisimpiä kouruja ovat kapeat ja pyöreäpohjaiset betonikourut. Ne soveltuvat pienten hulevesimäärien esimerkiksi kattovesien johtamiseen viheralueille. (Kuntaliitto 2012, 168.)

### **6.3 Hulevesien viivyttäminen**

Hulevesien viivytyksmenetelmiä ovat painanteet, kosteikot, lammikot sekä rakennetut altaat ja kaivannot. Viivytyksmenetelmien toimintaperiaatteena on hulevesien virtauksen hidastaminen ja pidättäminen. Ne varastoivat järjestelmään johdettua hulevettä ja vapauttavat sen pikkuhiljaa tulovirtaaman jälkeen. Altaissa, lammikoissa ja kosteikoissa on yleensä pysyvä vedenpinta. Kaivannot ja painanteet puolestaan kuivuvat sadetapahtumien jälkeen. Talvella lumi ja jää voi pienentää viivytyksmenetelmien käsittelytilavuutta, mikä voi heikentää niiden toimivuutta. (Kuntaliitto 2012, 172–173, 183.)

Viivytysoainanteet ovat imeytysoainanteiden kaltaisia painanteita, jotka viivyttävät hulevesiä lammikoitumalla. Niiden viivytysoinlavuus tyhjentyä enintään muutaman vuorokauden päästä täyttymisestäään. Viivytysoainanteet voivat olla kiviaineksella verhoiltuja tai kasvillisuuden peittämiä. Niiden käyttökohteita ovat esimerkiksi asuinalueet ja yksittäiset kiinteistöt. (Kuntaliitto 2012, 173, 177.)

Viivytysoainantot ovat imeytysoainantoihin verrattavia maanalaisia rakenteita, jotka kuuluvat hulevesiviemäriverkostoon. Viivytysoainantot voivat olla esimerkiksi maanalaisia suuria muovi- tai betonisäiliöitä. Viivytysoainantot varustetaan sekä salaojituksella että purkuputkella. Viivytysoainantojen käyttökohteita ovat esimerkiksi suurien kauppojen piha-alueet ja kohteet, joissa maanpäällisille viivytysoainanteille ei ole tilaa. (Kuntaliitto 2012, 177.)

Lammikoiksi kutsutaan kooltaan pieniä hulevesien viivytysoainanteita, mutta vesisyvydeltään suhteellisen suuria altaita. Lammikoissa hulevesien sisältämä kiintoaine ja epäpuhtaudet laskeutuvat, sitoutuvat kasvillisuuteen tai hajoavat mikro-organismien toiminnan seurauksena. Yleensä hulevesilammikossa on pysyvä avovesipintainen alue, jonka ympärille istutetaan runsaasti kasvillisuutta. Lammikot varustetaan yleensä tasausaltaalla, joka toimii esikäsitteilynä lammikkoon tulevalle hulevedelle ja vähentää altaan huoltotarvetta. Lammikot tulee varustaa myös purku- ja tyhjennysputkella. Lammikot soveltuvat suurten valuma-alueiden ja poikkeuksellisten sateiden hulevesien hallintaan. (Kuntaliitto 2012, 172–174.)

Rakennettut altaat ovat hulevesien viivytysoainanteita varten betonista tai kivistä rakennettuja tiiviitä ja matalia vesialtaita. Niistä saadaan vesitiiviitä esimerkiksi asentamalla altaan pohja muovikalvolla. Altaan pohja voidaan rakentaa porrastetusti. Hulevedet ohjataan rakennettuihin altaisiin pintavaluntana joko maanpinnan kallistuksilla tai kouruilla. Altaissa tulee olla ylivuotoreitti sekä huoltotoimenpiteitä varten tyhjennysputki. Verrattuna muihin viivytysoainanteisiin rakennettut altaat vaativat eniten puhtaanapitoa. Rakennettujen altaiden käyttökohteita ovat kaupunkimaiset kohteet, joissa ne toimivat myös maisemaelementteinä. (Eskola & Tahvonen 2010; Kuntaliitto 2012, 172–174).

Kosteikot ovat hulevesien viivytysoainanteita ja puhdistamiseen käytettäviä kasvipeitteisiä alueita, joka koostuvat yleensä yhdestä tai useammasta syvästä avovesialtaasta ja matalammasta kasvillisuuden peittämästä alueesta. Kosteikko on pääsääntöisesti



veden peitossa oleva alue tai kostea alue, jonka vesisyvyys on matalampi ja kasvillisuus monipuolisempaa kuin lammikoissa. Sen toimintaperiaatteena on hulevesien kiintoaineen ja epäpuhtauksien laskeutuminen ja suodattaminen sekä liukoisten aineiden (N, P) sitoutuminen kasvillisuuteen. Kosteikot soveltuvat suurien valuma-alueiden ja poikkeuksellisten sateiden hulevesien hallintaan. (Kuntaliitto 2012, 172, 175–176.)

Joihinkin erityiskohteisiin hulevesien hallintaratkaisuja, kuten avovesipintaisia kosteikkoja, ei voida rakentaa. Vaihtoehtoisesti voidaan rakentaa esimerkiksi maanalaisia kosteikoita. Esimerkiksi Helsingin lentoasemalle rakennettiin maanalainen kosteikko, koska lentokentän tila oli rajallinen, järjestelmän tuli toimia talviolosuhteissa ja lentokentän alueelle ei voitu rakentaa lintuja houkuttelevia hulevesien hallintaratkaisuja. Maanalainen kosteikko muistuttaa rakenteeltaan jätevesien puhdistuksessa käytettävä maasuodatinta. Rakenteen puhdistustehokkuus perustuu murskatun kiviaineksen pinnalle muodostuvaan biofilmiin ei niinkään epäpuhtauksien sitoutumiseen suodatinmateriaaliin. Rakennetta ilmastetaan pohjasta käsin, jotta hajoamisprosessi tapahtuisi aerobisissa olosuhteissa. Hulevedet johdetaan rakenteeseen yläosassa olevien jakokanavien kautta ja kerätään pohjassa olevien salaojien avulla. Rakenteen kasvualustakerros toimii eristeenä talviolosuhteissa. (Hänninen & Hyöty 2019.)

#### **6.4 Hulevesien käsittely**

Hulevesien käsittelyn tarkoituksena on poistaa hulevesien sisältämiä epäpuhtauksia. Hulevesien käsittelyjärjestelmät eivät vaikuta muodostuvan huleveden määrään. Hulevesien käsittelymenetelmiä ovat suodatus ja öljynerotus. (Kuntaliitto 2012, 183.)

Suodatuksen puhdistustehokkuus perustuu hulevesien johtamiseen suodattavan materiaalin läpi. Suodattimet voivat olla rakenteellisia hiekkasuodattimia tai kasvillisuutta hyödyntäviä suodatusjärjestelmiä. Suodatusmenetelmiä voidaan käyttää esikäsittelynä ennen hulevesien johtamista esimerkiksi imeytykseen. (Kuntaliitto 2012, 183–185.)

Watec Oy on kehittänyt Filtro-kaivosuodattimia, joiden avulla voidaan puhdistaa rakennetun alueen hulevedet kustannustehokkaasti. Kyseinen suodatin on kaikkiin Suomen hulevesikaivoihin sopiva, helposti käyttöönotettava sekä helposti ja nopeasti tyhjennettävissä. (Watec Oy s.a.) Laboratoriokokeiden perusteella kaivosuodattimen todettiin poistavan tehokkaasti (>90 massa-%) yli 0,125 mm:n kokoisia kiintoainepartikkeleita. Poistotehokkuus vaihteli huomattavasti alle 0,125 mm:n kiintoainepartikkeleiden kohdalla. Kaivosuodattimen 110 mm viemäriputkelle määritelty maksimivirtauskapasiteetti oli 2,53 l/s eli 9,1 m<sup>3</sup>/h pintakuormana ilmaistuna. Suodattimen maksimivirtaamapasiteetiksi saatiin 96 l/s, joka tarkoittaa 346 m<sup>3</sup>/h. (Antikainen & Koskenlahti 2019.)

Öljynerotus tapahtuu johtamalla hulevedet tehdasvalmisteiseen öljynerottimeen. Huleveden sisältämä öljy tarttuu koalisattoreihin, joissa öljypisarot tarttuvat toisiinsa ja kerääntyvät veden pinnalle. Öljy nousee säiliön pintaosaan. Öljynerottimeen johdettavat hulevedet kannattaa johtaa hiekan- tai lietteenerotuksen läpi, jotta öljynerotin toimii suunnitellusti. Öljynerottimet soveltuvat ympäristönsuojelun kannalta merkittäville alueille, joilla kaikki hulevedet ovat tarpeen käsitellä. (Kuntaliitto 2012, 187.)

### **Kasvillisuuteen ja luonnonmateriaaleihin perustuvat ratkaisut**

Luonnonmateriaalien hyötykäyttöön perustuvat huleveden laadullisen hallinnan ratkaisut ovat parhaimmillaan edullisia ja materiaalit ovat helposti löydettävissä. Myös niiden jatkokäsittely käytöstä poistamisen jälkeen on yksinkertaista, sillä ne voidaan käsitellä esimerkiksi kompostoimalla.

Järviruokosuodattimen avulla on mahdollista poistaa kiintoainetta ja ravinteita sekä vähentää muovitavaroiden kulkeutumista eteenpäin. Järviruokosuodattimet ovat kustannustehokkaita ja helposti muunneltavia. Suodattimen kesto on vaikuttavat paikalliset olosuhteet. Esimerkiksi Kouvolan kaupungin Tanttarin lumenkeräysalueen lumensulamiesvesien puhdistamista varten rakennettiin järviruokosuodatin Maijonaron purkuojaan. Käytetty ruokosuodatin toimi hyvin kahden vuoden ajan, jonka jälkeen se alkoi padottamaan. (Vahvaselkä 2021.)

Kelluvat kosteikat ovat esikasvatettuja kasvillisuusmattoja. Kelluvien kosteikkojen puhdistus perustuu niiden juuristoon, joihin mikro-organismit muodostavat biokalvon.

Vedessä olevat partikkelit ja niihin sitoutuneet haitta-aineet kiinnittyvät biokalvoon ja muodostavat kokkareita, jotka ajan kuluessa irtoavat kosteikon juuristosta ja sedimentoituvat. Niiden on todettu poistavan ravinteita, partikkeleita ja metalleja. Kelluvat kosteikot soveltuvat esimerkiksi viivytyksaltaisiin. Ne on helppo asentaa ja niiden huoltotarve on vähäinen. Lisäksi ne tarjoavat kaloille ja linnuille elinympäristön sekä lisäävät biologista monimuotoisuutta. (Eg-trading Oy s.a, 2–3.)

Mielenkiintoinen uusi keino puhdistaa hulevesiä voisi olla puupohjaisten materiaalien hyötykäyttö. Vuosina 2018–2020 toteutetussa PuuMaVesi-hankkeessa (Puupohjaisilla uusilla materiaaleilla tehoa metsätalouden vesiensuojeluun ja vesistökuunnostuksiin) tutkittiin eri puulajista tehtyjen, vesistöihin sijoitettujen rankanippujen puhdistavaa vaikutusta. Puurakenteita käytettiin metsätalouden kohteissa, mutta toteutus on helposti monistettavissa myös hulevesikohteisiin. Hula-hankkeessa testattiin syksyllä 2022 puumateriaalin eli rankanippujen hyödyntämistä hulevesien käsittelyssä. Hankkeessa pilot-kohteena olevaan Karikon hulevesialtaaseen sijoitettiin kaksi nippujataa altaan poikki. Nippujen tarkoituksena on osaltaan hidastaa huleveden virtaamisnopeutta ja puhdistaa hulevettä puun pinnalle muodostuvan biofilmin avulla.

## **7 TEKNOLOGISET RATKAISUT HULEVESIEN MONITOROINTIIN**

### **7.1 Yleistä online-mittareista**

Vedenlaadun selvittämiseksi on perinteisesti otettu vesinäytteitä, jotka on lähetetty laboratorioon analysoitavaksi. Tämän rinnalle on kuitenkin noussut mittalaitteita, jotka voivat mitata esimerkiksi vedenlaadun muuttujia automaattisesti ja jatkuvatoimisesti. Mittaustuloksien tarkastelu onnistuu reaaliaikaisesti etänä. (Tattari ym. 2019, 9.) Jatkuvat toimisilla mittalaitteilla havaitaan hetkellisiä tai tiettyyn aikaan tapahtuvia muutoksia vedenlaadussa, jotka voivat jäädä perinteisillä näytteenottomenetelmillä havaitsematta. Perinteisellä näytteenotolla saadut pistehavainnot voivat antaa väärän kuvan kohteessa tapahtuvista muutoksista, jos esimerkiksi näytteenotto ajoittuu poikkeustilanteeseen. (Huttula ym. 2009, 14.) Lisäksi perinteiseen näytteenottoon, näytteiden kuljetukseen ja säilytykseen sekä laboratorioanalytiikkaan liittyvät

virhemahdollisuudet jäävät pois jatkuvatoimisissa mittareissa (Valkama & Lahti 2012, 6).

Jatkuvatoimista mittalaitetta valittaessa tulee huomioida kohde ja sen olosuhteet sekä mittalaitteen käyttötarkoitus. Mittalaitteen mittaustekniikan tulee soveltua kohteen olosuhteisiin. Myös mittaustulosten laatu- ja tarkkuusvaatimukset sekä tulosten vertailtavuus vaikuttavat mittalaitteen valintaan. Jatkuvatoimisten mittalaitteiden teknisiä vaatimuksia mittaustaikalle ovat esimerkiksi tilan tarve ja tarvittaessa sähkön saannin mahdollistaminen. Lisäksi mittalaitteen kustannukset tulee huomioida valintaa tehdessä. (Tattari ym. 2019, 13–17.)

Jatkuvatoimisiin mittareihin liittyy useampia epävarmuustekijöitä, joita ovat muun muassa antureiden kunto, ympäristöolosuhteet ja olosuhteet näytteessä. Eniten epävarmuutta jatkuvatoimisissa mittauksissa aiheuttavat näytteenotto- ja/tai mittaustaikan valinta, jota ohjaavat mittauksen tarkoitus ja tavoite. Mittalaitteiden toimintaa voivat haitata esimerkiksi lämpimien ympäristöolosuhteiden aiheuttama laitteiden likaantuminen ja kylmissä ympäristöolosuhteissa jäätyminen voi vaikuttaa laitteen toimivuuteen. (Tattari ym. 2019, 10, 17–18.)

Jatkuvatoimisilla mittareilla ei voida vielä mitata esimerkiksi mikromuoveja, lääkeainejäämiä tai suoraan pääravinteita. Pääravinteiden arvioinnissa käytetään muita vedenlaadun muuttujia, kuten kokonaisfosforin määrän arvioinnissa sameutta. Jatkuvatoimiset mittarit eivät välttämättä sovellu alhaisten pitoisuuksien mittaamiseen. (Tattari ym. 2019, 10, 17–18.)

Jatkuvatoimisten mittareiden käytön laadunvarmistukseen tulee kiinnittää huomiota, sillä laadunvarmistus määrittää tuotetun aineiston arvon ja käyttökelpoisuuden. (Tattari ym. 2019, 9–10.) Lähtökohtaisesti mittaustaitteita hankittaessa on kiinnitettävä huomiota siihen, että valittu mittalaite on laadukas ja soveltuu käyttötarkoitukseen (Huttula ym. 2009, 13). Jatkuvatoimisten mittareiden rinnalle tarvitaan laboratorioanalyysijä, joilla voidaan varmistaa antureiden toiminta ja mittaustarkkuus (Valkama & Lahti 2012, 4–6).

Jatkuvatoimisten vedenlaadun mittareiden tiedonsiirto tapahtuu dataloggerin eli tallentimen kautta. Laitteen mittaama data tallentuu dataloggeriin, josta tiedot lähetetään määritetyin väliajoin, esimerkiksi kaksi kertaa päivässä, tietokantaan.

(Huttula ym. 2009, 12.) Kerätyn datan hallinta ja käsittely vaatii kokemusta ja aikaa (Valkama & Lahti 2012, 4–6). Datan arvioimisessa tulee huomioida muun muassa datan ryömimiset, datasta havaittavat pitkäaikaiset trendit, mittarin tai anturin toimintakunto sekä kalibrointi- ja muuntoyhtälöt (Tattari ym. 2019, 33).

Mittarit tulee kalibroida ja huoltaa säännöllisin väliajoin. Huoltotoimenpiteisiin kuuluvat muun muassa virransaannin varmistaminen, antureiden puhdistus ja kiinnitysten varmistaminen. Huoltoväliin vaikuttavat mittauspaikka ja vuodenaika. (Tattari ym. 2019, 23–25.)

## **7.2 Vedenlaadun online-mittarit**

Suomessa käytössä olevilla YSI-, S::CAN- ja Hydrolab-merkkisillä jatkuvatoimisilla vedenlaadun mittareilla voidaan valmistajista riippuen mitata muun muassa lämpötilaa, pH:ta, sameutta, sähkönjohtavuutta, orgaanista kokonaishiiltä (TOC), liuennutta kokonaishiiltä (DOC) ja happea. Lisäksi joillakin antureilla voidaan mitata fykosyaniinia eli sinilevää, a-klorofylliä ja nitraattia. Useimmiten jatkuvatoimisiin mittalaitteisiin yhdistetään tiedonsiirtopalvelu, mikä mahdollistaa mittaustulosten reaaliaikaisen seuraamisen. (Tarvainen ym. 2015, 12–13.)

Sensmet Oy:n jatkuvatoimisen alkuaineanalyysointilaitteen mittausteknologia perustuu mikroplasmaan pohjautuvaan mittausteknologiaan. Alkuaineanalyysointilaitte on näytettä ottava laite, joka puhdistaa ja kalibroi itsensä automaattisesti. Näytteen määräksi riittää 1 dl. Analyysointilaitteeseen voidaan yhdistää useita näytteenottolinjoja. Alkuaineanalyysointilaitteella voidaan mitata yhtäaikaaisesti 20–30 alkuaineen pitoisuuksia, orgaanista kokonaishiiltä (TOC), liuennutta kokonaishiiltä (DOC) ja sameutta. Menetelmä on nykyisiin vesianalytiikan vaihtoehtoihin verrattuna kustannustehokas. (Laurila 2019; Sensmet Oy 2022.)

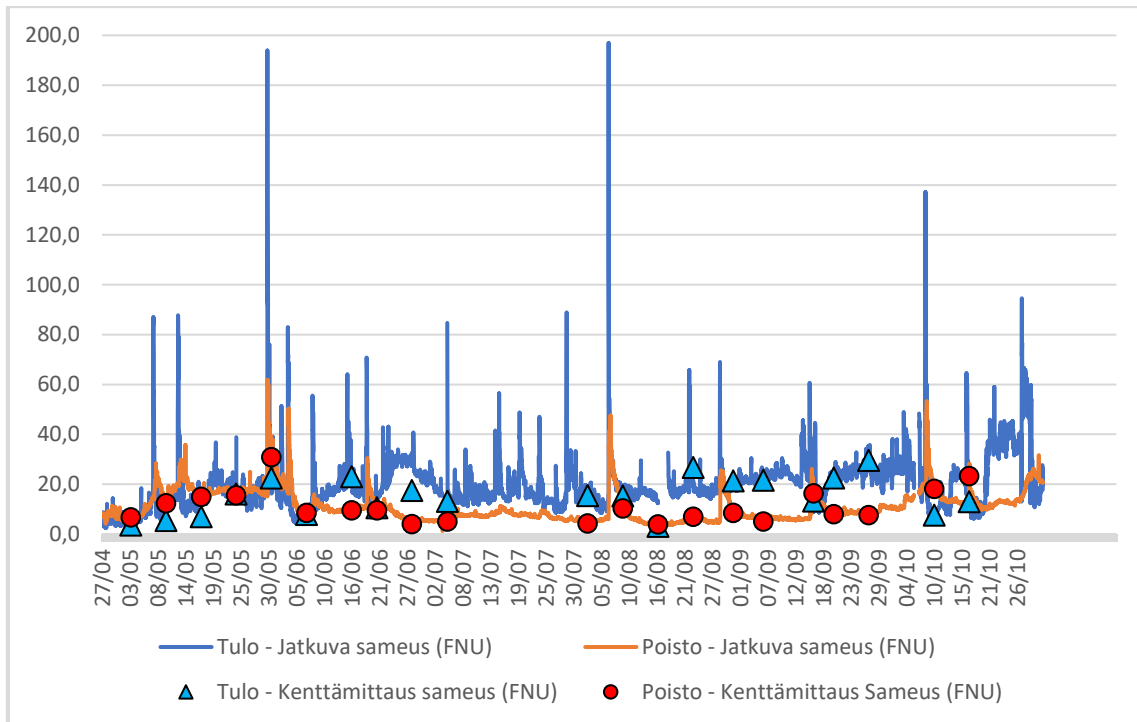
### **Hula-hankkeessa käytetyt jatkuvatoimiset mittarit**

Hula-hankkeessa jatkuvatoimista vedenlaadun monitorointia tehtiin YSI EXO 3 -vedenlaatusondeilla, joilla mitattiin veden lämpötilaa, pH:ta, sähkönjohtokykyä,

sameutta ja fluorensioivan liuenneen orgaanisen aineen määrää vedessä (fDOM). Mittareihin asennettiin automaattisesti toimiva puhdistusharja, joka puhdistaa säännöllisin väliajoin anturipäät. Vedenlaatusondien huolto ja kalibrointi tehtiin kerran vuoden 2021 syys-marraskuun ja neljä kertaa huhti-marraskuun 2022 aikana.

Jatkuvatoimiset vedenlaatumittarit mittasivat Pitkäjärven tutkimusympäristössä tulo- ja kokoojakaivon vedenlaatua. Pitkäjärven tutkimusympäristössä jatkuvatoimiset vedenlaatumittarit mittasivat tunnin välein. Mittausajalta (20.8.-16.11.2022) mittauksia tuli yhteensä noin 2 100 kappaletta. Karikon hulevesialtaassa sondit asennettiin tulo- ja poistopuolelle hankkeessa rakennettujen sondikellukkeiden avulla. Karikon hulevesialtaassa jatkuvatoimiset mittarit mittasivat 30 minuutin välein. Mittausajalta (27.4.-30.10.2022) mittauksia tuli per parametri noin 9 000 kappaletta. Sondit lähettivät mittaustulokset Keller ARC-1 -lähetinyksiköillä Kolibri-pilvipalveluun, josta tuloksia pystyttiin tarkastelemaan reaaliaikaisesti etänä.

Viikoittaisten kenttäkäyntien yhteydessä tehtiin mittauksia ProDSS-kenttämittarilla, jolla mitattiin veden lämpötilaa, pH:ta, sameutta, sähkönjohtokykyä ja happipitoisuutta (mg/l ja %). YSI Exo 3 -vedenlaatusondien tuloksia verrattiin ProDSS-kenttämittarin tuloksiin. Kuvassa 3 on esitetty jatkuvatoimisilla vedenlaatumittareilla ja kenttämittarilla mitatut sameusarvot. Sadetapahtumat aiheuttivat sameuspiikkejä. Jatkuvatoimisten mittareiden ja kenttämittarin sameuden mittaustulokset olivat yhteneviä.



**Kuva 3.** Jatkuvatoimisilla vedenlaatusondeilla ja kenttämittauksilla mitattu Karikon hulevesialtaan tulevan ja poistuvan veden sameus vuonna 2022.

Muidenkin parametrien kohdalla sondien ja kenttämittarin mittaustulokset olivat yhteneviä. Jatkuvatoimisten mittareiden avulla saatiin kattavasti dataa kohteilta. Pelkillä kerran viikossa suoritettavilla kenttämittauksilla tai perinteisellä näytteenotolla ei olisi päästy niin hyvin kiinni esimerkiksi sadetapahtumien aiheuttamiin sameuspiikkeihin.

### 7.3 Virtaaman online-mittarit

Hulevesien kokonaiskuormituksen määrittämiseksi tarvitaan tieto tarkkailujaksolla muodostuneesta valunnasta eli virtaamista (Kuntaliitto 2012, 128). Alla on esitelty kirjallisuudesta löydettyjä ja muissa hankkeissa käytettyjä menetelmiä virtaaman määrittämiseksi.

#### Nivus PCM4

Nivus PCM4 ultraäänivirtausmittari koostuu noin kaksi kiloa painavasta PCM4-yksiköstä ja anturista. PCM4-yksikkö toimii sekä verkkovirralla että akulla. Yksikön kotelo on veden- ja pölynkestävä. Virtausnopeuden mittaaminen onnistuu -100 cm/s – +600 cm/s välillä. Pinnankorkeuden mittaaminen onnistuu välillä 5–200 cm. (Haapamaa 2013, 16.)

Stormwater-hankkeessa Lahdessa virtaamamittaukset tehtiin Nivus PCM4 anturilla valuma-alueen vedet kokoavasta viemäriputkesta. Mittaukset suoritettiin minuutin aikavälillä vuoden ajan. Kouvolan mittausasemalla virtaamamittaukset tehtiin myös PCM4 anturilla hulevesiviemäristä. Nummelan mittausasemalla virtaamamittaus tehtiin mittapadon ja paineantureiden avulla. (Valtanen ym. 2012a, 5; Hujanen & Sänkiaho 2012, 12; Sänkiaho ym. 2012, 27.) Hulevesi S&C-hankkeessa liikennealueen viereen rakennetun biosuodatusalueen virtaaman mittaamiseen käytettiin Nivus PCM4 anturia. Virtaama mitattiin minuutin välein. (Kerkkänen ym. 2019.) Valtanen (2015, 17) käytti tutkimuksessaan virtaaman mittauksessa Nivus PCM4 anturia, joka asetettiin hulevesiviemäriputkeen. Virtaama mitattiin minuutin väliajoin lämpiminä ajanjaksoina. Kylminä ajanjaksoina, jolloin virtaamaa ei havaittu, mittausväli alennettiin 2–3 minuuttiin.

### **Unidata Starflow Ultrasonic Doppler Instrument**

Doppler-ilmiöön perustuvaa Unidata Starflow Ultrasonic Doppler Instrument mittaria voidaan käyttää virtausnopeuden määrittämiseen pienissä avouomissa tai putkistoissa. Starflow on kiinteästi asennettava mittari, jolla voidaan mitata virtaaman lisäksi lämpötilaa ja syvyyttä. Mikäli uoman mitat ovat tiedossa, laite pystyy sekä laskemaan että tallentamaan virtaamatietoja. Virtausnopeuksien mittaus onnistuu välillä 0,021–4,5 m/s (tarkkuus  $\pm 2$  %). Vedenpinnan korkeuden mittaus onnistuu 0–5 metrin välillä. Anturin käyttölämpötila on -17 - + 60 °C. Virtalähteenä toimivat paristot. Dataloggeri sisältyy laitteeseen. (Haapamaa 2013, 27–28; Unidata 2021.)

Haapamaa (2013, 27–29) vertasi v-padon ja paineanturilla, Flowtracker siivikkomittauksella ja Unidata Starflown akustisella virtaamamittarilla saatuja virtaamamittaustuloksia uomasta. Siivikkomittauksen ja akustisen virtaamamittarin tulokset olivat hyvin lähellä toisiaan. Puolestaan v-padon ja paineanturin virtaamat



olivat alhaisemmat, mikä voi selittyä mittauspisteen sijainnilla. Siivikkomittaus ja akustisen virtaamamittarin mittauspiste oli saman uoman varrella kuin v-pato ja paineanturi, mutta siihen virtasi yksi uoma enemmän v-padon mittauspisteeseen verrattuna.

## **Diehl Hydrus**

Diehl Hydrus 2.0 BULK on putkeen liitettävä virtaamamittari. Mittarin toiminta perustuu ultraäänimittaustekniikkaan, johon muun muassa hiekka, ilmataskut tai tärinä ei aiheuta mittauspoikkeamia. Laite rekisteröi todella matalat ja korkeat virtaamat. Pienin mahdollinen DN 50 tunnustama virtaama on 15 l/h. Virtaamamittarin ympäristön käyttölämpötila on -10 - +50°C ja virtalähteenä toimivat 3.6 V litiumparistot. Lähettimen avulla mittausdataa voidaan seurata etänä. (DIEHL Metering 2022.)

Assmuth (2017, 16–17) asensi Diehl Hydrus (DN 50 mm) vesimittarit biosuodatusalueiden poistoputkiin. Mittaustiedot kerättiin Wixon Waterbox lähettimeen. Ultraäänivesimittari ja asennettiin suojakotelon sisään U-motoiseen vesitiiviiseen loukkurakenteeseen varmistaakseen, että mittarit ovat jatkuvasti täynnä vettä. Poistovedestä tehtiin myös manuaalisia virtaamamittauksia litran mittalasin ja sekuntikellon avulla. Teknisten vaikeuksien takia automaattista virtaamamittaria käytettiin vain täydentämään manuaalisten virtaamamittauksien aukkoja ja tarkkailemaan voimakkaimpia sadetapahtumia.

## **Solinst Levellogger 3001**

Solinst Levellogger 3001 paineanturilla voidaan mitata sekä vedenpinnan korkeutta että lämpötilaa. Vedenpinnan korkeuden ja lämpötilan mittaustarkkuus on  $\pm 0,05$  %. Anturin käyttölämpötila on -20 – +80 °C. Virtalähteenä toimii litiumparisto. Anturiin liitettävän loggerin (esim. LevelSender 5 Telemetry) avulla mittausdataa voidaan tarkastella etänä. (Solinst 2021.)

HybArkt-hankkeessa pilottikohteiden jatkuvatoimiseen virtaaman seuraamiseen käytettiin v-mittapadon yhteyteen asennettuja Solinst 3001 LT Levellogger Edge (M5, tarkkuus  $\pm 0,3$  cm) pinnankorkeusantureita. Ilmanpaineen kompensointiin käytettiin

Solinst 3001 LT Barologger Edge (tarkkuus  $\pm 0,05$  kPa) barologgereita. Kenttäkäynneillä toteutettiin mittanauhan avulla manuaalisia pinnankorkeusmittauksia sekä astiamittauksia mittapadoilta ja vertailukohteilta, joissa ei ollut mittapatoja. (Postila ym. 2021, 17,21.)

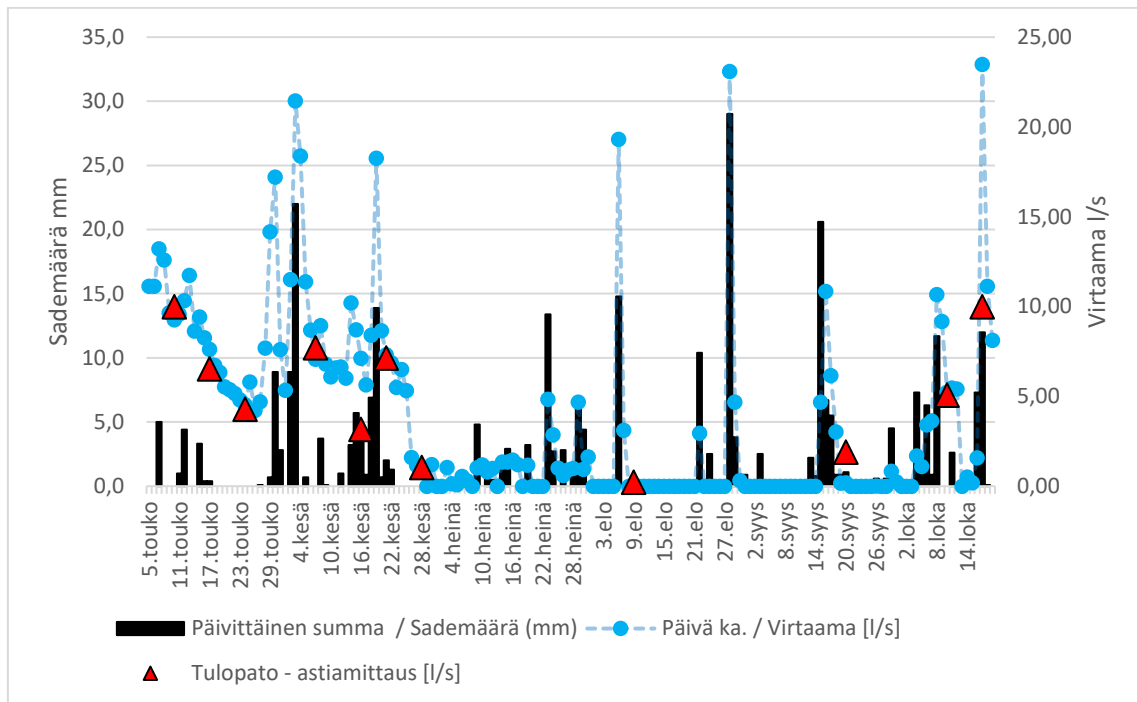
HuJa-hankkeessa tutkitun pajukosteikon virtaama määritettiin v-mittapadon yhteyteen asennettuja Solinst Levelogger 3001 Gold F15/M5 paineantureita (tarkkuus  $\pm 0,3$  cm). Kyseisten paineantureiden kalibrointiin käytettiin Solinst Barologger Edge antureita (tarkkuus  $\pm 0,05$  kPa). Ennen edellä mainittujen antureiden asennusta käytettiin TruTrack Data Logger Model WT-HR, mutta kyseisen anturin mittaustulokset alkoivat laahata. (Postila 2018, 62.)

### **Hula-hankkeen virtaamamittaukset**

Hula-hankkeessa Luode Consulting Oy:ltä vuokrattiin kolme kappaletta jatkuvatoimisia virtaamamittareita, joista yksi sijoitettiin Pitkäjärven tutkimusympäristöön tulevaan viemäriputkeen ja kaksi Karikon hulevesialtaan yhteyteen; yksi tulo-ojan rumpuputkeen ja yksi poisto-ojan rumpuputkeen. Virtaamamittauksessa käytettiin akustisia StarFlow QSD-antureita, jotka lähettivät mittaustulokset pilvipalveluun. Anturin virtausnopeuden kynnyсарvo on 2 cm/s ja anturin yläpuolisen vedenpinnan korkeuden kynnyсарvo on 2 cm. Virtaamamittarit toimivat akkuvirralla. Virtaamamittareiden mittausväliksi ohjelmoitiin 10 minuuttia, mutta lomakauden ajaksi mittausväliksi asetettiin 20 minuuttia, jotta voitiin varmistaa akkujännitteen riittävyys. Akkuja vaihdettiin noin kolmen viikon välein ja virtaamamittarit puhdistettiin viikon tai parin viikon välein riippuen virtaamasta.

Jatkuvatoimisten virtaamamittareiden lisäksi Pitkäjärven tutkimusympäristön avouomaan asennetulta v-padolta (tulopato) tehtiin astiamittauksia kerran viikossa kenttäkäyntien yhteydessä. Astiamittaus toteutettiin mittaamalla aika, joka kului mittaastian täyttymiseen. Mittaastian tilavuus tarkistettiin ennen astiamittausta. Kesäsyyskuussa virtaamat olivat alhaisia lukuun ottamatta muutamia sadepäiviä, minkä takia joidenkin kenttäkäyntien yhteydessä ei voitu suorittaa astiamittauksia tulopadolta. Kuvassa 4 on esitetty jatkuvatoimisesti mitatun virtaaman keskiarvot, päivittäisen sademäärän summa ajalta 5.5.-19.10.2022. Kuvasta havaitaan, että tulopadolta

astiamitatu virtaamat ovat lähellä jatkuvatoimisilla virtaamamittareilla mitattuja virtaamia.



**Kuva 4.** Päivittäisen sademäärän summa (Ilmatieteenlaitos, Mikkelin lentoasema), tulopadolta astiamitatu virtaamat sekä jatkuvatoimisella virtaamamittarilla mitatun virtaaman päiväkohtaiset keskiarvot.

## 8 CASE TARKASTELU

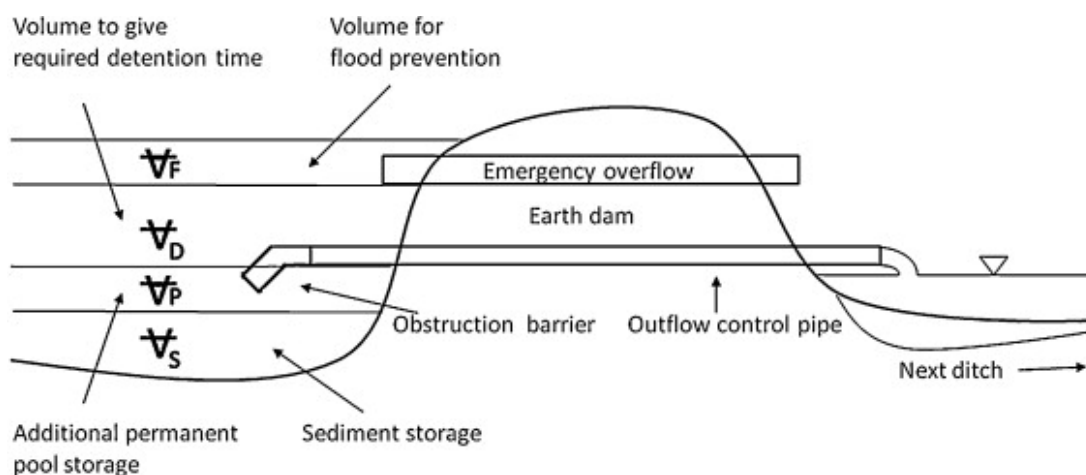
Kylmän ilmaston alueilla tarkoitetaan alueita, joilla vuoden kolmen kuukauden keskilämpötila on yli 10 °C ja kylmimmän kuukauden keskilämpötila on alle -3 °C. Toisen määritelmän mukaan kylmän ilmaston alueiksi katsotaan alueet, joilla vuoden aikana ainakin yhden kuukauden keskilämpötila on alle 1 °C. (Muthanna 2007, 7.) Kylmän ilmaston alueilla talviolosuhteet voivat vaikuttaa hulevesirakenteiden toimivuuteen. Esimerkiksi imeytys- ja suodatusrakenteiden toimintaa voi häiritä jäätyminen, lumipeite tai maaperän routaantuminen. (Kuntaliitto 2012, 109, 156.)

Alla on esitelty tutkimuksia hulevesien hallintamenetelmien toimivuudesta kylmän ilmaston alueilla. Tarkasteltaviksi maiksi valittiin Suomen lisäksi Ruotsi, Norja, Tanska ja Saksa.

## 8.1 Suomi

### Suometsätalouden hulevesien hallinta

Marttila & Kløve (2010) tutkivat kolmen vuoden ajan suometsätalouden hulevesien sedimentti- ja ravinnekuormituksen vähentämistä huippuvirtauksien hallinnan avulla. Tutkimusalueena toimivat vierekkäiset ojitetut suoalueet Virkorinne ja Virkosuo, jotka sijaitsivat Keski-Suomessa. Tutkimusalueet olivat muuten samanlaisia, mutta Virkorinteellä valumavesiä pidätettiin virtaamansäätöpadoilla (kuva 5). Virtaamansäätöpato oli maanpenger, joka koostui poistoputkesta sekä ylivirtausputkesta.



**Kuva 5.** Poikkileikkauskuva Virkorinteen virtaamansäätöpadoista (Marttila & Kløve 2010).

Virtaamansäätöpato vähensi huippuvirtauksia myrskyn virtaustapahtumien aikana 29–91 %. Rakenne toimi tehokkaimmin äkillisten ja suurten virtaushuippujen aikana. Virkorinteen kiintoainepitoisuudet olivat jopa seitsemän kertaa alhaisemmat verrattuna Virkosuohon. Virkorinteellä kiintoainetta pidättyi eniten huippuvirtaamien aikaan, kun

taas Virkosuolla kiintoainepitoisuudet lisääntyivät valunnan lisääntyessä. Virkosuolla kiintoainetta kulkeutui myös alhaisen virtauksen aikana. Virkkorinteen rakenne vähensi eroosiota kuivatus alueella alentamalla virtausnopeutta, mutta Virkosuolla havaittiin muun muassa penkereen eroosiota. Typpi oli pääosin sitoutunut hiukkasiin tai orgaanisessa muodossa (Virkosuo 62 % ja Virkorinne 92 %). Virkosuolla epäorgaanisen typen osuus oli suurempi, kun Virkorinteellä orgaanisen ja hiukkasiin sitoutuneen typen osuus oli suurempi. Virkkorinteen korkea typen pidättyminen johtui todennäköisesti hiukkasten laskeutumisesta. Virtaamansäätöpato vähensi selvästi huippuvirtaamien määrää ja suuruutta, kiintoainepitoisuuksia 86 %, kokonaisfosforipitoisuuksia 67 % ja kokonaistypipitoisuuksia 65 %. Kuitenkaan virtaamansäätöpadolla ei havaittu olevan huomattavaa vaikutusta pH-arvoon, veden väriin, sähkönjohtavuuteen, happipitoisuuteen tai liukoisten haitta-aineiden poistamiseen. Eri vuodenajoilla ei havaittu olevan suurta vaikutusta kiintoaineen poistotehokkuuteen. Typen ja fosforin pidättyminen oli suurinta kesällä. Osa ravinteista huuhtoutui liuenneessa muodossa tai sitoutuneena pienempiin hiukkasiin, joiden laskeutumisaika on lyhyempi kuin Virkkorinteen rakenteen tarjoama laskeutumisaika. (Marttila & Kløve 2010.)

### Maatalouden valumavesiä käsittelevät kosteikot

Koskiahho ym. (2015, 35–40) tutkivat Hovin, Ranta-Seittelin ja Tarvaalan kosteikkojen tehokkuutta jatkuvatoimisten mittareiden avulla. Puhdistustehokkuuksissa oli kosteikkojen välillä huomattavia eroavaisuuksia (taulukko 4). Hovin kosteikko pidatti kosteikoista parhaiten kiintoainetta ja ravinteita. Tarvaalan kosteikosta vapautui kokonaistyppeä ja nitraattityppeä vuonna 2013.

**Taulukko 4.** Kosteikkojen keskimääräinen virtaama ja puhdistustehokkuudet vuosien 2013 ja 2014 aikana. Tarvaalan kosteikolta lähtevän veden pitoisuuksia tarkkailtiin vesinäytteillä eikä jatkuvatoimisilla mittareilla, mikä tulee huomioida tuloksissa.

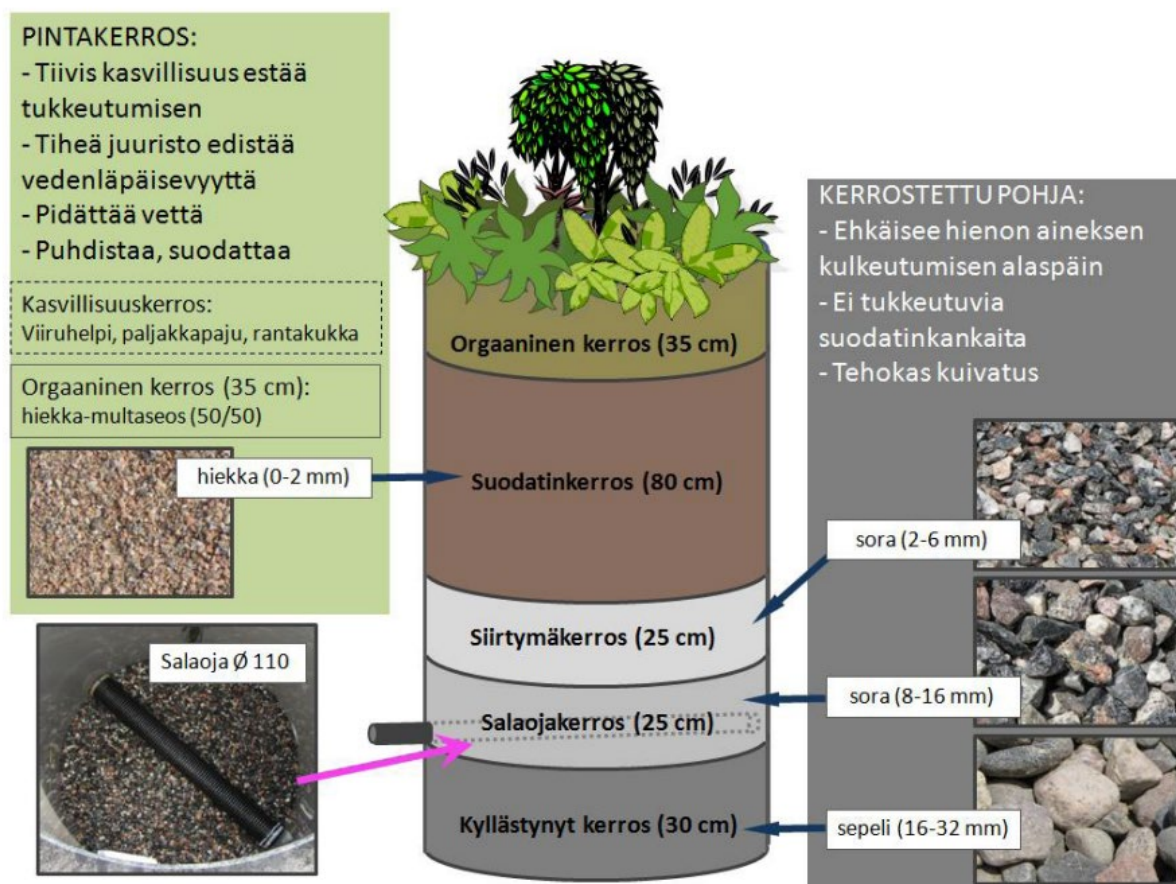
	Hovin kosteikko	Ranta-Seittelin kosteikko	Tarvaalan kosteikko (eteläinen kosteikko)
Pinta-ala (ha)	0,6	24	1,4
Osuus valuma-alueesta (%)	5	1,3	1,0

Valuma-alue	12 ha, peltovaltainen, maaperä pääosin savea	19 km <sup>2</sup> , maatalousvaltainen, maaperä savea	139 ha, peltoa 16 %, maaperä hiekkamoreenia ja peltoalueet hiesua
Virtaama (Ka)	1,3 l/s (2013) 0,5 l/s (2014)	194 l/s (2013) 147 l/s (2014)	11,0 l/s (2013) 6,5 l/s (2014)
Kiintoaine	70 % (2013) 79 % (2014)	12 % (2013) 6 % (2014)	28 % (2013) 69 % (2014)
Kok. Fosfori	49 % (2013) 62 % (2014)	15 % (2013) 12 % (2014)	10 % (2013) 55 % (2014)
Fosfaattifosfori	76 % (2013) 87 % (2014)	30 % (2013) 28 % (2014)	
Kok. typpi	49 % (2013) 72 % (2014)	6 % (2013) 17 % (2014)	-53 % (2013) 29 % (2014)
Nitraatti-nitriitti	55 % (2013) 84 % (2014)	0 % (2013) 16 % (2014)	-71 % (2013) 76 % (2014)
DOC			12 % (2013) 6 % (2014)
TOC			25 % (2013) 21 % (2014)

Puhdistustuloksien eroavaisuudet voivat johtua muun muassa tulevien pitoisuuksien suuruudesta, kosteikon mitoituksesta ja kasvillisuudesta. Esimerkiksi Ranta-Seittelin kosteikon heikon kiintoaineen ja kokonaisfosforin puhdistustehokkuuden arveltiin johtuvan rantojen eroosiota sekä kalojen aiheuttamasta bioturbaatiosta. Typen poistotehokkuuteen kosteikolla vaikutti puolestaan kasvillisuuden vähyys. (Koskiaho ym. 2015, 37–40.)

### Stormwater-hanke

Stormwater-hankkeessa tutkittiin kahdeksaan lysimetriin rakennetun biosuodatusrakenteen toimivuutta kylmässä ilmastossa. Kahden kuutiometrin kokoiset biosuodatusrakenteet koostuivat orgaanisesta kerroksesta, suodatinkerroksesta, siirtymäkerroksesta, salaojakerroksesta ja kyllästyneestä kerroksesta. Salaojakerros varustettiin salaojaputkella. Muihin paitsi kahteen biosuodatusrakenteeseen istutettiin kasvillisuutta (kuva 6). (Valtanen 2012b, 19–24.)



**Kuva 6.** Biosuodatusrakenteiden kerrokset (Valtanen ym. 2012b).

Biosuodatusrakenteita kasteltiin syksyllä, keväällä ja kesällä keinotekoisella hulevedellä, joka sisälsi fosfaattia, nitraattia, kuparia, sinkkiä ja alumiinia. Lisäksi talvella ja keväällä osaa biosuodatusrakenteista kasteltiin myös tiesuolalla. Rakenteiden salaojaputkista tulevan veden määrä ja sähkönjohtokyky mitattiin kasteluiden aikana, mutta näytteitä otettiin noin 30 litran välein. Maakerrosten lämpötilaa ja kosteutta seurattiin jatkuvatoimisesti ympäri vuoden. Biosuodatusrakenteet vähensivät sinkkiä, fosfaattia ja kuparia hyvin jo ensimmäisten kasteluiden aikana. Nitraattia ja alumiinia huuhtoutui rakenteiden maaperästä. Tiesuolan ei havaittu vaikuttavan huomattavasti aineiden pidättymiseen maaperässä, vaikka alumiinia huuhtoutui suurempia määriä osassa tiesuolalla kastelluissa rakenteissa. (Valtanen ym. 2012b, 19–24.)

### Kivipuron kosteikko

Lahden Karistossa sijaitsevan Kivipuron kosteikon tarkoituksena on pidättää ravinteita ja puhdistaa vesi ennen sen virtaamista Kymijärveen. Kivipuron kosteikko koostuu laskeutusaltaasta ja kosteikkoalueesta. Kosteikon eteläpuolella sijaitsevan asuinalueen hulevedet tulevat kosteikolle kahden mutkittuvan puron (Karistonkadun puoli ja Kivelänraitin puoli) kautta. Kosteikon ravinteiden pidättämiskykyä selvitettiin vuosina 2009–2013 keväällä ja syksyllä tehdyn vesinäytteenoton avulla. Vesinäytteet otettiin kosteikolle tulevasta puroista ja kosteikon poistosta. Tulosten mukaan kosteikko poisti typpeä 38 % ja fosforia 33 %. (Punntila 2014, 63–76.)

## **HULE-hanke**

HULE-hankkeessa tutkittiin Kuopiossa, Järvenpäässä ja Espoossa sijaitsevien kosteikkojen sekä Tampereella sijaitsevan biosuodatusalueen soveltuvuutta hulevesien laadulliseen hallintaan. Kuopion ja Järvenpään kosteikkoihin johdettiin pientaloalueen hulevedet, kun taas Espoon kosteikkoon liikenne- ja teollisuusalueen hulevedet. Biosuodatusalueelle johdettiin lumenkaatopaikan sulamisvedet. Rakenteet poistivat kiintoainetta ja fosfaattifosforia lukuun ottamatta Kuopion kosteikkoa, jossa kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuudet kasvoivat vähän. Parhaiten typpeä vähensivät Järvenpään ja Kuopion kosteikot. Espoon kosteikko ja biosuodatusalue lisäsivät typen määrää. Klorideja esiintyi eniten Espoon kosteikolla ja Tampereen biosuodatusalueelta, mutta kumpikaan rakenne ei vähentänyt kloridipitoisuuksia. Järvenpään kosteikko poisti vähän sinkkiä, mutta Kuopion ja Espoon kosteikoilla pitoisuudet kasvoivat. Biosuodatusalue poisti tehokkaasti sinkkiä. Rautaa poistivat hyvin biosuodatusalue ja Espoon kosteikko. Järvenpään kosteikko vähensi hieman rautaa ja Kuopion kosteikko kasvatti rautapitoisuuksia. (Kasvio ym. 2016, 25–35.)

## **Viherkattojen biohiililisäys**

Kuoppamäki & Lehvävirta (2016) tutkivat biohiilen soveltuvuutta viherkattojen ravinteiden huuhtoutumisen vähentämiseen. Helsingin alueella suoritetussa tutkimuksessa näytteitä otettiin 12 viherkaton ja 12 vierekkäisen kasvittoman pelti- tai bitumikaton poistuvasta vedestä. Lahdessa tutkittiin 25 kokeellisen viherkattoalustan avulla biohiilen vaikutusta huleveden laatuun ja vedenpidätykseen.



Viherkattoalustoista kymmeneen asennettiin esikasvatettua kasvillisuusmattoa, kymmeneen istutettiin kasvillisuutta ja viisi viherkattoalustaa jätettiin kasvittomiksi. Biohiiltä lisättiin viiteen esikasvatettuun viherkattoon ja viiteen istutettuun viherkattoon. Molemmissa tutkimuksissa havaittiin, että viherkatoista huuhtoutui enemmän ravinteita kuin kasvittomista katoista. Etenkin kokonaisfosforipitoisuudet olivat huomattavasti korkeammat. Lisäksi valumavesien ravinnepitoisuuksissa havaittiin suurta ajallista vaihtelua vuoden aikana. Biohiilen suorituskyky vaihteli kokeen aikana, mutta biohiilen havaittiin vähentävän typen ja fosforin huuhtoutumista. Kasvittomista katoista huuhtoutui enemmän kuparia, kromia ja nikkeliä kuin viherkatoista.

### **Tikkurilantien biosuodatusalueet**

Tikkurilantien kaistalemaisten biosuodatusalueiden toimivuutta seurattiin vuonna 2016. Biosuodatusalue koostui kahdeksasta noin kolme metriä leveästä osuudesta, joiden välillä oli eroja muun muassa kasvualustassa, kasvillisuudessa ja puuhakkeen määrässä. Suodatusalueet sijaitsivat Tikkurilantien ja kevyen liikenteen väylän välissä (kuva 7).



**Kuva 7.** Suodatusalueet elokuussa 2016 (Leinonen 2017).

Näytteitä otettiin kolmen sadetapahtuman aikana. Tulevan veden näyte otettiin biosuodatusalueen läheisyydessä olevan tiesillan ränniputkesta. Biosuodatusalueista lähtevän veden näytteet otettiin salaojakaivoista, minkä lisäksi yksi näyte otettiin ylivuotokaivosta. Aiemman tutkimuksen (Lehikoinen 2015) vuonna 2013–2014 keräämiä näytteitä vertailtiin tutkimuksessa saatuihin tuloksiin. Biosuodatusalueet pidättivät tehokkaasti metalleja. Typen ja nitraatin pidättyminen olivat parantuneet verrattuna kahden vuoden takaisin tuloksiin. Fosfori-, fosfaatti- ja kiintoainepitoisuudet vaihtelivat huomattavasti sadetapahtumien välillä. Fosforipitoisuudet olivat korkeammat kuin ennen vuotta 2016 mitatut fosforipitoisuudet. Liukoinen kloridi ei pidättynyt biosuodatusrakenteeseen. Rakenteessa käytetyt maa-ainekset voivat kasvattaa kloridipitoisuuksia. Osa Lehikoisen (2015) tutkimuksen näytteistä oli kerätty eri näytteenottopisteistä, mikä voi vaikuttaa mm. alhaisempiin kiintoainepitoisuuksiin vuoden 2013–2014 tuloksissa. (Leinonen 2017, 25–27, 41–74.)

## Tikkurilantien hiekkasuodattimet

Assmuth (2017, 10–20) vertaili hiekkasuodattimen ja koivun biohiilellä varustetun hiekkasuodattimen puhdistustehokkuuksia ja vaikutuksia virtaamiin. Vuonna 2017 rakennetut suodattimet sijaitsevat Vantaan Tikkurilantien varressa (kuva 8). Molemmat suodatusalueet ovat 10 metriä pitkiä ja 3,4 metriä leveitä eli niiden suodatuspinta-ala on 34 m<sup>2</sup>.



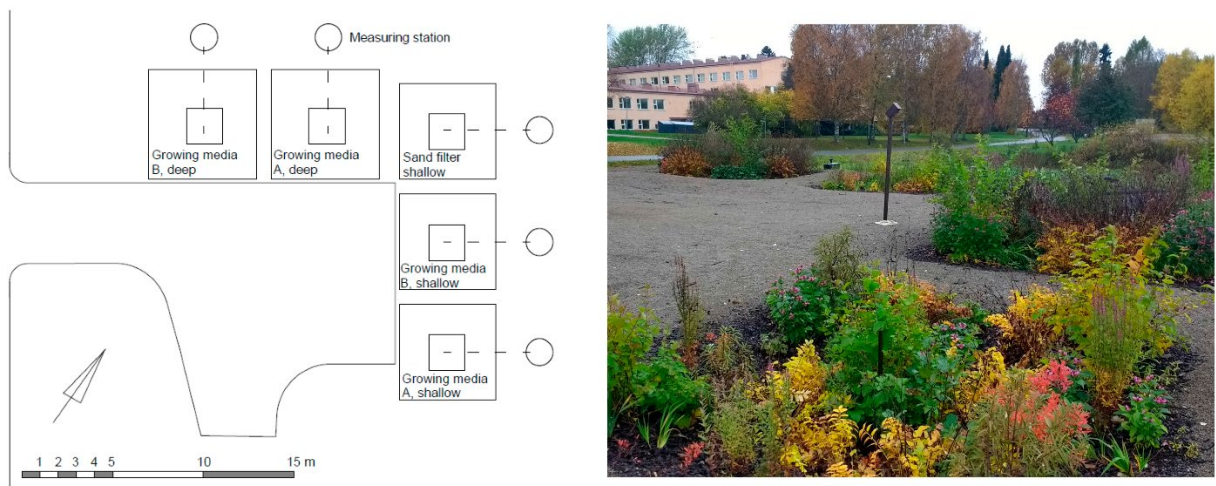
**Kuva 8.** a) Hiekkasuodattimen (vasen punaisella rajattu alue) ja koivun biohiilellä varustetun hiekkasuodattimen (oikea punaisella rajattu alue) yläosat. Edessä olevat tarkastuskaivot yhdistävät maanalaiset viemärit ja poistoputket, jotka kuljettavat vettä vasemmalle kävelytien alta. Kevyen liikenteen väylän soraosa päällystettiin asfaltilla ennen tutkimuksen aloittamista. b) Hiekkasuodattimen (vasemmalla) ja hiekka-biohiilisuodattimen (oikealla) poistoputket.

Suodattimen haitta-aineiden poistotehokkuuksia ja virtaamia tarkasteltiin kolmen sadetapahtuman ajan. Tutkimuksessa havaittiin, että molemmat suodattimet poistivat tehokkaasti raskasmetalleja ja kiintoainetta sekä viivyttivät hyvin virtaamahuippuja. Suodattimet poistivat myös tehokkaasti kokonaisfosforia, vaikka niiden havaittiin vapauttavan fosfaattia. Hiekkasuodattimeen lisätty biohiili paransi typen poistoa hulevedestä ja hieman raskasmetallien pidättymistä, mutta huononsi orgaanisen hiilen poistoa. Lisäksi biohiilen havaittiin parantavan vedenpidätyskykyä vähentämällä vesimäärää ja virtaamapiikkejä. (Assmuth 2017, 25–59.)

## Biosuodatuskasvualustojen koejärjestely Lepaalla

Tahvonen (2018) vertaili koekentällä Lepaalla kahta erilaista biosuodatuskasvualustaa sisältävien rakenteiden toimivuutta. Hiekkainen kasvualusta (A) oli hiekkamaata, johon

sekoitettiin orgaaniseksi aineeksi 2,2 m-% kompostoitunutta puunkuorta, joka sisälsi kastematoja. Kasvualustassa B käytettiin neljännes hiekkaa (0–8), neljännes hienoa hiekkaa (0–0,06), neljännes lehtikompostia ja neljännes pintamaata läheiseltä pellolta, joka sisälsi kastematoa. Kyseinen hiekka–lehtikompostiseos sisälsi 5,3 m-% orgaanista ainesta. Kokeessa käytettiin neljää erilaista biosuodatusrakennetta (kuva 9). Molempia kasvualustoja asennettiin kahteen biosuodatusrakenteeseen, joista yksi oli 120 cm syvä ja toinen 80 cm syvä. Lisäksi viides rakenne oli 80 cm syvä kasviton hiekkasuodatin. Jokaiseen biosuodatusrakenteeseen istutettiin samaa kasvillisuutta. Rakenteet eristettiin ympäröivästä maasta ja rakenteiden pohjalle asennettu viemäriputki johti suodattuneen veden mittausasemalle. Rakenteiden toimivuutta testattiin eri vuodenaikoina muun muassa läheisen puron vedellä tehdyillä kasteluilla, jotka simuloivat rankkasateita.



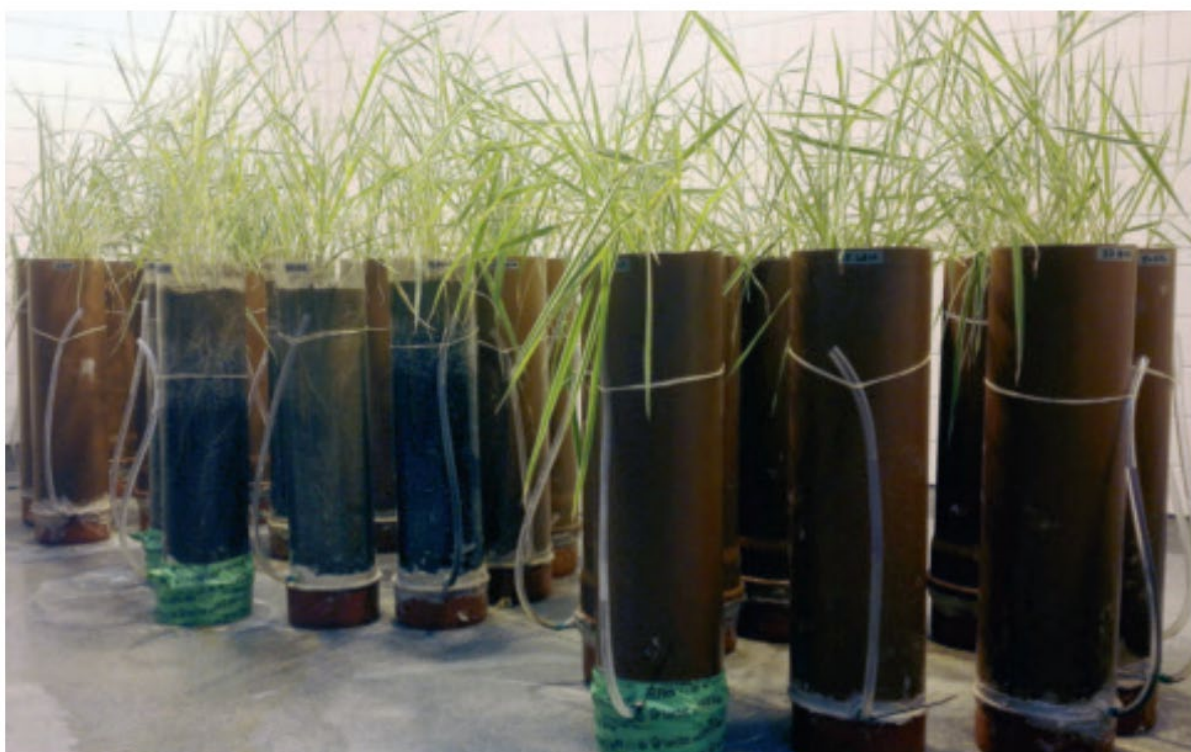
**Kuva 9.** Lepaan koekentän järjestelyt (muokattu Tahvonen 2018).

Kasvualustatyyppien havaittiin vaikuttavan veden pidättymiseen toisin kuin rakenteiden syvyyden. Hiekkasuodatusrakenne pidätti vettä lyhyimmän ajan, kun taas kasvualusta A pidätti vettä pisimpään. Kasvualusta B:n rakenteista matalampi pidätti vettä pitempään verrattuna syvempään rakenteeseen. Suurimmat erot ulosvirtauksessa rakenteiden välillä havaittiin sadetapahtuman ensimmäisten 8–10 tunnin aikana. Ensimmäisten kahden tunnin aikana kasvualusta A:n rakenteissa ei tapahtunut ulosvirtausta. Samana aikana 20 tunnin ulosvirtauksesta hiekkasuodattimesta oli ulosvirrannut jo 80 % ja kasvualusta B:n rakenteista alle 70 %. Kasvualusta B pidätti vettä huonoimmin, kun rakenne oli kyllästynyt. Toisaalta kasvualusta B pidätti vettä suhteellisen hyvin tyydyttämättömissä olosuhteissa.

Kasvualusta A:n ulosvirtauskäyrät eivät vaihdelleet yksittäisten simulaatioiden välillä. Hiekkainen kasvualusta A viivästytti sateen jälkeistä huippuvirtausta ja mahdollisti tehokkaan vedenpidätyksen, mutta ei tukenut kasvillisuuden kasvua. Pintamaan ja kompostin käyttö kasvualustassa B paransi kasvillisuuden kasvua. Rakenteiden syvyydellä havaittiin olevan vain pientä vaikutusta kasvillisuuden kasvuun. Sähkönjohtokyky laski tasaisesti kasvualusta A:n ulosvirtauksessa joka sadetapahtuman jälkeen. Kasvualusta B:n sähkönjohtokyvyn muutos oli vähäisempää, mutta seurasi laskevaa trendiä. Kaikki koerakenteet osoittivat aktiivisuutta sekä talven että kevään sulamisjaksojen aikana.

### Hule S&C -hankkeen suodatusmateriaalien lysimetrikokeet

Hule S&C -hankkeessa laboratoriossa tehdyissä lysimetrikokeissa selvitettiin eri suodatusmateriaalien vaikutusta metallien, kiintoaineen ja ravinteiden pidättymiseen hulevedestä. Tarkasteltavat suodatusmateriaalit olivat hiekka, Filtralite P -kevytsora, soramurske, betonimurske ja biohiili. Biosuodatusrakenteista osaan istutettiin viiruhelpiä (*Phalaris arundinacea*) ja osa oli kasvittomia (kuva 10). (Järveläinen 2019.)

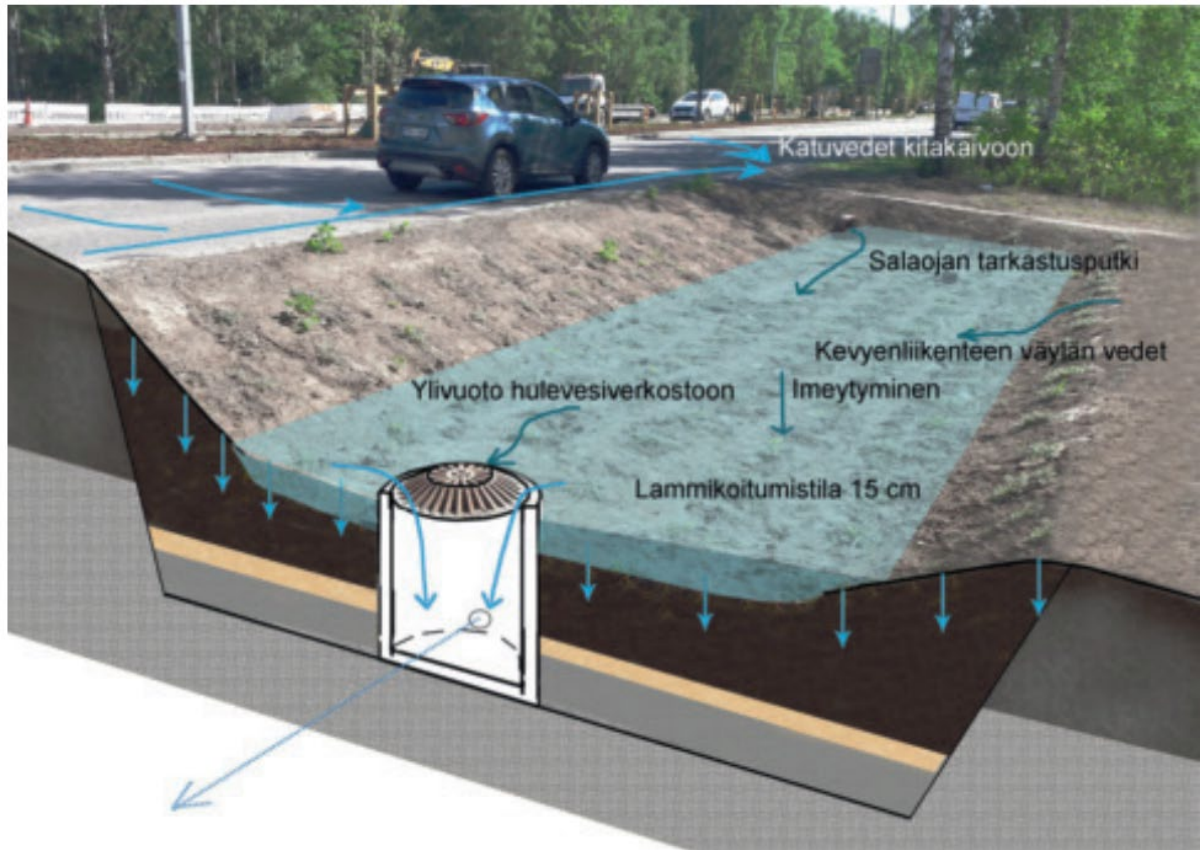


**Kuva 10.** Lysimetreihin rakennetut biosuodatusrakenteet (Järveläinen 2019).

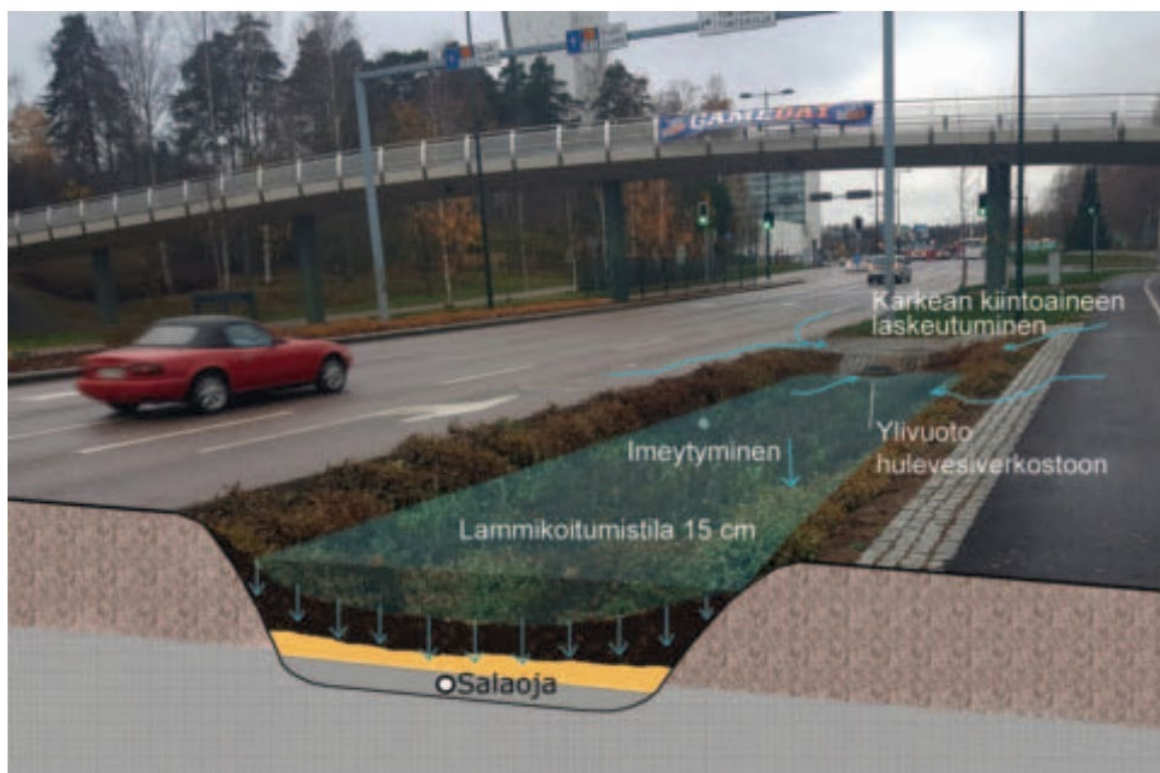
Lysimetrien kastelussa käytettiin hulevettä, joka kerättiin lumena Lahden vilkkaasti liikennöidyltä alueelta. Kaikki suodatusmateriaalit pidättivät tehokkaasti kiintoainetta (96–100 %). Myös raskasmetallit ja fosfori pidättyivät suodatusmateriaaleihin hyvin (75–100 %), koska ne olivat pääsääntöisesti sitoutuneita kiintoaineeseen. Fosfaattifosfori (PO<sub>4</sub>) pidättyi parhaiten Filtralite P -kevytsoraan ja betonimurskeeseen. Filtralite P -kevytsoraa ja betonimursketta sisältävien biosuodatusrakenteiden suotoveden pH oli yli 12. Muiden biosuodatusrakenteiden läpi suotautuneen huleveden pH oli 7–8. Kasvillisuus ja biohiili paransivat typen pidättymistä, mutta biohiilestä vapautui fosforia. Hiekkaa ja kevytsoramursketta sisältäviin lysimetreihin lisättiin pimeässä sinisellä hohtavia mikromuoveja. Mikromuovia ei havaittu lainkaan lysimetrien suotovedessä, vaan kaikki mikromuovi pidättyi kasvien juuriin. (Kuoppamäki 2019; Järveläinen ym. 2019, 8–11.)

### **Vilkaan liikennealueen biosuodatusrakenteet**

Neljän erilaisen biosuodatusrakenteen soveltuvuutta vilkaan liikennealueen hulevesien puhdistamiseen selvitettiin Hule S&C-hankkeessa. Kuvissa 11 ja 12 on esitetty kahden biosuodatusrakenteen periaatepoikkileikkaus. Suodatusrakenteissa käytettiin suodatushiekkaa ja kahteen biosuodatusrakenteeseen lisättiin biohiiltä. Biohiilen tarkoituksena oli tehostaa fosforin poistoa sekä vapauttaa hitaasti pidättämäänsä vettä kasvillisuuden käytettäväksi. (Kerkkänen ym. 2019; Kerkkänen 2019.)



**Kuva 11.** Merituulentien eteläpuolella sijaitsevan biosuodatusrakenteen periaatepoikkileikkaus. Suodatusrakenne sisältää biohiiltä. (Kerkkänen ym. 2019).



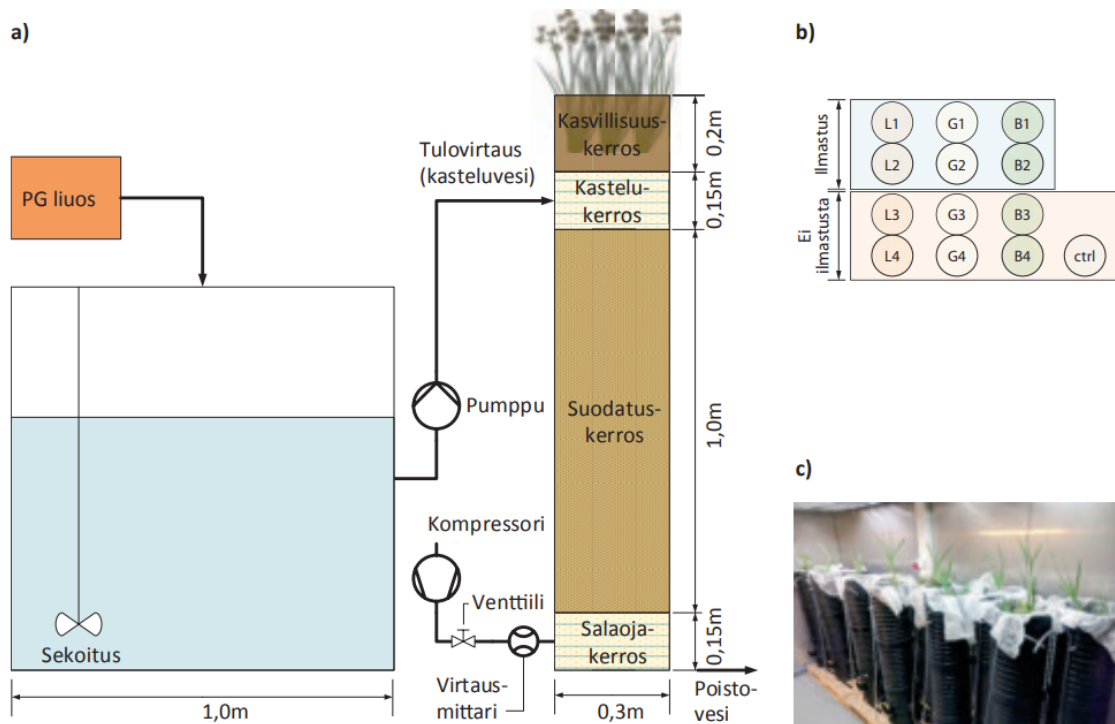
**Kuva 12.** Merituulentien pohjoispuolella sijaitsevan biosuodatusrakenteen periaatepoikkileikkaus. Suodatusrakenne sisältää suodatushiekkää. (Kerckänen ym. 2019).

Biosuodatusrakenteiden todettiin puhdistavan hulevesiä tehokkaasti. Ruotsalaiset huleveden käsittelylle asetetut raja-arvot ylittyivät kiintoaineen, kokonaiskromin, -fosforin, -sinkin ja -kuparin osalta. Biosuodatusrakenteet poistivat kiintoainetta 97 %, kokonaisfosforia 63 %, kokonaiskuparia 66 %, kokonaissinkkiä 81 % ja kokonaiskromia 76 %. Biosuodatusrakenteisiin tulevassa hulevedessä noin 90 % metalleista oli sitoutuneena kiintoaineeseen, kun taas lähtevän huleveden kiintoaineeseen oli sitoutunut 50 % metalleista. Liukoisten metallien pitoisuudet olivat kokonaismetallipitoisuuksia pienempiä, mutta niiden pitoisuudet olivat korkeammat lähtevässä vedessä kuin tulevassa vedessä. Sameuden havaittiin korreloivan kiintoaineen, kokonaisfosforin ja kokonaismetallien kanssa. Sähkönjohtavuus puolestaan korreloi liukoisten metallien kanssa. Rakenteen läpi suodatuneessa vedessä korrelaatiot olivat huomattavasti alhaisemmat. Sähkönjohtavuus korreloi arseenin sekä nitriitin ja nitraatin kanssa rakenteen läpi suodatuneessa vedessä. (Kerckänen ym. 2019; Kerckänen 2019.)



## Lentoaseman maanalainen kosteikkorakenne

Hule S&C -hankkeessa tutkittiin eri suodatusmateriaalien soveltuvuutta lentoaseman maanalaiseen kosteikkorakenteeseen. Laboratoriokokeessa testatut suodatusmateriaalit olivat sepeli, Leca-sora + sepeli (1:1 tilavuussuhde) ja koivubiohiili + sepeli (1:1 tilavuussuhde). Jokaista suodatinmateriaalia laitettiin kahteen ilmastettuun ja kahteen ilmastamattomaan sylinteriin (1,5 m korkea ja 0,3 m halkaisija) (kuva 13). Sylintereiden kasvillisuuskerroksen maaperä kerättiin lentokenttäalueelta, sillä sylintereihin haluttiin kehittyvän olosuhteisiin sopeutunut mikrobikanta. (Chaurand ym. 2019.)



**Kuva 13.** a) Laboratorioon rakennetun koeasetelman poikkileikkaus, b) sylintereiden sijoittelu (L=Leca-sora, G=sepeli, B=biohiili) ja c) koesylinterit (Chaurand ym. 2019).

Sylintereitä kasteltiin synteettisellä hulevedellä, joka sisälsi propyleeniglykolia (66 mg/l), kokonaistyppeä (3,4 mg/l) ja kokonaisfosforia (0,07 mg/l). Sylintereissä veden viipymä oli 16 tuntia. Kastelukoe koostui neljästä eri vaiheesta, joista jokaisessa muutettiin olosuhteita, muun muassa lämpötilaa (kuva 14). Jokainen vaihe

kasteluineen kesti viikon ja kaikkien vaiheiden välissä oli 1–2 viikkoa kastelematonta aikaa. Vaiheisiin 3–4 tutkimukseen valittiin sylintereistä ilmastamaton Leca-sora, ilmastettu sepeli sekä ilmastettu ja ilmastamaton biohiili. Vaiheissa 3–4 kasteluun käytetyn synteettisen huleveden ravinnepitoisuudet tiputettiin noin puoleen. Vaiheessa 4 sylintereitä kasteltiin jatkuvasti, koska haluttiin niin sanotusti kiusata mikrobeja. Ilmastuksen määrää vähennettiin kastelukokeen edetessä. (Chaurand ym. 2019, 30–34; Sillanpää 2019.)

KOKEEN VAIHEET	LÄMPÖTILA	RAVINNE- PITOISUUDET	KASTE LU
Vaihe 1	21 °C	KESKIMÄÄRÄISET PITOISUUDET	KOESYLINTERIT KYLLÄSTETTIIN, TYHJENNYS 16 H JÄLKEEN
Vaihe 2	2,8 °C		
Vaihe 3	2,0 °C	MATALAT PITOISUUDET	JATKUVA KASTELU
Vaihe 4	1,4 °C		

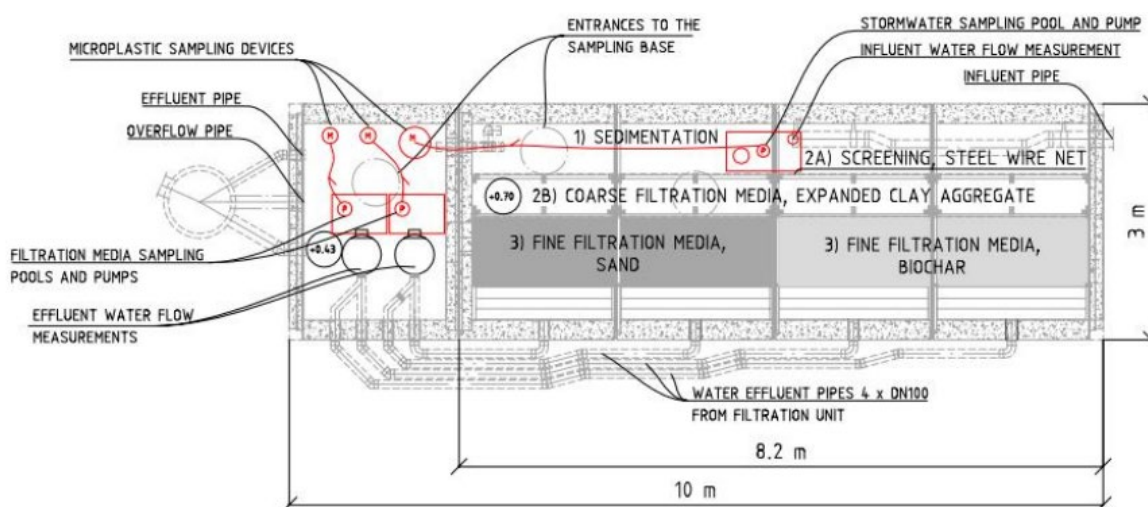
**Kuva 14.** Jokaisessa kastelukokeen vaiheessa muutettiin muun muassa lämpötilaa (Sillanpää 2019).

Yhtenä rakenteiden toimivuuden indikaattorina käytettiin biologista hapenkulutusta ( $BHK_5$ ), joka korreloi propyleeniglykolin kanssa.  $BHK_5$ :sta pidättyi yli 95 % ilmastetuissa sylintereissä, mutta ilmastamattomissa sylintereissä puhdistustulos vaihteli suodatusmateriaalien välillä. Puhdistustulos oli biohiilirakenteessa 20 % ja Leca-sorarakenteessa vain noin 10 %. Ilmastamattomissa sylintereissä typestä pidättyi vähintään 80 %, kun taas ilmastetuissa sylintereissä typen pidättyminen heikkeni. Poikkeuksena oli biohiilirakenteet, joissa typi pidättyi hyvin ilmastetuissa ja ilmastamattomissa sylintereissä. Fosforia alkoi vapautumaan ilmastamattomista biohiili- ja Leca-sorasyylintereistä kokeen neljännessä vaiheessa. Fosforin pidättyminen parani ilmastamisen myötä. Propyleeniglykolin hajoaminen aiheutti vahvoja hajuhaittoja ilmastamattomissa sepeli- ja leca-sorasyylintereissä, mutta vain lieviä hajuhaittoja ilmastamattomassa biohiilisylinterissä. Ilmastetuissa sylintereissä ei esiintynyt hajuhaittoja. Suodatinmateriaaleista sepelirakenteet eivät juurikaan

painuneet, leca-sorarakenteet painuivat noin 6 cm ja biohiilirakenteet noin 12 cm. Rakenteen painuminen pienensi sen huokostilavuutta, jolloin veden varastotilavuus ja johtavuus heikkeni. Biohiilirakenteen ilmastus oli muihin rakenteisiin verrattuna haastavinta. Ilmastus osoittautui tärkeäksi puhdistuskyvyn ylläpitämiseksi. Toimivimmaksi käsittelyratkaisuksi osoittautui sepelirakenne, jota ilmastetaan ajoittain. (Chaurand ym. 2019, 30–34; Sillanpää 2019.)

### Suodatinarkkulaiteisto mikromuovien poistamiseen

Pankkonen (2020, 10–40) tutki Helsingissä sijaitsevan betonisen suodatinarkkulaiteiston tehokkuutta mikromuovien poistamiseen hulevesistä. Betoninen suodatinarkkulaiteisto koostuu laskeutusaltaasta, karkeasuodattimesta sekä hienosuodattimesta, joka tässä tapauksessa oli erilliset hiekka- ja biohiilisuodattimet (kuva 15).



**Kuva 15.** Suodatinarkkulaiteiston rakennekuva. Kuvaan on merkitty punaisella mikromuovien näytteenottolaitteet. (Pankkonen 2020).

Kolmen sadetapahtuman aikaisten mikromuovien määrää ja laatua tutkittiin hienosuodattimeen tulevasta ja lähtevästä vedestä näytteenottolaitteella, joka perustuu passiivisuodatukseen. Mikromuovinäytteet käsiteltiin entsyymaattisella puhdistusmenetelmällä ja analysoitiin FT-IR-spektroskopiolla. Tulevan huleveden

sisältämien mikromuovien määrä vaihteli suuresti sadetapahtumien välillä. Mikromuoveja (90 µm–5 mm) esiintyi tulevassa vedessä 8–66 mikromuovipartikkelia/litra ja keskimäärin 29 mikromuovipartikkelia/litra. Sekä biohiili (93 %) että hiekka (96 %) poistivat tehokkaasti sadetapahtuman aikaisen valunnan mikromuoveja. Esiintyneistä mikromuoveista yli 97 % oli tyypiltään polyeteeniä (PE) ja polypropeenä (PP). Huomioitavaa on kuitenkin, että liikenteestä peräisin olevia mustia polymeerejä ei pystytty analysoimaan FT-IR-spektroskopiolla. Tulevan huleveden keskiarvomassa oli 14,8 µg/l, mutta keskiarvomassa oli vain 0,2 µg/l hiekkasuodatuksen ja 1,9 µg/l biohiilisuodatuksen jälkeen. (Pankkonen 2020, 10–40.)

### **Kiertotalousalueen hulevesirakenne**

CircVol-hankkeessa rakennettiin hulevesirakenne Oulun Välimaan tulevalle kiertotalousalueelle. Hulevesirakenne koostui pohjakynnyksellisestä laskeutusaltaasta, josta vesi ohjautui murskerakenteen läpi ensin puuhakesuodattimeen ja siitä biohiili-puuhakesuodattimeen. Suodattimien jälkeen oli toinen laskeutusallas ennen kaksiosaista mittakaivoa (kuva 16). Mittakaivossa oli v-pato ja siihen asennettiin jatkuvatoiminen mittari, joka mittasi pH-arvoa, sameutta, johtokykyä ja pinnankorkeutta. Jatkuvatoimiset mittalaitteet olivat toiminnassa 18.6.2020-6.10.2020. (Sirviö ym. 2020.)



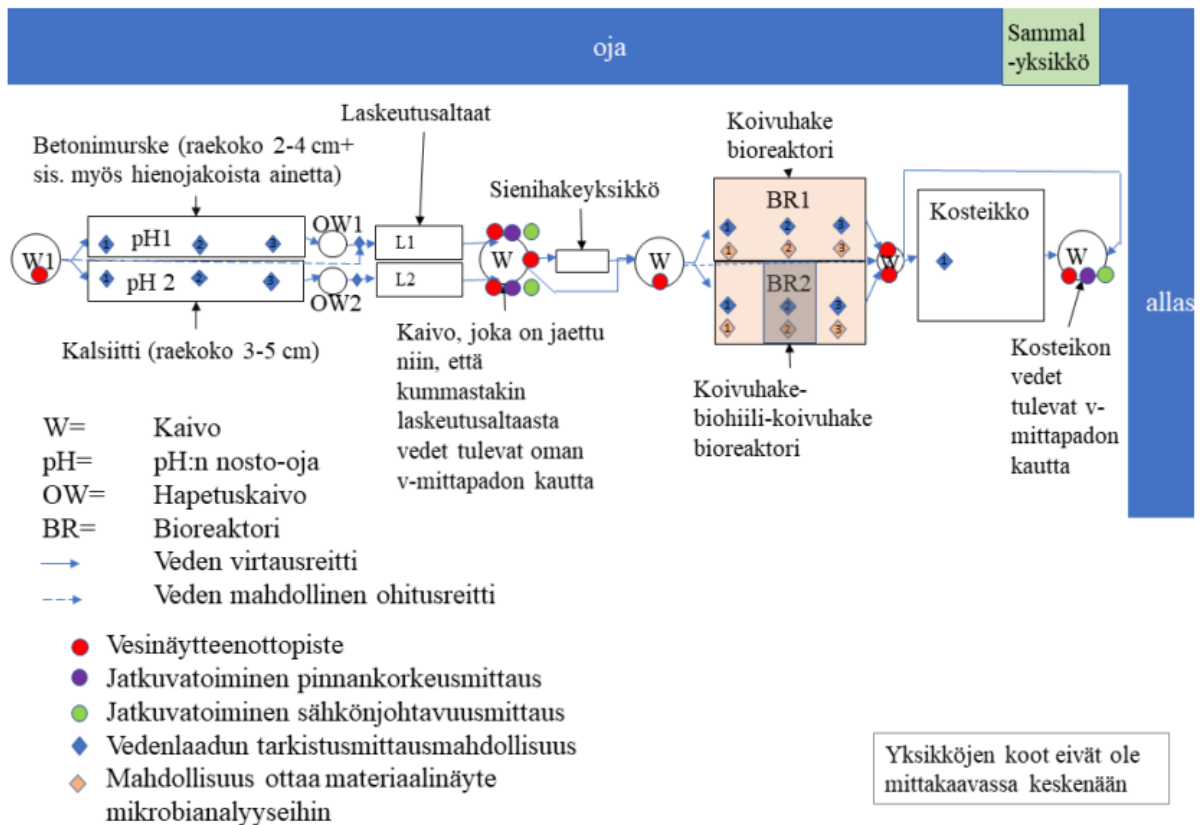
**Kuva 16.** Välimaan kiertotalousalueen hulevesirakenne (Sirviö ym. 2020).

Rakenteen läpi kulkeutuneen veden pH-arvon muutokset olivat vähäiset. Suodatinrakenteen läpi kulkeutuneen huleveden sähkönjohtokyky aleni keskimäärin 12 %. Rakenteen ei havaittu selkeästi vaikuttavan huleveden sameuteen, koska sameusarvot vaihtelivat huomattavasti rakenteen erivaiheissa. Kokonaistyyppiä rakenne vähensi keskimäärin 20 %. Rakenne vähensi ammoniumtyyppiä melkein koko tarkkailujakson ajan. Fosforin määrä lisääntyi rakenteessa heinäkuun puoliväliin asti. Erityisesti biohiili-puuhakeseos lisäsi veden fosforipitoisuutta. Fosfaattifosforin määrä väheni keskimäärin 27 %. Rakenne poisti kuparia ka. 60 %, lyijyä ka. 30 %, rikkiä ka. 30 %, sulfaattia ka. 30 %, liukoista sinkkiä ka. 63 %, kadmium ka. 77 % ja rautaa ka. 12 %. Kiintoaineen reduktio vaihteli huomattavasti, sen ollessa parhaimmillaan 76 % (ka.12 %). (Sirviö ym. 2020.)

### Pyhäsalmen kaivoksen pilottirakenne

HybArkt-hankkeessa Pyhäsalmen kaivokselle rakennettiin pilottirakenne, jolla käsiteltiin rikastushiekka-altaiden suotovesiä sekä metalleilla kontaminoituneen vanhan alueen ja metsäalueen valumavesiä (kuva 17). Rakenne koostui pH:n nostoyksiköistä (betonimurske ja kalsaatti /5.9.2019 alkaen betonimurske + iso kivi), hapetuskaivoista, laskeutusaltaista, sienihakeyksiköstä (hake + osterivinokassien rihmasto), bioreaktoreista (koivuhake ja koivuhake-biohiili-koivuhake), kosteikosta ja

erillisestä sammalyksiköstä. Pilottirakenne oli pääosin maanalainen ja päällystetty 12 cm FinnFoam eristekerroksella kosteikon pintaa lukuun ottamatta. Kosteikon pinnalla eristeenä käytettiin Leca-soraa. Erillinen sammalyksikkö asennettiin ojassa kelluvaan rei'itettyyn laatikkorakenteeseen. (Postila ym. 2021, 19–20.)



**Kuva 17.** Pyhäsalmen kaivoksen pilottirakenne (Postila ym. 2021).

Pilottirakenne poisti hyvin metalleja lukuun ottamatta kosteikkoa, josta huuhtoutui metalleja (taulukko 5). Kosteikolla kuparipitoisuudet nousivat keskimäärin 2300 % ja sinkki pitoisuudet keskimäärin 1200 %, mikä johtui todennäköisesti kontaminoituneesta materiaalista. Kuitenkin kosteikolta lähtevän veden kuparipitoisuudet olivat keskimäärin 29 % alhaisemmat verrattuna pilottirakenteeseen tulevaan veteen. Sinkkiä pidättyi keskimäärin 72 % koko pilottirakenteessa (vaihteluväli 25–93 %). Sulfaatin poistotehokkuus jäi heikoksi pH:n nostoyksiköissä, koska pH jäi liian alhaiseksi, jotta metallisulfidit olisivat saostuneet. Bioreaktorien havaittiin poistavan metallien lisäksi hyvin myös nitraattityppeä. Sienihakeyksikkö

poisti kohtalaisesti rautaa, kiintoainetta ja ammoniumia, mutta fosforin määrä kasvoi yksikössä yli 200 % vuonna 2020. (Postila ym. 2021, 26–37.)

**Taulukko 5.** Pilottirakenteiden yksiköiden metallien ja sulfaatin keskimääräiset poistotehot (%) (Postila ym. 2021, 27–30).

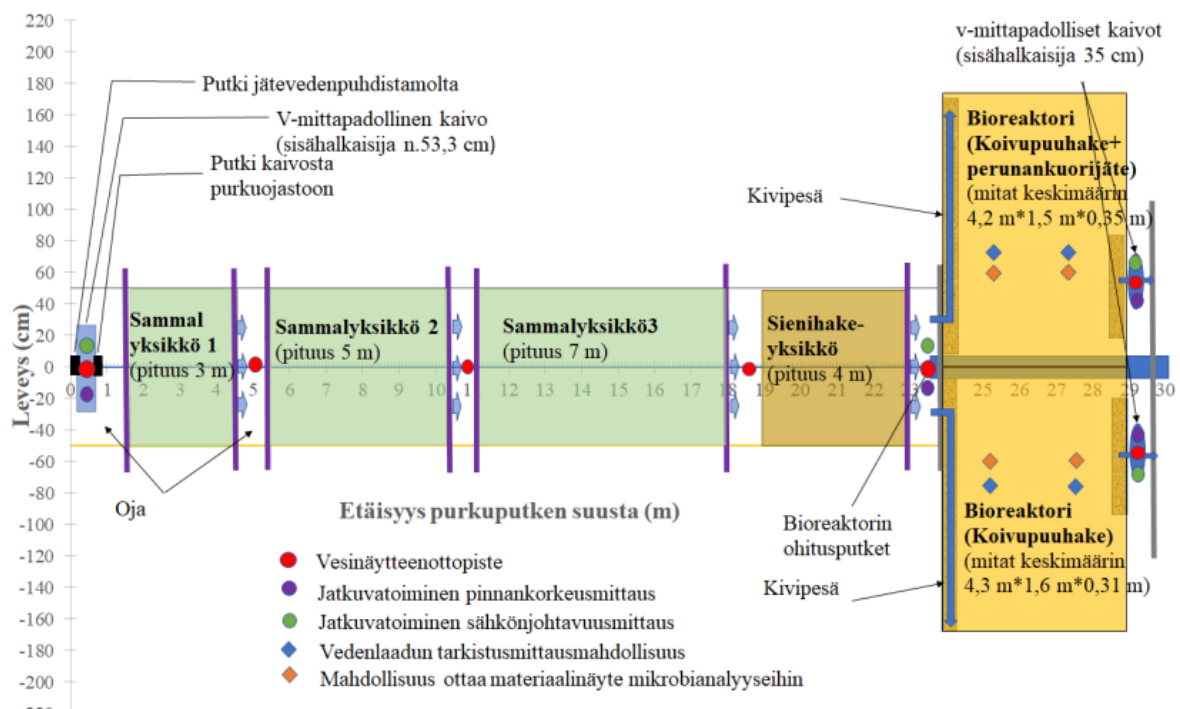
	pH:n nostoyk. (kalsaatti) + laskeutusallas	pH:n nostoyk. (betonimurske) + laskeutusallas	Sienihakeyk.	Bioreaktori 1 (koivuhake)	Bioreaktori 2 (koivuhake- biohiili- koivuhake)	Kosteikko
Rauta	64 %	40 %	19,2 % (vuosi 2020)	66 %	56 %	
Kupari	23 %	45 %	7 %	96 %	96 %	- 2300 %
Sinkki	14 %	35 %	7 %	97 %	99 %	- 1200 %
Sulfaatti	8 %	-	-	14 %	16 %	

Pilottirakenteeseen tulevan veden pH oli 3,3–6. pH:n nostoyksikön jälkeen pH oli 4,1–9,5. Sähkönjohtavuus oli välillä 100–800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Veden lämpötila pysyi plussan puolella myös talvella. Ongelmia rakenteen toimivuudessa aiheuttivat pH:n nostoyksiköiden ja hapetuskaivojen tukkeutuminen helposti, vaikka materiaalit vaihdettiin. pH:n nostoyksiköt ohitettiin kesän 2020 alussa ja hapetuskaivot poistettiin käytöstä 2018. Sienihakeyksikkö ei toiminut koko aikaa halutulla tavalla, koska veden tulo yksikköön vaihteli suuresti. Ojaan asennetusta sammalyksikkö oli kyllästynyt metalleilla ennen käyttöönottoa, minkä takia useat metallit liukenivat veteen. (Postila ym. 2021, 20–21, 31–37.)

### Kallon jätevedenpuhdistamon pilottirakenne

HybArkt -hankkeessa rakennettiin Kallon jätevedenpuhdistamolle pilottirakenne, joka tehostaisi tyypin etenkin ammoniumtyypin poistoa. Jätevedenpuhdistamon puhdistusjärjestelmä oli aiemmin esiselkeytysallas, biomattoallas, kemiallinen kaivo (kemikaalipumppu, jätevesipumppu, flokkausputki), jälkiselkeytysallas ja purkuojasto. Ilmastettu leijupetibioreaktori asennettiin biomattoaltaan ja kemiallisen kaivon väliin

muuttamaan ammoniumtyppi nitraattitypeksi. Lisäksi kolme sammalyksikköä ja yksi sienihakeyksikkö sekä bioreaktorit (koivuhake+perunankuorijäte ja koivuhake) asennettiin purkuojastoon (kuva 18). Sammalyksiköiden tarkoituksena oli sitoa ammoniumtyppiä ja muuttaa se nitraattitypeksi. Sienihakkeen tehtävänä oli sitoa typpiä ja ravinteita. Bioreaktoreiden tarkoituksena oli muuttaa nitraatti typpikaasuksi. (Postila ym. 2021, 37–41.)



**Kuva 18.** Pilottirakenne Kallon jätevedenpuhdistamon purkuojastossa (Postila ym. 2021).

Pilottirakenne poisti tehokkaasti nitriitti-nitraattityppiä (taulukko 6). Ilmastettu leijupetibioreaktori paransi ammoniumtyypen muuttumista nitriitti-nitraattitypeksi ja bioreaktoreissa lähes kaikki nitraattityppi saatiin poistettua. Puolestaan ammoniumtyppiä ei voitu poistaa bioreaktoreiden denitrifikaatiolla. Bioreaktoreiden kokonaistypen poistoteho oli lähes koko ajan negatiivinen, paitsi bioreaktori 2:ssa vuonna 2020. Alumiinia saatiin poistettua tehokkaasti etenkin bioreaktoreissa. Kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin poistotehot vaihtelivat suuresti yksiköiden välillä ja niiden sisällä. Parhaiten kokonaisfosforia ja fosfaattifosforia poisti keskimääräisesti



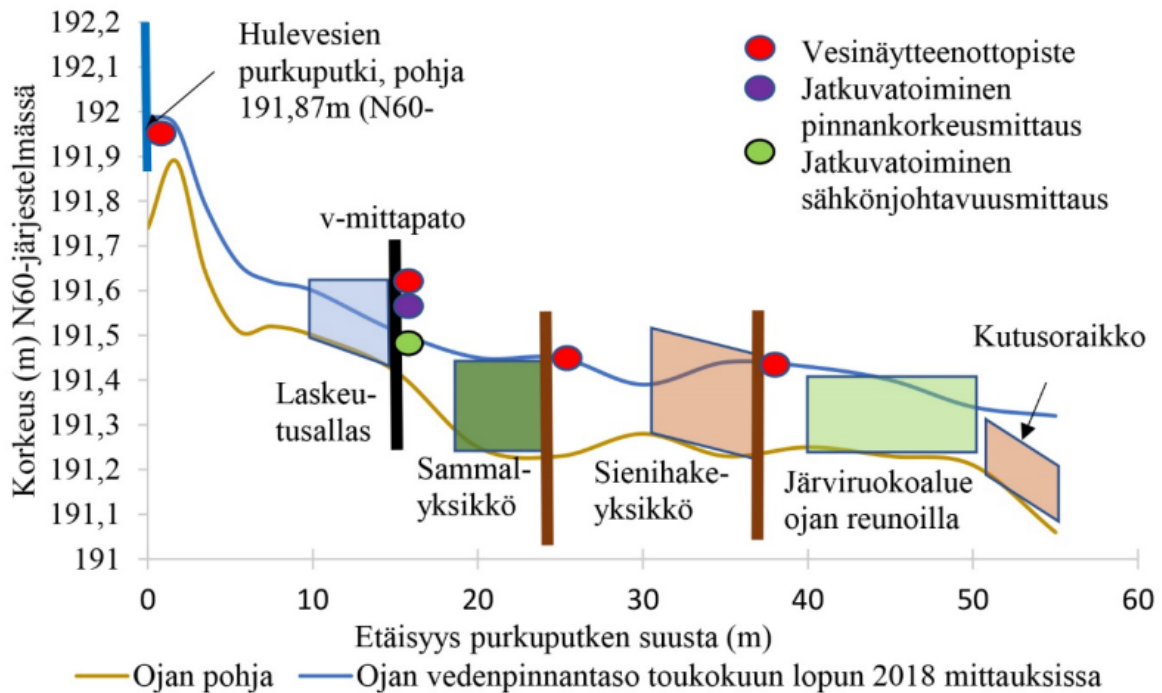
bioreaktori 1. Biologinen hapenkulutus (BOD7(ATU)) väheni sammalyksiköissä 83 %, mutta nousi sieniyksikön ja bioreaktoreiden jälkeen. Sähkönjohtavuuden osalta tapahtui vähän laimenemista pilottirakenteessa. Veden lämpötila pysyi myös talvella plussan puolella. (Postila ym. 2021, 42–50.)

**Taulukko 6.** Kallon purkuojaston pilottirakenteen yksiköiden keskimääräiset poistotehot (%) (Postila ym.2021, 42–50).

	Sammalyksiköt	Sienihakeyksikkö	Bioreaktori 1 (koivuhake+ perunankuorijäte)	Bioreaktori 2 (koivuhake)
nitriitti- nitraattityppi		10 %	96 %	95 %
ammoniumtyppi	6 %	3 %	-	-
kok.typpi	8 %	3 %	- 1 %	- (vuonna 2019), 6–23 % vuonna 2020
alumiini	20 %	9 %	85 %	78 %
kok.fosfori	-75 %	15 %	35 %	-104 %
fosfaattifosfori	-58 %	10 %	53 %	-281 %

### Purkuojan pilottirakenne

HybArkt-hankkeessa Levin keskusta alueelta johdettavien hulevesien purkuojastoon tehtiin pilottirakenne, jonka tarkoituksena oli vähentää typpeä sekä metalleja, etenkin nikkeliä, kuparia ja sinkkiä. Rakenne koostui laskeutusaltaasta, sammalyksiköstä, sienihakeyksiköstä, järviruokoalueesta ojien reunoilla ja kutusoraikosta (kuva 19). Kesällä 2020 rakenteeseen jouduttiin tekemään muutoksia, koska liian suuren virtaaman vuoksi sammu- ja sienihakeyksiköissä ei tapahtunut puhdistusprosesseja. Tilalle tehtiin laatikkorakenne, joka koostui sammalyksiköstä ja sienihakeyksiköstä. Rakenteeseen ohjattiin vain osa virtauksesta. (Postila ym. 2021, 50-61.)



**Kuva 19.** Levin purkuojastoon rakennettu hulevesien käsittelyrakenne vuoden 2019 alkukesällä (Postila ym. 2021).

Alkuperäinen rakenne pidatti ainoastaan kiintoainetta. Laatikkorakenteeseen tehtyjen muutosten myötä hulevedestä saatiin pidätettyä metalleja (taulukko 7). Sienihakeyksikkö poisti tehokkaimmin metalleja ja eri muodossa olevaa typpeä. Tuloksiin kuitenkin vaikuttivat ajoittain tulevan veden alhaiset metallipitoisuudet, mitkä voivat aiheuttaa metallien huuhtoutumista. (Postila ym. 2021, 50–61.)

**Taulukko 7.** Pilottirakenteen yksiköiden poistotehot (%) (Postila ym. 2021).

	Laskeutusallas	Sammalyksikkö	Sienihakeyksikkö
nikkeli		17 % heinäkuu, - 31 % elokuu	-10 % heinäkuu, 12 % elokuu
kupari		-	40 % heinäkuu, 23 % elokuu
sinkki	5 %	-22 %	-188–58 %
kok.typpi	-4 %	2 % (9 % vuonna 2020)	17 % (47 % vuonna 2020)
nitriitti-nitraattityppi		24 %	97 %

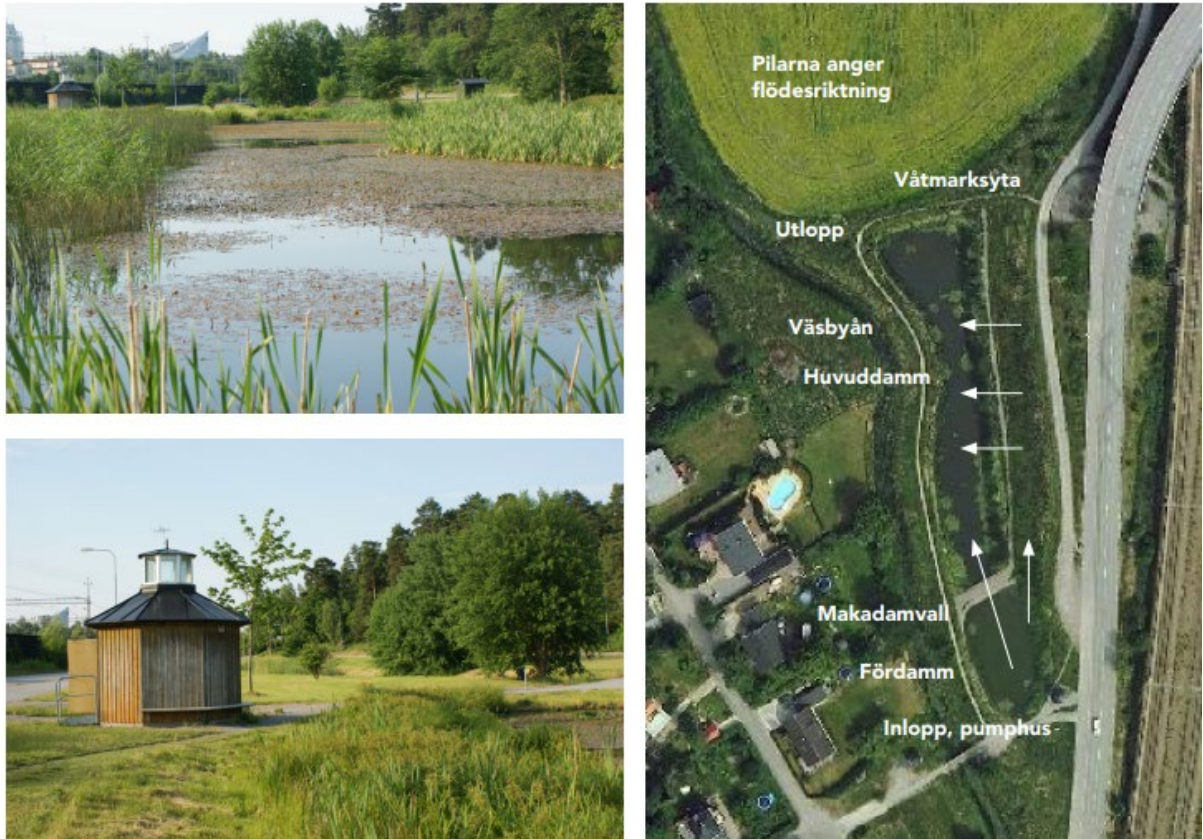
ammoniumtyppi		-2450 %	99 %
kiintoaine	21 %	-5 %	-260–7 %

Laskeutusallas poisti parhaiten kiintoainetta. Kokonaisfosforia pilottirakenne ei poistanut. Hulevedessä esiintyneet kokonaisfosforipitoisuudet olivat alhaisia. Kuparin havaittiin kertyvän järviruo'on juuriin, kun taas sinkki kertyi eniten kukintoihin. (Postila ym. 2021, 59–61.)

## 8.2 Ruotsi

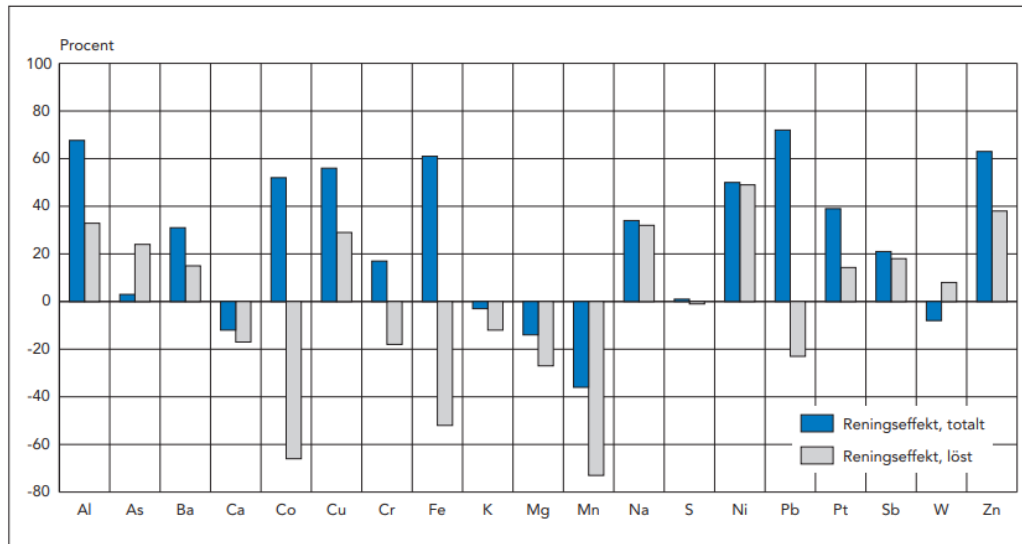
### Labrodammenin ja Tibbledammenin hulevesien käsittelyjärjestelmät

Alm ym. (2010) selvittivät Labrodammenin ja Tibbledammenin hulevesien käsittelyjärjestelmien vaikutusta hulevesien kiintoaineeseen, raskasmetalleihin, ravinteisiin ja kloridiin. Hulevesien käsittelyjärjestelmät sijaitsevat kahdessa eri kunnassa Tukholman pohjoispuolella. Näytteitä kerättiin virtausperusteisella näytteenotolla vuoden ajan hulevesien käsittelyjärjestelmiin tulevasta ja lähtevästä vedestä. Labrodammen on 0,55 ha:n kokoinen hulevesien käsittelyjärjestelmä, joka koostuu kahdesta altaasta ja niiden välissä olevasta sepelipenkereestä (kuva 20). Etummainen allas on pienempi ja matalampi, kun taas pääallas on isompi ja syvempi. Valuma-alueen pinta-ala on 201 ha ja keskimääräinen valumakerroin on 0,31.



**Kuva 20.** Labrodammenin hulevesien käsittelyjärjestelmä (Alm 2010).

Maankäyttömuodoltaan suurin osa valuma-alueesta on kerrostaloaluetta (60 ha), rivitaloaluetta (31 ha), niittyä (30 ha), omakotitaloaluetta (25 ha) ja metsämaata (25 ha). Labrodammenin hulevesien käsittelyjärjestelmän puhdistustehokkuus vaihteli eri aineiden välillä. Käsittelyjärjestelmä pidatti tehokkaasti Al, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Pt ja Zn kokonaispitoisuuksia. Liukoisessa muodossa olevat Co, Fe, Mn tai Mg eivät puolestaan pidättyneet hyvin rakenteeseen (Kuva 21). Edellä mainittujen aineiden lisäksi Labrodammenin hulevesien käsittelyjärjestelmä poisti tehokkaasti kloridia, nitraattia ja kiintoainetta. As, Ba, Co, Cu, Cr ja Zn puhdistustehokkuudet olivat suurimmat kesäaikaan. Myös Ca, K, Mg ja S pidättyminen oli tehokkaampaa kesällä. Al, Fe, Na, Ni, Pb ja Sb pidättyminen puolestaan oli suurinta talviaikaan (Alm ym. 2010, 36–43).



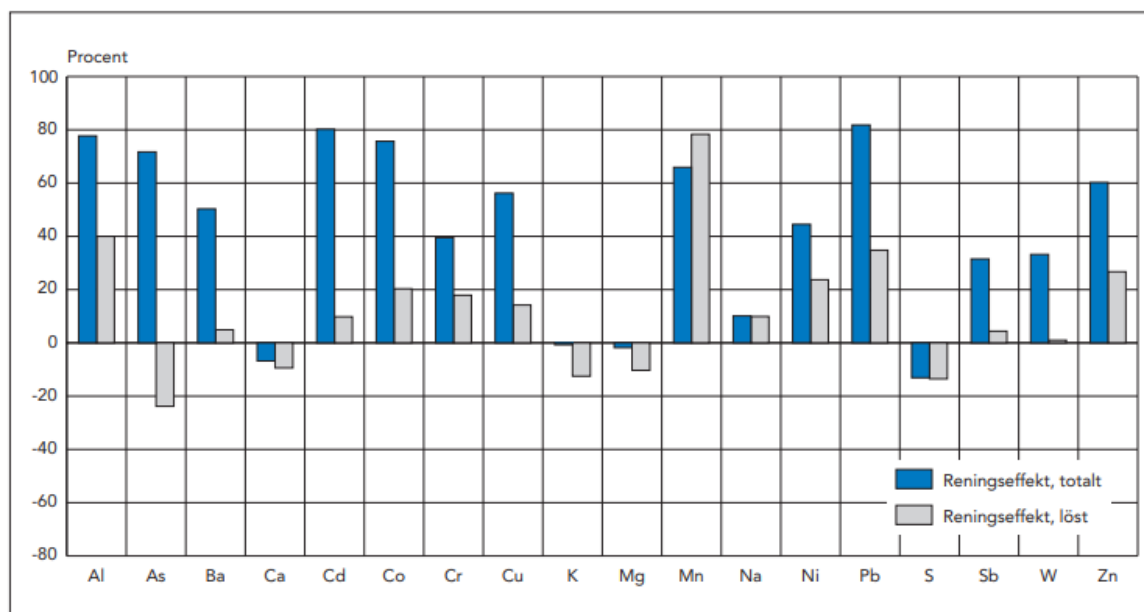
**Kuva 21.** Ladbrodammenin kosteikon puhdistustehokkuudet (%) kokonaispitoisuuksille (=siniset pylväät) ja liukoisille pitoisuuksille (=harmaat pylväät). Hg ja Cd jouduttiin jättämään kuvaajan ulkopuolelle, koska suuri määrä arvoja oli alle havaitsemisrajan.

Tibbledammen 0,56 ha:n kokoinen hulevesiallas, jonka poistossa on 26 metriä leveä pato, josta vesi virtaa yli poisto-ojaan (kuva 22). Valuma-alue on pinta-alaltaan 649 ha ja keskimääräinen valuntakerroin on 0,17. Maankäyttömuodoltaan suurin osa valuma-alueesta on metsämaata (233 ha), niittymaata (178 ha), omakotitaloaluetta (88 ha), rivitaloaluetta (65 ha) ja kerrostaloaluetta (65 ha). Lisäksi valuma-alueella on teollisuusaluetta, parkkipaikkoja sekä moottoritie E18.



**Kuva 22.** Tibbledammenin hulevesien käsittelyjärjestelmä (Alm 2010).

Näytteenottotulosten perusteella hulevesiallas pidätti suurinta osaa tarkastelluista aineista (kuva 23). Erityisen hyvin allas pidätti yli 40 % Al, As, Ba, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb ja Zn kokonaispitoisuuksista. Liukoisessa muodossa olevien aineiden pidättäminen jäi alhaisemmaksi lukuun ottamatta mangaania. Lisäksi allas pidätti hyvin ammoniumia, nitraattia ja kiintoainetta. Metallien poistotehokkuus oli tehokkainta kesällä lukuun ottamatta Ca, Mg, Na ja Pb, joiden puhdistustehokkuus oli tehokkainta talviaikaan. (Alm ym. 2010, 25–39, 43–44).



**Kuva 23.** Tibbledammenin kosteikon poistotehokkuudet (%) kokonaispitoisuuksille (= siniset pylväät) ja liukoisille pitoisuuksille (= harmaat pylväät). Hg jätettiin kuvaajan ulkopuolelle, koska suuri määrä arvoja oli alle havaitsemisrajan.

### Kalmarin kaupungissa sijaitseva kosteikko

Herrmann (2012) arvioi Kalmarin kaupungissa sijaitsevan kosteikon kemiallisia ja biologisia hyötyjä ensimmäisen 4,5 vuoden aikana. Tutkimuksessa arvioitiin virtaamia, otettiin näytteitä tulevasta ja lähtevästä vedestä sekä sedimentistä ja laskettiin kasvillisuuden ja selkärangattomien eläinten lajit sekä määrä. Hulevesi tulee kosteikolle pääosin asuinalueilta. Vedenlaatuparametrien ajallinen vaihtelu oli suhteellisen suurta, mutta tulevan veden arvot olivat pääosin korkeammat kuin lähtevän veden arvot. Kosteikon metallipitoisuudet olivat alhaiset niin vedessä kuin sedimentissä. Sedimentin alhaiset metallipitoisuudet johtuivat kosteikon nuoresta iästä ja hieman emäksisestä pH:sta. Vuonna 2002 kosteikko poisti kiintoainesta 62 % ja vuonna 2003 poistotehokkuus oli 40 %. Kosteikko poisti typpeä 43 % ja fosforia 35 %. Tutkimustulokset viittaavat siihen, että kosteikon typen poistotehokkuus tulee kasvamaan ja fosforin poistotehokkuus puolestaan vähenemään ajan kuluessa. Kasvilajien määrä kasvoi hieman koko kosteikon alueella. Vähemmän yleisten kasvilajien esiintyminen eri vyöhykkeillä väheni, kun taas yleisten kasvilajien esiintyminen vyöhykkeillä lisääntyi. Vedenalainen kasvillisuus väheni kosteikolla dramaattisesti. Osa selkärangattomista lajeista kuten pikkumalluaiset runsastuivat

nopeasti, mutta osa lajeista esimerkiksi harvasukasmadot kolonisoituivat hitaasti. Selkärangattomien lajien, pääosin kovakuoriaisten, määrä väheni ensimmäisen tutkimusvuoden jälkeen mahdollisesti rihmamaisen levän lisääntyessä kosteikolla.

### Kosteikkorakenteet Etelä-Ruotsissa

Strand & Weisner (2013) tarkastelivat seitsemän Etelä-Ruotsissa sijaitsevan ja maatalouden valuma-alueelle rakennetun kosteikon typen poistotehokkuutta. Neljällä kosteikolla (Bölarp, Edenberga, Lilla Böslid ja Södra Stene) mittausdata kerättiin 1,5–3 vuoden aikana automaattisilla virtausperusteisilla näytteenottimilla. Kolmen kosteikon (Genarp, Råbytorp ja Slogstorp) mittausdata kerättiin automaattisella aikaperusteisilla näytteenottimilla 4–9 vuoden ajan. Kosteikkojen virtaama mitattiin jatkuvatoimisesti kosteikolta lähtevästä vedestä, ja tulevan veden virtaaman oletettiin olevan sama kuin lähtevän veden virtaama. Typen poistotehokkuus vaihteli huomattavasti kosteikoilla (taulukko 8).

**Taulukko 8.** Kosteikkojen typen puhdistustehokkuudet (Strand & Weisner 2013).

Kosteikko	Ikä	Pinta-ala (ha)	Valuma-alueen pinta-ala (ha)	N kuorma (kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	N poisto (kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	N poisto (%)
Bölarp	2–4	0,28	200	23378	1003	4,3
Edenberga	2–4	0,22	60	6249	576	9,2
Lilla Böslid	12–15	0,40	650	29837	989	3,3
Södra Stene	1–3	2,1	100	138	17	12,3
Genarp	1–5	1,0	300	4225	374	8,85
Råbytorp	1–10	0,75	380	14270	791	5,5
Slogstorp	1–7	0,65	880	47272	1524	3,3

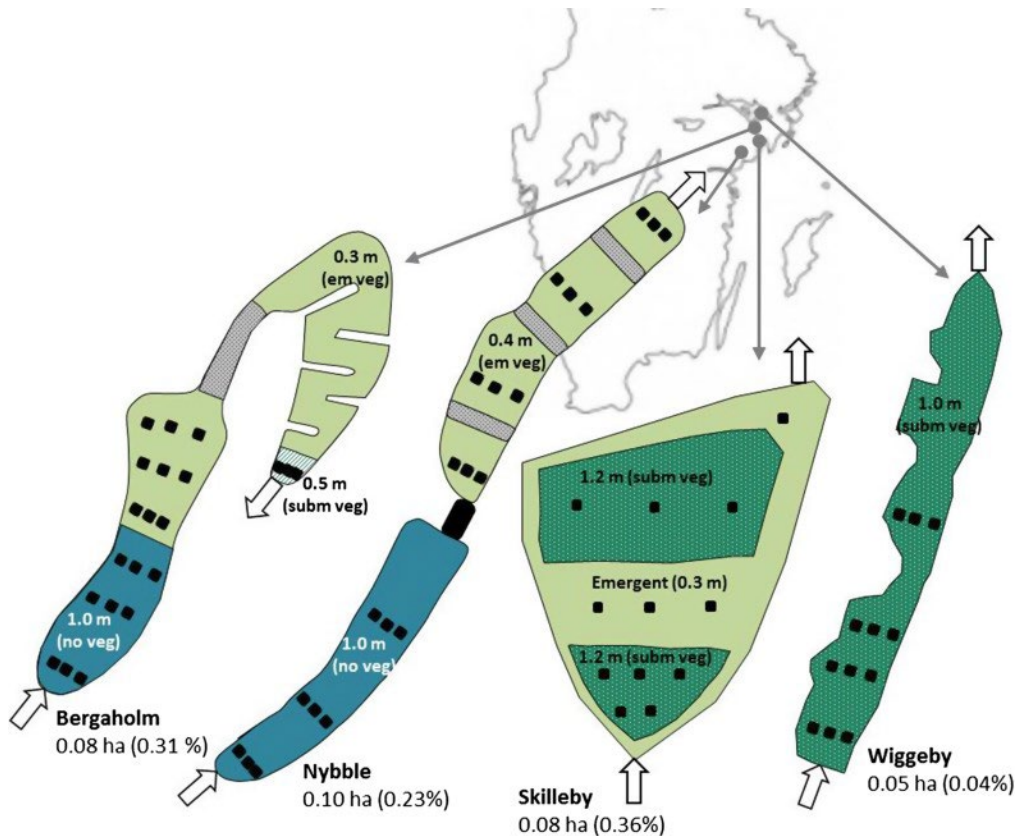
### Hulevesikosteikko Växjössä



Al-Rubaei ym. (2016) tutkivat 19 vuotta vanhan Växjössä sijaitsevan hulevesikosteikon pitkän aikavälin hydraulikka- ja käsittelyominaisuuksia. Vuonna 1994 rakennetulla kosteikolla käsitellään 320 ha:n valuma-alueelta tulevia hulevesiä. Valuma-alueesta 130 ha on asuinalueita, 190 ha teollisia tai kaupallisia alueita ja useita suuria teitä. Kosteikon koko valuma-alueesta on 2 %. Kosteikon ainoa huoltotoimenpide on ollut sedimentin poistaminen tasausaltaasta, mutta kosteikkoa on tarkkailtu jatkuvasti. Tutkimuksessa saatuja tuloksia verrattiin vuosien 1997 ja 2003 tuloksiin. Kosteikon havaittiin edelleen vähentävän tehokkaasti huippuvirtauksia, mutta vaatimattomasti keskimääräistä virtausta. Kosteikko poisti lyijyä ja kiintoainesta 96 %, kadmiumia 90 %, kuparia 91 %, sinkkiä 90 %, kokonaistyppeä 59 % ja kokonaisfosforia 89 %. Eniten kosteikon laadulliseen käsittelyyn vaikutti tasausallas, mutta kosteikko paransi hulevesien laatua entisestään. Aikaisempiin tuloksiin verrattuna kosteikon käsittelytehokkuus ei ollut juurikaan muuttunut. Hyvin suunniteltuna ja säännöllisesti tarkastettuna kosteikko voi toimia tehokkaasti ainakin kahden vuosikymmenen ajan.

### **Maatalouden valumavesiä käsittelevät kosteikot**

Geranmayeh ym. (2018) selvittivät kosteikkojen vaikutusta hiukkasten laskeutumiseen ja uudelleen suspendoitumiseen sekä fosforin kertymiseen. Neljä kosteikkoa, Nybble, Bergaholm, Skilleby ja Wiggeby, rakennettiin savimaille Itä-Keski-Ruotsiin maatalouden valuma-alueelle. Kosteikot ovat samankokoisia, mutta niiden välillä on eroja alueen muodossa, syvyyksissä ja kasvillisuudessa (kuva 24). Nybblen, Bergaholmin ja Skillebyn kosteikoilla näytteenotto suoritettiin virtausperusteisesti ja Wiggebyn kosteikolla hetkellisenä näytteenottona. Kosteikkojen pohjalle asennettiin sedimenttilevyjä ja sedimenttiloukkuja. Sedimenttilevyjen avulla arvioitiin sedimentin kertymistä ja sedimenttiloukkujen avulla sedimentin laskeutumista. Uudelleen suspendoitunut sedimentti arvioitiin sedimenttiloukkujen ja -levyjen välisestä erosta.



**Kuva 24.** Tutkittavien kosteikkojen välillä oli eroavaisuuksia niiden muodossa, syvyyksissä ja kasvillisuudessa. Kuvassa tummansininen väri ilmaisee syvää allasta ilman kasvillisuutta, vaalean vihreä ilmaisee matalaa kasvillisuuden peittämää aluetta, tummanvihreä ilmaisee syvää allasta, jossa kasvaa vedenalaista kasvillisuutta ja vihreät raidat ilmaisevat matalaa aluetta, jossa kasvaa vedenalaista kasvillisuutta. Harmaat alueet ovat ylivuotoalueita. Mustilla pisteillä ilmaistaan sedimenttinäytepisteet ja valkoisilla nuolilla osoitetaan tulo- ja poistoaukot. (Geranmayeh ym. 2018)

Sedimentin laskeutumista ja kerääntymistä tapahtui eniten suuruusjärjestyksessä Nybble, Bergaholm, Skilleby ja Wiggeby. Sedimentin kerääntyminen lisääntyi merkittävästi vuosien välillä Bergaholmin kosteikolla, kun taas Nybblen ja Wiggebyn kosteikoilla ei havaittu eroavaisuuksia vuosien välillä. Yli 80 % sedimentin kokonaiskertymästä tapahtui kosteikkojen alkualueilla (edustaan ensimmäisiä 20 %:a kosteikon kokonaisalasta) lukuun ottamatta Wiggebyn kosteikkoa, jossa alkualueilla tapahtui 40 % sedimentin kertymisestä. Sedimentin laskeutuminen ja kerääntyminen korreloivat positiivisesti hydraulisen kuormituksen kanssa muilla paitsi Wiggebyn kosteikolla, jossa oli suurin hydraulinen kuormitus. Yhdellä kosteikkoalueella korkean kertymisen ja uudelleen suspendoitumisen osoitettiin liittyvän negatiiviseen fosforinpoistoon, kun taas toisella kosteikkoalueella kohtalainen kertyminen ja

hydraulinen kuormitus liittyi 36 % fosforinpoistotehokkuuteen. Arvioitu keskimääräinen vuotuinen uudelleen suspendoituminen oli huomattavaa ja erosi merkittävästi kaikkien kosteikkojen välillä. Kosteikkojen muodolla ei havaittu olevan vaikutusta sedimentin kertymiseen. (Geranmayeh ym. 2018.)

### **Lumen varastoitumiseen käytettävät viherpainanteet**

Gavrić ym. (2021) tutkivat liikenneperäisten metallien rikastumista lumen varastoitumiseen käytettävissä viherpainanteissa. Tutkitut viherpainanteet (L1, L2 ja L3) sijaitsivat Luulajan kaupungissa. Tutkituista painanteista L1 sijaitsi kaupallisella valuma-alueella, L2 keskustassa vilkkaan tien laidalla ja L3 asuinalueella. Tutkimushetkellä painanteista L2 oli 57 vuotta vanha, kun taas L1 ja L3 olivat 38 vuotta vanhoja. Viherpainanteista otettiin maanäytteitä, joista analysoitiin 13 metallin pitoisuudet. Myös veden suotautumista painanteissa arvioitiin modifioidulla Philip-Dunne (MPD) -suodatusmittarilla. Vesi suotautui painanteissa hyvin 40–60 vuoden käytön jälkeen. Painanteiden kloridipitoisuudet olivat suhteellisen alhaiset, mikä selittyy kloridin korkealla liukoisuudella ja liikkuvuudella. L2 painanteessa Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Ni, Co, V, Ti ja W metallien keskimääräiset pitoisuudet olivat suurimmat muihin painanteisiin verrattuna. Lyijypitoisuudet kasvoivat syvemmissä maakerroksissa. Kaikkien viherpainanteiden bariumpitoisuudet ylittivät ruotsalaisen EPA:n ohjearvot, mutta bariumia esiintyy luontaisesti alueen maaperässä. Metallipitoisuudet eivät vähentyneet selvästi etäisyyden kasvaessa liikennöityihin pintoihin. Tämä viittaa siihen, että viherpainanteissa varastoitu lumi oli toinen metallien lähde, joka vaikutti metallien alueelliseen jakautumiseen.

### **Biosuodattimien toimivuus**

Beryani ym. (2021) selvittivät 26 biosuodattimen toimivuutta. Biosuodattimet sijaitsivat yhdeksässä eri kaupungissa ja ne olivat iältään 2 kk–6 vuotta. Tutkimuksessa arvioitiin biosuodattimien toiminnallista suunnittelua, esikäsittelyvaiheita, kasvillisuuden kuntoa, veden imeytymiskykyä, kunnossapitotarvetta sekä suodatinmateriaalin koostumusta ja kuntoa. Edellä mainittujen indikaattoreiden avulla määritettiin biosuodattimen toimivuus suhteessa sadeveden tehokkaaseen talteenottoon ja pidättämiseen.

Biosuodattimista 60 % toimi hyväksyttävästi ja 40 % tarvitsi suurta huoltoa tai korjausta. Yleisimmät syyt biosuodattimen toimimattomuuteen olivat suunnitteluvirheet tai huono esikäsittely.

### **Hulevesien käsittelyjärjestelmä mikromuovien poistamiseen**

Lange ym. (2021a) tutkivat Ruotsissa sijaitsevan hulevesien käsittelyjärjestelmän tehokkuutta poistaa liikennealueiden hulevesistä kumia, bitumia ja muita mikromuoveja (mm. kuidut ja maalipartikkelit), jotka ovat kooltaan 100–300 µm ja >300 µm. Hulevesien käsittelyjärjestelmä koostui esikäsittelynä toimivasta karkeasuodattimesta, josta hulevedet johdettiin joko kasvillisuuden peittämälle biosuodatusalueelle tai hiekkasuodattimeen (kuva 25). Käsittelyjärjestelmä käsittelee hulevesiä, jotka ovat peräisin valtatieltä E4. Kyseisen valtatie liikennetiheys on 13 250 ajoneuvoa/päivä. Käsittelyjärjestelmän jokaisesta vaiheesta otettiin näytteitä yhdeksän sadetapahtuman aikana syksyllä 2019 ja keväällä/kesällä 2020. Valtatie hulevedet voivat sisältää korkeita, mutta vaihtelevia pitoisuuksia kumi- ja bitumipartikkeleita (100–300 µm). Kumi-, bitumi- ja muita mikromuovipartikkeleita esiintyi >300 µm kokofraktiossa huomattavasti pienempinä pitoisuuksina. Karkeasuodatin ei vähentänyt mikromuovien määrää, kun taas biosuodatusalue ja hiekkasuodatin poistivat mikromuoveja enimmäkseen yli 70 %. Hiekkasuodattimen muiden mikromuovien (mm. kuitujen ja maalipartikkelien) poistotehokkuus oli alhaisempi.



**Kuva 25.** Hulevesien käsittelyjärjestelmä: SW = valtatie hulevedet (GPT sisääntulo), GPT = karkeasuodattimen ulosvirtaus, F1 = kasvillisuudella varustetun biosuodatusalueen ulosvirtaus, F2 = hiukkasuodatuksen ulosvirtaus, OP = ylivuotokuoppa (Lange ym. 2021b).

Lange ym. (2021b) selvittivät myös 20–100  $\mu\text{m}$  kokoisten mikromuovipartikkeleiden esiintymistä ja pitoisuuksia yllä mainitun hulevesien käsittelyjärjestelmän eri vaiheissa. Näytteitä otettiin yhdeksän sadetapahtuman aikana elokuu 2019–kesäkuu 2020. Valtatie hulevesissä havaituista polymeerityypeistä vallitsevia olivat polypropeeni (PP), etyleeni-propyleeni-dieeni (EPDM) ja eteeni-vinyylisetaatti (EVA). Yllättäen styreenibutadieenikumia (SBR) havaittiin vain satunnaisesti, mikä voi johtua esimerkiksi FTIR-tunnistusta haittaavasta renkaan kumin sekoittumisesta tienpinnan hiukkasiin. Karkeasuodattimella ei ollut merkittävää vaikutusta 20–100  $\mu\text{m}$  kokoisten mikromuovipartikkeleiden käsittelyyn, kun taas biosuodatusalueen havaittiin poistavan tehokkaasti mikromuoveja (mediaani ulosvirtauksen pitoisuus 26,5 partikkelia/L). Hiekkasuodatus poisti myös 20–100  $\mu\text{m}$  kokoisia mikromuovipartikkeleita, mutta ei niin tehokkaasti kuin biosuodatusalue (mediaani ulosvirtauksen pitoisuus oli 121 partikkelia/L).

### 8.3 Norja

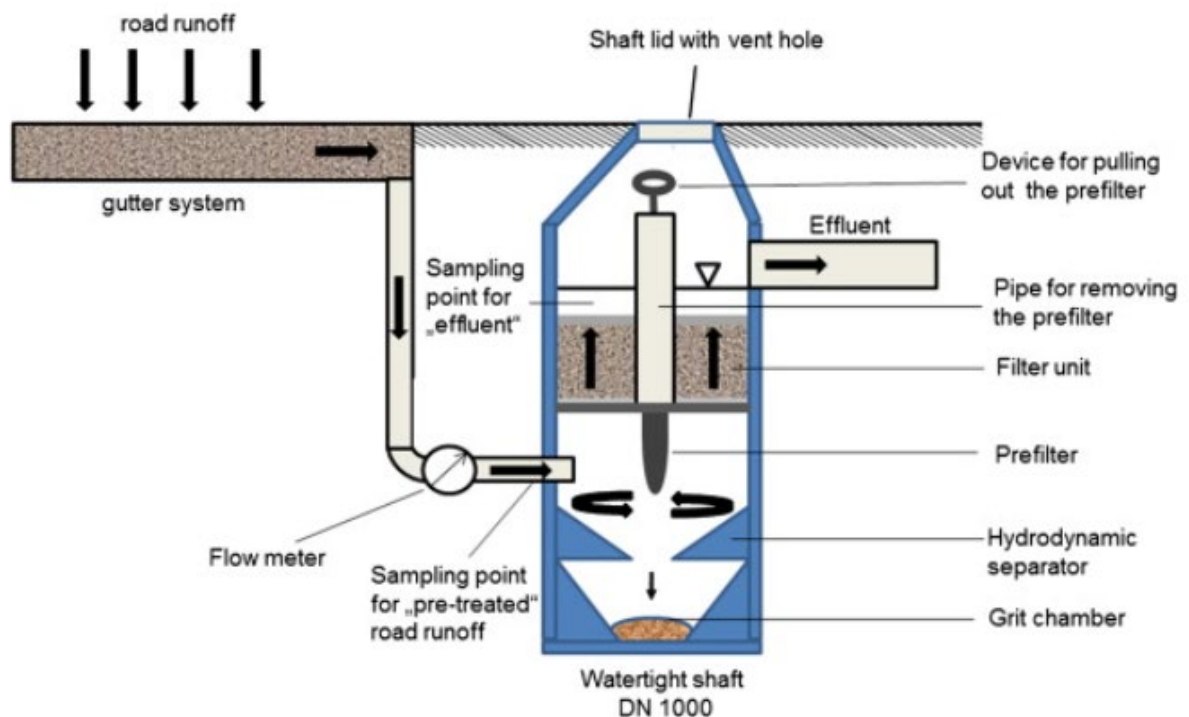
Muthanna ym. (2007) selvittivät kahden biosuodatinlaatikon kykyä poistaa haitta-aineita lumen sulamisvesistä. Biosuodatinlaatikot rakennettiin vesitiiviistä polyeteenimuovisista laatikoista, joiden pohjaan asennettiin salaojaputki. Biosuodatusrakenne koostui kasvillisuuskerroksesta, lehtikatteesta (5 cm), hiekasta (50 cm) ja sorasta (10 cm). Biosuodatusrakenteiden päälle kasattava lumi kerättiin vähän liikennöidyltä kadulta (1 550 ajoneuvoa/päivä), kohtalaisesti liikennöidyltä tieltä (5 000 ajoneuvoa/päivä) ja vilkkaasti liikennöidyltä tieltä (47 000 ajoneuvoa/päivä). Biosuodatinlaatikoiden todettiin poistavan metalleja jopa 89–99 %. Erittäin tehokkaasti metalleja poisti lehtikate, joka pidätti jopa 74 % sinkistä. Kuitenkin liuenneen kuparin ja sinkin pitoisuudet olivat suuremmat lähtevässä kuin tulevassa vedessä.

### 8.4 Tanska

Kööpenhaminan keskustaan rakennettiin vuonna 1993 kaksi hulevesikaivantoa noin seitsemän metrin etäisyydelle toisistaan. Niiden toimivuutta seurattiin vuosina 1994–1997, minä aikana havaittiin jo pientä mahdollisen tukkeutumisen aiheuttamaa suorituskyvyn alenemista. Lisäksi eteläisen kaivannon vedenjohtokyky oli noin 10 kertaa matalampi kuin pohjoisen kaivannon vedenjohtokyky. (Warnaars ym. 1999; Bergman 2010.) Bergman ym. (2010, 1–10) selvittivät kaivantojen toimivuutta 15 vuoden jälkeen. Hulevesikaivantoihin tulevan veden määrää ja vedenpinnan korkeutta mitattiin neljän kuukauden ajan vuonna 2009. Ajanjaksolta valittiin analysoitavaksi seitsemän sadetapahtumaa. Tuloksia verrattiin Warnaaarsin ym. vuosina 1994–1997 saamiin mittaustuloksiin. Tuloksista havaittiin, että kaivantojen (etenkin eteläisen) toimivuus oli heikentynyt niihin kertyneiden hienojakoisten partikkeleiden seurauksena. Rakenteen tukkeutumisen myötä ylivuotojen määrä kasvaa. Mikäli vedenjohtokyvyn heikkeneminen jatkuu samaan tahtiin, karkeiden arvioiden mukaan sadan vuoden päästä kaivantoihin tulevasta hulevesivalunnasta 60 % päätyy ylivuodoksi.

## 8.5 Saksa

Hilliges ym. (2013) selvittivät vuoden ajan Münchenissä sijaitsevan kolmiosaisen käsittelyjärjestelmän soveltuvuutta vilkkaasti liikennöidyn tien hulevesien käsittelyyn. Hulevesien käsittelyjärjestelmä koostui vesikourusta, hydrodynaamisesta erottimesta ja suodatinyksiköstä (kuva 26). Tien reunaan asennettu vesikouru oli tavanomainen betonikouru, johon oli asennettu integroituja esteitä parantamaan mineraalipartikkeleiden sedimentaatiota. Kourun päälle asennettiin ruostumattomasta teräksestä valmistettu rei'itetty levy, jolla estettiin mm. oksien ja lehtien päätyminen järjestelmään. Kourusta hulevesi johdettiin putken avulla hydrodynaamiseen erottimeen, jossa hiukkaset laskeutuivat ja päätyivät hiekkakammioon. Hydrodynaamisesta erottimesta hulevedet johdettiin suodatinyksikköön ruostumattomasta teräksestä valmistetun esisuodattimen (silmäkoko 0,7 mm) kautta. Suodatinyksikkö koostui ruskohiilestä (partikkelikoko 1,25–3 mm), joka oli kahden seulalevyn (silmäkoko 0,7 mm) välissä.



**Kuva 26.** Hulevesien käsittelyrakenteen periaatekuva (Hilliges ym. 2013).

Hulevedestä mitattuja parametrejä olivat kupari, sinkki, lyijy, natrium, kiintoaine ja orgaanisen hiilen kokonaismäärä. Huomattavasti suurimmat haitta-ainepitoisuudet havaittiin kylmänä vuodenaikana teiden suolauksen aikana. Hulevesien esikäsittely vesikourujärjestelmässä osoittautui tarpeelliseksi ja tehokkaaksi. Käsittelyjärjestelmä vähensi tehokkaasti tutkittuja haitta-aineita (Hilliges ym. 2013).

## 9 TEKNIS-TALOUDELLINEN TARKASTELU

### 9.1 Hulevesikosteikko

Hulevesikosteikolla on merkittävä positiivinen vaikutus hulevesien määrällisessä hallinnassa, sillä kosteikko estää hulevesitulvien syntymistä, tasaa virtaamia ja ehkäisee eroosiota. Kosteikolla voi olla keskitasoinen positiivinen vaikutus vähentää hulevesien määrää imeyttämällä ja pohjaveden muodostumiselle, jos maaperän vedenläpäisevyys on kohtalainen. Kosteikoilla on hyvä puhdistuskyky (65–100 %) kiintoaineen ja kokonaisfosforin osalta sekä keskitasoinen puhdistuskyky (30–65 %) kokonaistypen osalta. (Kuntaliitto 2012, 200–201, 175.) Suomessa turvetuotannon ja maatalouden valumavesiä on käsitelty kosteikoissa. Hulevesikosteikot poistivat Yhdysvalloissa tehtyjen tutkimusten perusteella keskimäärin 70 % kiintoaineesta, 25 % kokonaistypestä ja 50 % kokonaisfosforista. Kosteikot poistivat hyvin myös hiilivetyjä ja bakteereja. (Kasvio ym. 2016, 17–18.) Kosteikolta lähtevästä vedestä on monissa tapauksissa havaittu enemmän ravinteita kuin kosteikolle tulevassa vedessä (Kuntaliitto 2012, 172, 175–176).

Pitkä viipymä lisää kosteikon tehokkuutta poistaa liukoisia ravinteita. Kosteikon puhdistustehokkuutta voidaan lisätä rakentamalla kosteikon eteen laskeutusallas, joka vähentää kosteikolle päätyvän kiintoaineen määrää. Laskeutusaltaan tulisi olla 10–15 % kosteikon tilavuudesta. (Kotola ym. 2005, 74; Kuntaliitto 2012, 200–201, 175.) Maaperä ja kosteikkokasvillisuuden tila vaikuttavat ravinteiden pidättymiseen kosteikolla. Vesitilavuudeltaan pienissä kosteikoissa viivytystilavuuden



tyhjentymsajan suositellaan olevan 24 tuntia ja vesitilavuudeltaan suurissa kosteikoissa enintään kaksi vuorokautta. (Kuntaliitto 2012, 172, 175–176.)

Maankäyttötyypeiltään kosteikot soveltuvat hyvin pien- ja rivitaloalueille sekä liikennealueille. Mikäli liikennealueiden liikennemäärät ovat merkittäviä tai ne sijaitsevat pohjavesialueella, ne ovat hotspot-alueita. Tiheästi rakennetuille alueille, kerrostaloalueille ja hotspot-alueille kosteikot soveltuvat osittain tai tietyin ehdoin. Kosteikot eivät sovellu tai soveltuvat harvoin ydinkeskustaan. Kosteikot voivat toimia tehokkaasti myös kylmissä ilmasto-olosuhteissa. (Kuntaliitto 2012, 202–204.)

Kosteikkojen toteuttamista rajoittavat tekijät voidaan suurimmaksi osaksi välttää huolellisella suunnittelulla, sillä tilantarve on suurin toteutusta rajoittava tekijä. Kiintoaineen ja roskien suuri määrä eivät yleensä rajoita kosteikon rakentamista. Kosteikon mitoituksessa tulee huomioida valuma-alueen koko, ja kosteikon pinta-alan tulee olla ainakin 1–2 % valuma-alueen pinta-alasta. Jos kosteikolla tavoitellaan ravinteiden poistamista, kosteikon pinta-alan tulee olla jopa 2–4 % valuma-alueen pinta-alasta. Pysyvän vedenpinnan ja kasvillisuuden säilyvyyden kannalta hulevesikosteikkojen valuma-alueen tulee olla vähintään 10 hehtaaria. Mikäli valuma-alue on alle 10 hehtaaria, tulee riittävä perusvirtaama varmistaa esimerkiksi purkautuvalla pohjavedellä. (Kuntaliitto 2012, 172, 182, 203.)

Kosteikot olisi hyvä sijoittaa hulevesivalunnan purkureiteille tai maastopainanteisiin, joihin hulevesivalunta on helposti johdettavissa. Kosteikon purkurakenteiden mitoituksessa on huomioitava, että viivytystilavuus tyhjentyisi kahden vuorokauden aikana. Suurien virtaamien aikana patorakenteen tulee kestää veden mahdollinen tulviminen rakenteen yli tai kosteikko tulee varustaa ylivuotoreitillä. (Kuntaliitto 2012, 172–175.)

Muotoilultaan kosteikon olisi suositeltavaa olla pitkänomainen, muodoiltaan vaihteleva sekä sisään ja ulostulokohtia päin kapeneva. Lisäksi kosteikossa olisi hyvä olla saarekkeita sekä loivat rannat, joiden kaltevuus on 1:4–1:5. Pituuden ja kaltevuuden suhde tulisi olla ainakin 2:1, mutta kosteikon toiminnan parantamiseksi suhteen olisi hyvä olla 3:1–4:1. Kosteikoissa on pinnanmuodoltaan erilaisia alueita, kuten korkeita harvoin veden peittämiä alueita, matalia ajoittain veden peittämiä alueita sekä syvempiä avovesipintaisia alueita. Pinnanmuodoiltaan erilaisten alueiden avulla

lisätään elinympäristöjä erilaisille kasvilajeille ja eliöille sekä monipuolistetaan kosteikon biologista toimintaa. (Kotola ym. 2005, 74; Kuntaliitto 2012, 175.)

Talviolosuhteet vaikuttavat kosteikon toimivuuteen. Jääpeite voi vähentää altaan varastotilavuutta ja estää huleveden pääsyn kosteikolle. Lisäksi mikrobitoiminta heikkenee ja partikkeleiden laskeutuminen hidastuu vesien kylmentyessä. (Kotola ym. 2005, 74.)

Perustamiskustannukset vaihtelevat tapauskohtaisesti (taulukko 9). Kivipuron kosteikon perustamiskustannukset olivat noin 360 000 € ja suunnittelukustannukset 20 000 €. Kosteikon rakennuskustannukset sisältyivät kahden laskeutusaltaan maanrakennustyöt, ojien ja polkujen rakentamisen sekä kosteikkokasvillisuuden istuttaminen. (Punntila 2014, 67.) Kosteikon perustamistavalla on vaikutusta kustannuksiin, sillä kosteikko voidaan toteuttaa esimerkiksi kaivamalla tai patoamalla. Perustamiskustannuksista suurin osa syntyy maan kaivamisesta, kaivetun maan aineksen hyödyntämisestä kosteikkorakenteissa, viimeistelytyöistä sekä rakenteiden ja luiskien muotoilemisesta. (Puustinen ym. 2007, 35, 71.) Kosteikon rakennustyöt ovat vähäisemmät, jos kosteikko rakennetaan painanteeseen (Kuntaliitto 2012, 175).

**Taulukko 9.** Kosteikkojen perustamiskustannuksia (Siekinen 2020a; Siekinen 2020b; Punntila 2014).

Kosteikko	Sijainti	Pinta-ala (ha)	Perustamiskustannukset
Itäinen kosteikko	Kempele	0,30	12 070 € (alv 0 %)
Läntinen kosteikko	Kempele	0,05	4 400 € (alv 0 %)
Ruottalonlahden kosteikko	Raahe	0,10	7 000 € (alv 0 %)
Kivipuron kosteikko	Lahti		360 000 €

Kosteikolle tehtäviä huoltotoimenpiteitä ovat liian rehevän kasvillisuuden, altaiden pohjalle kerääntyneen kiintoaineksen sekä roskien ja vierasesineiden poistaminen. Hulevesikosteikon altaiden pohjalle kertyvä kiintoaines tulee poistaa säännöllisesti

kosteikon puhdistustehokkuuden ylläpitämiseksi. Kiintoaineksen poistamisen aikaväli vaihtelee kosteikkokohtaisesti, mutta Ruotsissa suositeltu aikaväli on viisi vuotta tai kun avovesialtaan syvyydestä 10 % on täyttynyt kiintoaineksella. (Kasvio ym. 2016, 18.) Kiintoaine poistetaan lietepumpulla tai kaivinkoneella. Altaiden pohjan syvyys tulee mitata kerran vuodessa kiintoaineen määrän tarkistamiseksi. Kasvillisuus tulee niittää noin kolmen vuoden välein. Kunnostusruoppaus tehdään kasvillisuuden kasvaessa liian reheväksi eli noin 10–15 vuoden välein. (Kuntaliitto 2012, 259.) Keväällä, kesällä ja syksyllä esiintyvien runsaiden virtaamien jälkeen kosteikon patoja pengerrakenteiden kunto tulee tarkastaa etenkin ensimmäisinä vuosina maarakenteiden painumisen takia. Myös juoksutusrakenteiden materiaalien paikoillaan pysymistä tulee seurata. (Puustinen ym. 2007, 69.)

Kivipuron hulevesikosteikon ylläpitokustannukset olivat 5 000 ja 8 000 euroa vuosina 2012 ja 2013. Vuosittainen huolto vaihtelee, sillä huoltotarpeeseen vaikuttavat muun muassa eroosio, kasvillisuuden kasvu sekä kiintoaineen sedimentaatio. Ojien tyhjennys tulee tehdä 1–2 vuoden välein ja suurempien altaiden tai lampien tyhjennys 5–10 vuoden välein. Altaan pohjalle sedimentoituneen kiintoaineen poiston oletettiin kustantavan 1 €/m<sup>2</sup>. (Punntila 2014, 67.) Viiden vuoden aikana Kuopiossa kosteikkokohtaisen kunnossapitokustannuksien keskiarvo oli noin 1 387 € (Eskelinen 2018, 16).

## 9.2 Hulevesiallas

Hulevesialtaalla on huomattava positiivinen vaikutus virtaaman tasaamiselle, hulevesitulvien ehkäisemiselle sekä eroosion ehkäisemiselle. Jos maaperän vedenläpäisevyys on kohtalainen, hulevesialtaalla on myös positiivinen vaikutus vähentää hulevesien määrän imeyttämällä. Altaalla on hyvä puhdistuskyky (65–100 %) kokonaisfosforin ja kiintoaineen osalta sekä keskitasoinen (30–65 %) kokonaistypen osalta. (Kuntaliitto 200–201.) Mitä pidempi viipymä ja tiheämmät partikkelit, sitä enemmän kiintoainetta laskeutuu viivytysaltaassa (Ahponen 2005, 70).

Maankäyttötyypeiltään hulevesialtaat soveltuvat hyvin pien- ja rivitaloalueille sekä liikennealueille. Mikäli liikennealueiden liikennemäärät ovat merkittäviä tai ne sijaitsevat pohjavesialueella, ne ovat hotspot-alueita. Tiheästi rakennetuille alueille, kerrostaloalueille ja hotspot-alueille altaat soveltuvat osittain tai tietyin ehdoin. Altaat eivät sovellu tai soveltuvat harvoin ydinkeskustaan. Hulevesialtaat voivat toimia tehokkaasti myös kylmissä ilmasto-olosuhteissa. (Kuntaliitto 2012, 202–204.)

Altaiden toteuttamista rajoittavat tekijät voidaan suurimmaksi osaksi välttää huolellisella suunnittelulla. Valuma-alueen koko sekä kiintoaineen ja roskien suuri määrä eivät yleensä rajoita niiden rakentamista. Mitoitukseltaan hulevesialtaan pinta-alan tulee olla noin 1 %, mutta ainakin 0,1–0,2 % valuma-alueen pinta-alasta. Pysyvän vedenpinnan ja kasvillisuuden säilyvyyden kannalta hulevesikosteikkojen valuma-alueen tulee olla vähintään 10 hehtaaria. Mikäli valuma-alue on alle 10 hehtaaria, tulee riittävä perusvirtaama varmistaa esimerkiksi purkautuvalla pohjavedellä. (Kuntaliitto 2012, 172, 182, 203.)

Hulevesialtaiden kunnossapitotoimenpiteisiin kuuluvat muun muassa kasvillisuuden hoitotoimenpiteet, roskien poistaminen, rakenteiden korjaaminen, ylivuotoreittien kunnossapito sekä tulo- ja lähtöputkien puhdistus ja sulanapito. Pysyvän vedenpinnan rakenteiden yhteyteen tulee rakentaa huoltotie, joka mahdollistaa rakenteiden huoltamisen. (Kuntaliitto 2012, 172, 259.)

Syksyllä altaan purkurakenteet tulee tarkistaa ja huoltaa, jotta ehkäistään purkurakenteiden tukkeutuminen ja jäätyminen. Mikäli purkurakenteet ovat jäässä tai tukkeutuneita, talviaikaiset hulevesivirtaamat voivat ohittaa rakenteet. Hulevesialtaat toimivat myös talviolosuhteissa, mutta lumi ja jää voivat vähentää niiden hulevesien käsittelytilavuutta. (Kuntaliitto 2012, 183.)

Huolellisella suunnittelulla voidaan säästää huomattavasti hulevesialtaan kunnossapidossa. Hyvänä esimerkkinä toimii Hulluojan hulevesiallas, jolle laadittiin kunnostussuunnitelma. Aikaisemmin Oulussa sijaitsevan Hulluojan hulevesialtaan (kooltaan 670 m<sup>2</sup>) kiintoaineen poisto tehtiin 1–2 kertaa vuodessa, huoltotoimenpide kustansi noin 3 000 € per huoltokerta ja kesti useita työpäiviä. Korkeat huoltokustannukset johtuivat hulevesialtaan luonnonkivillä päällystetystä pohjasta, minkä takia allas jouduttiin tyhjentämään kiintoaineen poistamiseksi. Hulevesialtaan kunnostussuunnitelmassa huomioitiin paremmin altaan kunnossapito. Kunnostetun

hulevesialtaan kokonaistilavuus olisi 507 m<sup>3</sup> ja se sisältäisi sekä pysyvän veden alueen että lammikoitumisalueen. Lammikoitumisalueen pohjaksi valittaisiin niittysiemeniä sisältävä eroosiomatto. Lisäksi hulevesialtaan eteen rakennettaisiin laskeutusallas, johon iso osa kiintoaineesta laskeutuisi. Laskeutusallas voitaisiin tyhjentää kaivinkoneella. Kustannusarvion mukaan uuden hulevesialtaan kiintoaineen poistamisen kustannukset tulisivat olemaan noin 350 €. Kiintoaine poistettaisiin jatkossa kerran vuodessa ja huoltotoimenpide kestäisi noin yhden työpäivän verran. (Rautakoski 2020.)

### 9.3 Suotopato

Suotopadot viivyttävät hulevesivirtausta ja vähentävät kiintoaineen määrää pidättämällä kiintoainetta suotopatorakenteisiin. Niitä käytetään esimerkiksi avo-ojissa ja kuivatusjärjestelmien purkupisteissä. Avo-ojissa suotopadot suositellaan rakennettavaksi niiden alajuoksulle. Suotopatorakenteessa käytettävän kiviaineksen tulee olla vähän kiintoainetta sisältävää sekä vettä hyvin läpäisevää. Soveltuvia kiviaineita ovat esimerkiksi sepeli ja sora. Rakenteeseen voidaan lisätä myös suodatinkangasta tai biohiiltä tehostamaan huleveden puhdistumista. (FCG Suunnittelu ja Tekniikka Oy 2015, 29; Räsänen 2020, 40, 44.)

Suotopatojen huoltotoimenpiteitä ovat roskien poistaminen, rakenteiden tarkastelu sekä tarvittaessa patorakenteen korjailu (Mykkänen 2021, 86–87). Suotopatorakenteet on suositeltavaa tarkistaa esimerkiksi runsaiden virtaamien jälkeen. Rakenne tulee uusiksi, kun havaitaan tukkeutumista. (FCG Suunnittelu ja Tekniikka Oy 2015, 32.)

### 9.4 Suodatinkaivo

Suodatuskaivoiksi kutsutaan erilaisia kaivorakenteita, joissa hulevedet puhdistetaan johtamalla ne suodatusmateriaalikerrokseen. Kaivorakenne voi olla pohjaton sadevesikaivo, jonka alaosassa on kerros suodatusmateriaalia tai pohjasta rei'itetty, putki, josta vesi jakautuu kaivon alapuolella ja ympärillä olevaan suodatusmateriaaliin.

Suodatusmateriaalit pidättävät huleveden kiintoaineen ja kiintoaineeseen sitoutuneita haitta-aineita. Suodatinmateriaalikerroksessa voidaan käyttää esimerkiksi paksuudeltaan noin 0,5 m:n hiekka tai sorakerrosta. Suodatinkaivon rakentamisessa tulee huomioida, että suodatinmateriaalikerroksen yläosa on vähintään 1,5 m ylempänä kuin korkein pohjavedenpinta. (Ahponen 2005, 75.)

Suodatinmateriaalien kustannukset ovat iso osa suodatinkaivojen kustannuksista. Suodatinmateriaalien hinnoissa voi olla isojakin eroja. Suomalaisten toimijoiden ohjeellisia hintoja eri suodatinmateriaaleille on esitetty taulukossa 10. Hinta-arviot on annettu olettaen, että materiaalia ostetaan 30 m<sup>3</sup>. Joitakin suodatusmateriaaleja, kuten biohiiltä käytetään yleensä seoksissa. (Holt ym. 2018, 38–39.)

**Taulukko 10.** Suodatinmateriaalien yksikköhintoja vuonna 2017 (Chaurand ym. 2019, 34; Holt ym. 2018, 39).

Materiaalivaihtoehto	Hinta (€/m <sup>3</sup> )
Hiekka (100 %)	7–10
Yhdistelmä <sup>a</sup>	14–15
Murskattu kivi (100 %) <sup>b</sup>	7–8
Murskattu sepeli (100 %) <sup>c</sup>	20
Biohiili (100 %)	200
Leca <sup>®</sup> sora (100 %)	40–75
Filtralite <sup>®</sup> P (100 %)	115
Turve (100 %)	50–60
Leca-sora + sepeli 1:1	38,75
Biohiili + sepeli 1:1	110
Sepeli + biohiili (7,5 cm kerros)	33,5

<sup>a</sup> Yhdistelmä, joka on samanlainen kuin StormFilter-tutkimuksessa käytetty 0/5

<sup>b</sup> Murskattu kivi, joka on samanlainen kuin StormFilter-tutkimuksessa käytetty SSr 0/16

<sup>c</sup> Yksikköhinta vastaa pesemättömän sepelin hintaa. Chaurand ym. 2019 kokeissa käyttämän sepelin hinta oli n. 45 % korkeampi.

Suodatuskaivojen suodatinkerroksen toimivuutta ja kaivojen kuntoa tulee ylläpitää riittävällä huollolla, sillä suodatinkaivojen ongelmana on niiden tukkeutuminen. Suodatuskaivojen kunnossapitotoimenpiteisiin kuuluvat kaivon puhdistus ja

ylivuotoputken toimivuuden tarkastaminen (2 krt/vuosi). Suodatinkaivo tulisi puhdistaa joka vuosi. Suodatinmateriaalien vaihtamiseen tulee varautua noin viiden vuoden välein. (Kuntaliitto 2012, 266.)

## 9.5 Hulevesikasetti

Hulevesikasettijärjestelmän suunnittelussa on huomioitava asennuspaikan koko, maaperä, rankkasateiden määrä ja tulvan toistuvuus, suojaetäisyydet (esimerkiksi rakennuksiin, puustoon ja pohjaveteen), kasettien päälle tuleva kuormitus sekä asennussyvyys. (Uponor 2012, 3–5.) Kasettijärjestelmä voidaan rakentaa suhteellisen nopeasti. Lisäksi lampiin ja painanteisiin verrattuna kasetit rajoittavat vähemmän alueen maankäyttöä. (Sänkiaho & Sillanpää 2012, 52.)

Hulevesikasettien huoltotoimenpiteiden tarpeeseen vaikuttavat asennuspaikka ja käyttötarkoitus. Kasettien tarkkailua ja huoltoa varten järjestelmä varustetaan huolto- tai tarkastuskaivoilla. Noin puolen vuoden välein tulisi tarkistaa silmämääräisesti kasettien kunto ja vedenpinnan korkeus. Suositellut ajat huoltotoimenpiteille ovat kevät ja syksy. Kasetteihin kertyneen liete kerroksen paksuus tulee mitata vuoden välein. Kasetit tulee tyhjentää loka-autolla lietteestä, kun lietetilavuudesta 1/3 on täyttynyt, hälytinjärjestelmän merkkivalohälytys palaa tai vähintään joka kolmas vuosi. (Wavin Labko Oy s.a., 1–2.)

Kerran vuodessa mahdolliset hälyttimet ja anturit tulee tarkastaa ja puhdistaa. Lisäksi kerran vuodessa sulkuventtiilikaivon venttiilit tulee rasvata sekä huolto- tai tarkastuskaivojen kunto tulee tarkistaa ja niihin kertynyt liete poistaa. Ylimääräiset esineet tulee poistaa kaseteista. Puiden juuret ja järjestelmän päällä kasvavat kasvit voivat vahingoittaa järjestelmää, minkä takia ne tulee tarvittaessa poistaa. Huolto- tai tarkastuskaivojen kautta voidaan tarvittaessa tarkastella kasetteja videokameralla tai tehdä järjestelmän painehuuhtelua. (Wavin Labko Oy s.a., 1–2.)

## 10 HULA-HANKKEESSA HAVAITTUA

Hulevesien käsittelymenetelmistä ja erityyppisistä hulevesirakenteista sekä niiden tehokkuudesta hulevesien laadullisessa hallinnassa on saatavilla runsaasti tietoa. Hulevesirakenteiden avulla voidaan rakentaa moni-ilmeistä kaupunkiympäristöä, parantaa viihtyvyyttä ja lisätä kaupunkimaiseman vihreyttä sekä samalla tukea luonnon monimuotoisuutta. Hulevesien käsittelyllä on olennainen rooli pyrittäessä parantamaan ja säilyttämään vesistöjen hyvä laatu. Esimerkiksi Mikkelin kaupunkialueella on runsaasti erilaisia pienvesistöjä, joilla on suuri merkitys kaupunkikuvan ja asukkaiden viihtyvyyden kannalta. Kuntatalouden näkökulmasta tarkasteltuna hulevesirakenteiden tulee olla riittävän yksinkertaisia, jotta niiden rakennuskustannukset eivät paisuisi liian suuriksi, ja lisäksi niiden huollon pitää olla helposti ja edullisesti toteutettavissa.

Merkittävin keino hulevesien laadun parantamiseksi erilaisissa käsittelyrakenteissa ennen vesien johtamista edelleen vastaanottavaan vesistöön on veden virtausnopeuden hidastaminen. Virtausnopeuden hidastaminen vaikuttaa veden sisältämän kiintoaineen laskeutumiseen. Monesti suurin osa hulevesien sisältämistä epäpuhtauksista, esimerkiksi ravinteet ja metallit, on sitoutunut kiintoaineeseen. Virtausnopeutta voidaan hidastaa moni eri keinoin, esimerkiksi hulevesirakenteen virtausuoman mutkittelulla, erilaisilla uomaan kaivetuilla syvennyksillä tai kuopilla sekä pohjapadoilla. Virtaamien voimakas vaihtelu hulevesitapahtumien aikaan aiheuttaa helposti eroosiota esimerkiksi tulouomissa, joten tulouoman suulle voi olla hyvä sijoittaa suurempia kiviä virtaaman hajottamiseksi (Kerava 2020, 79). Myös hulevesien suodattamiseen tarkoitetut rakenteet hidastavat luonnollisesti hulevesien virtausnopeutta. Lisäksi hulevesirakenteiden kasvillisuudella on virtausnopeutta hidastava vaikutus (Hulevesiopas 2012). Hula-hankkeen kolmessa eri pilot-kohteessa on hyödynnetty kaikkia edellä mainittuja virtauksen hidastamiskeinoja. Pilot-kohteiden toimintaa on tarkemmin avattu hankkeen loppujulkaisussa.

Rakenteellisten ratkaisujen lisäksi myös kasvillisuudella voi olla on hulevesien käsittelyssä tärkeä rooli. Hula-hankkeen aikana kohteiden kasvillisuutta ei seurattu suunnitelmallisesti, mutta kohteissa kasvillisuuden muutoksia tarkkailtiin kenttätyöskentelyn yhteydessä. Esimerkiksi Karikon altaassa voitiin hankkeen toteutusaikana havaita suuria muutoksia, sillä kasvillisuus runsastui oleellisesti. Kasvillisuus voi vähentää tehokkaasti hulevedessä olevia liukoisia aineita, koska liukoisessa muodossa olevat ravinteet ja yhdisteet ovat suoraan kasvien käytettävissä.



Hula-hankkeen pilot-kohteina olleiden hulevesien käsittelyrakenteiden suunnittelu ja rakentaminen ovat vaatineet Mikkelin kaupungilta runsaasti taloudellista panostusta. Pitkäjärven tutkimusympäristön rakennuskustannukset olivat vuonna 2018 noin 190 000 euroa, josta 70 prosenttia katettiin Euroopan aluekehitysrahaston ja valtion tuella (Mikkeli 2021). Naistingin hulevesikosteikon suunnittelu- ja perustamiskustannukset puolestaan olivat noin 68 000 euroa, ja Karilan hulevesialtaan noin 55 000 euroa (Cederström 2022). Hinnoista saa hyvän käsityksen erityyppisten hulevesirakenteiden suunnittelu- ja rakentamiskustannuksista.

Hulevesirakenteita, kuten esimerkiksi altaita ja kosteikoita tulee huoltaa ja korjata ajoittain. Muuttuvat sääolosuhteen ja vaihtelevat vesimäärät kuluttavat rakenteita. Suositeltavaa olisi, että hulevesirakenteet käytäisiin tarkastamassa ainakin kerran vuodessa. Myös Hula-hankkeen kohteiden havaittiin monitoroinnin aikana vaativan huoltoa. Esimerkiksi Naistingin hulevesikosteikon reunavalli oli talven 2021–2022 ja kevään 2022 aikana vaurioitunut luultavasti routimisen ja sulamisvesien vaikutuksesta. Pitkäjärven tutkimusympäristön suodatinmateriaalit puolestaan olivat tukkeutuneet käytössä ja tulleet siten käyttöikänsä päähän.

Hula-hankkeen pilot-kohteilla todettiin suoritettuna monitoroinnin perusteella olevan hulevesien laatua parantava vaikutus. Monitoroinnin perusteella voitiin myös todeta, että tarkastelluilla valuma-alueilla syntyvät hulevedet ovat laadultaan melko hyviä. Verrattaessa näytteenoton ja kenttämittausten tuloksia Tukholman läänissä käytössä oleviin hulevesien laatua koskeviin raja-arvoihin, voitiin havaita ainoastaan yksittäisiä raja-arvon ylityksiä. Raja-arvo ylittyi esimerkiksi yksittäisten metallien osalta (nikkeli 20 µg/l - alempi raja-arvo 15 µg/l, sinkki 125 µg/l - ylempi raja-arvo 125 µg/l). On kuitenkin otettava huomioon, että näytteenoton ja laboratorioanalyysien avulla määritetyt pitoisuudet ovat aina kyseisen hetken pitoisuuksia. Näytteenoton avulla ei siis välttämättä saada "kiinni" pitoisuuksien vaihtelua. Toistuva ja pitkäaikainen näytteenotto kuitenkin auttaa saamaan kuvan huleveden laadullisesta vaihtelusta. Hulevesien kohdalla on myös aina huomioitava se, ettei ympäristökuormitus tyypillisesti synny yhden hulevesitapahtuman seurauksena, vaan on seurausta toistuvasta ja pitkäkestoisesta valunnasta.

## LÄHTEET

Aaltonen, J., Hohti, H., Jylhä, K., Karvonen, T., Kilpeläinen, T., Koistinen, J., Kotro, J., Kuitunen, T., Ollila, M., Parvio, A., Pulkkinen, S., Silander, J., Tiihonen, T., Tuomenvirta, H. & Vadja, A. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). Suomen Ympäristökeskus 2008:31. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38381/SY\\_31\\_2008.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38381/SY_31_2008.pdf?sequence=7&isAllowed=y) [viitattu 19.8.2021].

Ahponen, H. 2005. Luonnonmukaisten hulevesienkäsittelymenetelmien ja aluesuunnittelun keinoin kohti parempaa taajamahydrologiaa. Teoksessa Vakkilainen, P., Kotola, J. & Nurminen, J. (toim.) Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. Helsinki: Ympäristöministeriö, 64–71. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40647/SY\\_776.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40647/SY_776.pdf?sequence=1) [viitattu 12.11.2021].

Airola, J., Nurmi, P. & Pellikka, K. 2014. Huleveden laatu Helsingissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2014:12. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-12-14.pdf> [viitattu 6.9.2021].

Alm, H., Banach, A. & Larm, T. 2010. Förekomst och rening av prioriterade ämnen, metaller samt visa övriga ämnen i dagvatten. Svensk Vatten Utveckling rapport 2010:06. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://vav.griffel.net/filer/rapport\\_2010-06.pdf](http://vav.griffel.net/filer/rapport_2010-06.pdf) [viitattu 9.2.2022].

Al-Rubaei, A. M., Engström, M., Viklander, M. & Blecken, G.-T. 2016. Long-term hydraulic and treatment performance of a 19-year old constructed stormwater wetland. *Ecological Engineering* 95 (2016), 73–82. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.031> [viitattu 28.9.2021].

Antikainen, E. & Koskenlahti, A. 2019. Testausraportti – Hulevesisuodattimen tutkimus. Savonian ammattikorkeakoulu. PDF-dokumentti. Päivitetty 15.5.2019. Saatavissa: <https://static1.squarespace.com/static/625e9a3d6b414b0ba4d9c015/t/6272521e8b60950f704d01ec/1651659296273/Hulevesisuodattimen-testausraportti-Savonia-1.pdf> [viitattu 29.11.2022].

Assmuth, E. 2017. Performance of roadside filtration systems in the treatment of stormwater. Aalto-yliopisto. Water and Environmental Engineering. Pro gradu - tutkielma. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/30076/master\\_Assmuth\\_Eero\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/30076/master_Assmuth_Eero_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 27.10.2021].

Bergman, M., Hedegaard, M. R., Petersen, M. F., Binning, P., Mark, O. & Mikkelsen, P. S. 2010. Evaluation of two stormwater infiltration trenches in central Copenhagen after 15 years of operation. Novatech. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.2166/wst.2011.158> [viitattu 27.9.2021].

Beryani, A., Goldstein, A., Al-Rubaei, A. M., Viklander, M., Hunt III, W. F. & Blecken, G.-T. 2021. Survey of the operational status of twenty-six urban stormwater biofilter facilities in Sweden. *Journal of Environmental Management* 297 (2021), 113375. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113375> [viitattu 5.10.2021].

Bollmann, U. E., Vollertsen, J., Carmeliet, J. & Bester, K. 2014. Dynamics of biocide emissions from buildings in a suburban stormwater catchment – Concentrations, mass loads and emission processes. *Water Research* 56 (2014), 66–76. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.02.033> [viitattu 29.10.2021].

Cederström, A. 2022. Henkilökohtainen tiedonanto 14.11.2022.

Chaurand, G., Sillanpää, N., Hänninen, T., Kauppila, E., Hyöty, P. & Hyöty, P. 2019. Lentoaseman hulevesi käsitellään pian maanalaisessa kosteikossa. *Vesitalous* 2 (2019), 17–23. Verkkolehti. Saatavissa: [https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902\\_lowres.pdf](https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902_lowres.pdf) [viitattu 21.12.2021].

DIEHL Metering. 2022. Hydrus 2.0 Bulk smart water metering with superb metrology and connectivity the best of two worlds. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.diehl.com/metering/en/products-services/water-metering/hydrus-20-bulk-de/> [viitattu 17.11.2022]

Eg-trading Oy s.a. Kelluvat kosteikot antavat puhtaampaa vettä. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.eg-trading.fi/sites/default/files/Kelluvat%20kosteikot.compressed.pdf> [viitattu 18.10.2021].

ELY-keskus. 2021. Talvihoito. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/talvihoito> [viitattu 22.2.2022].

Eskelinen, A. 2018. Hulevesirakenteiden kunnossapito Kuopiossa. Savonia ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala. Opinnäytetyö. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/141702/Eskelinen\\_Anna-Kaisa.pdf.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/141702/Eskelinen_Anna-Kaisa.pdf.pdf?sequence=1) [viitattu 9.11.2021].

Eskola, R. & Tahvonen, O. 2010. Hulevedet rakennetussa viherympäristössä. HAMKin julkaisuja 2010:7. Tampere: Tampereprint Oy.

Fairbairn, D. J., Elliot, S. M., Kiesling, R. L., Schoenfuss, H. L., Ferrey, M. L. & Westerhoff, B.M. 2018. Contaminants of emerging concern in urban stormwater: Spatiotemporal patterns and removal by iron-enhanced sand filters (IESFs). *Water Research* 145 (2018), 332–345. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.08.020> [viitattu 29.10.2021].

FCG Suunnittelu ja Tekniikka Oy. 2015. Skanssin hulevesisuunnitelma – loppuraportti. Turun kaupunki. PDF-dokumentti. 13.4.2015. Saatavissa: [https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files/skanssin\\_hulevesisuunnitelma.pdf](https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files/skanssin_hulevesisuunnitelma.pdf) [viitattu 15.11.2021].

Gavrić, S., Leonhardt, G., Österlund, H., Marsalek, J. & Viklander, M. 2021. Metal enrichment of soils in three urban drainage grass swales used for seasonal snow storage. *Science of The Total Environment* 760 (2021), 144136. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144136> [viitattu 21.10.2021].

Geranmayeh, P., Johannesson, K. M., Ulén, B. & Tonderski, K. S. 2018. Particle deposition, resuspension and phosphorus accumulation in small constructed wetlands. *Ambio* 47 (1), 134–145. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007%2Fs13280-017-0992-9> [viitattu 3.11.2021].

Grung, M., Meland, S., Ruus, A., Ranneklev, S., Fjeld, E., Kringstad, A., Rundberget, J. T., Cruz, M. D. & Christensen, J.H. 2021. Occurrence and trophic transport of organic compounds in sedimentation ponds for road runoff. *Science of The Total Environment* 751 (2021), 141808. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141808> [viitattu 22.10.2021].

Göbel, P., Dierkes, C. & Coldewey, W. G. 2006. Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology* 91 Issues 1–2 (2007), 26–42. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2006.08.008> [viitattu 17.11.2021].

Haapamaa, J. 2013. Nesteen virtausmittausmenetelmät pienissä avouomissa. Savonia-ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/67516/Haapamaa\\_Jussi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/67516/Haapamaa_Jussi.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 1.9.2021].

Hautamäki, R., Ariluoma, M., Kehvola, H.-M., Hankonen, I., Häyrynen, M., Vostis, A., Haavisto, R., Tuomenvirta, H., Aulake, M., Pilli-Sihvola, K., Sane, M., Marttunen, M., Hjerpe, T., Vikström, S., Matila, A. & Paloniemi, R. (toim.). 2019. Luontopohjaisten ratkaisujen käytännön toteuttaminen maakunnissa ja kunnissa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta. 2019:49. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-775-8> [viitattu 16.8.2021].

Helsingin kaupunki. 2013. Helsingin kaupungin työmaavesiohje. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/ymk/esitteet/tyomaavesi.pdf> [viitattu 2.12.2022]

Herrmann, J. 2012. Chemical and biological benefits in a stormwater wetland in Kalmar, SE Sweden. *Limnologica* 42 (2012), 299–309. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2012.07.003> [viitattu 27.9.2021].

Hilliges, R., Schriewer, A. & Helmreich, B. 2013. A three-stage treatment system for highly polluted urban road runoff. *Journal of Environmental Management* 128 (2013), 306–312. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.024> [viitattu 6.10.2021].

Holt, E., Koivusalo, H., Korkealaakso, J., Sillanpää, N. & Wendling, L. 2018. Filtration Systems for Stormwater Quantity and Quality Management. Guideline for Finnish Implementation. PDF-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2018/T338.pdf> [viitattu 26.10.2021].

HSY s.a. Hulevesi kaupunkiympäristössä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/hulevesi-kaupunkiymparistossa/> [viitattu 15.9.2021].

Huber, M., Welker, A. & Helmreich, B. 2015. Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning. *Science of The Total Environment* 541 (2016), 895–919. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.033> [viitattu 21.10.2021].

Hujanen, J. & Sänkiaho, L. 2012. Hulevesien määrä- ja laatumittaukset Kouvolan keskustassa. Teoksessa Sänkiaho, L. & Sillanpää, N. (toim.) Stormwater-hankkeen loppuraportti – Taajamien hulevesihaasteiden ratkaisut ja liiketoimintamahdollisuudet. Helsinki: Aalto-yliopisto, 12–14. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/3639/isbn9789526045559.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 12.10.2021].

Huttula, T., Bilaletdin, E., Härmä, P., Kallio, K., Linjama, J., Lehtinen, K., Luotonen, H., Malve, O., Vehviläinen, B. & Villa, L. 2009. Ympäristön seurannan menetelmien kehittäminen. Automatisointi ja muut uudet mahdollisuudet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2009:13. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39796/SYKEra\\_13\\_2009.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39796/SYKEra_13_2009.pdf?sequence=1) [viitattu 4.4.2022].

Hänninen, T. & Hyöty, P. 2019. Lentoaseman hulevesien hallinta. Tavoitteet, haasteet ja ratkaisut. Suomen Vesiyhdistys Ry hulevesijaosto. Youtube. Videoleike. Julkaistu 20.3.2019. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=ENYeDupaUp8&list=PLKjPBN5OmyNp2DCIRc3yNbSpw-WyBExqL&t=5s> [viitattu 20.12.2021].

Ignatius, S.-M., Hakala, O., Kerkkänen, J., Kuoppamäki, K., Pankkonen, P., Sillanpää, N. & Sänkiaho, L. 2019. Uusia hulevesiratkaisuja tiiviissä kaupunkiympäristössä. *Vesitalous* 2019:2. PDF-dokumentti. Saatavissa: [www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902\\_lowres.pdf](http://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902_lowres.pdf) [viitattu 26.8.2021].

Inha, L., Kettunen, R. & Hell, K. 2013. Maanteiden hulevesien laatu – Tutkimusraportti. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 2013:12. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.doria.fi/handle/10024/121259> [viitattu 1.11.2021].

Jokela, H. 2008. Maanteiden huleveden laatu. Kirjallisuusselvitys. Tietohallinnon sisäisiä julkaisuja 2008:81. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121259/Its\\_2013-12\\_978-952-255-228-0.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121259/Its_2013-12_978-952-255-228-0.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 28.2.2022].

Järveläinen, J. 2019. Laadullisen hallinnan merkitys korostuu tulevaisuuden hulevesirakentamisessa. *Vesitalous* 2 (2019), 5. Verkkolehti. Saatavissa: [https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902\\_lowres.pdf](https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902_lowres.pdf) [viitattu 2.9.2021].

Järveläinen, J., Kuoppamäki, K. & Pöysti, M. 2019. Hulevesien siirto, biosuodatuskäsittely ja suodatusmateriaalien vertailu Lahdessa. *Vesitalous* 2 (2019), 5. Verkkojlehti. Saatavissa: [https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902\\_lowres.pdf](https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902_lowres.pdf) [viitattu 9.12.2021].

Kasvio, P., Ulvi, T., Koskiaho, J. & Jormola, J. 2016. Kosteikkojen ja biosuodatusalueiden toimivuus hulevesien käsittelyssä. HULE-hankkeen loppuraportti. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 2016:7. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/160201/SYKEra\\_7\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/160201/SYKEra_7_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 24.8.2021].

Kerava 2020. Keravan kaupungin hulevesisuunnitelma 2020. <https://www.kerava.fi/palvelut/Documents/Hulevesisuunnitelman%20luonnos.pdf>.

Kerkkänen, J., Sillanpää, N., Lehikoinen, E., Laurila, T., Kuoppamäki, K., Kalliala, E., Valtanen, M. & Jalonen, J. 2019. Hajautettua huleveden hallintaa Espoon Niittykummussa. *Vesitalous* 2 (2019), 17–23. Verkkojlehti. Saatavissa: [https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902\\_lowres.pdf](https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902_lowres.pdf) [viitattu 2.9.2021].

Kerkkänen, J. 2019. Huleveden biosuodatus. Kenttätutkimus Merituulentiellä. Hule S&C loppuseminaari 6.3.2019. Lahden kaupunki. Youtube. Videoleike. Julkaistu 20.3.2019. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=n0zkkVgynvM&list=PLKjPBN5OmyNp2DCIRc3yNbSpw-WyBExqL&t=1s> [viitattu 17.12.2021].

Koskiaho, J., Siimekselä, T. & Puustinen, M. 2015. Maatalouden vesiensuojelukosteikkojen tehokkuusseuranta automaattilaitteistojen avulla. *Vesitalous* 4 (2015), 35–40. Verkkojlehti. Saatavissa: [https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2015/09/VT1504\\_lowres.pdf](https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2015/09/VT1504_lowres.pdf) [viitattu 7.1.2022]

Kotola, J. & Nurminen, J. 2005. Kaupunkirakentamisen hydrologiset vaikutukset. Teoksessa Vakkilainen, P., Kotola, J. & Nurminen, J. (toim.) Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 12–31. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40647/SY\\_776.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40647/SY_776.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 16.9.2021].

Kuntaliitto. 2012. Hulevesiopas. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2012/1481-hulevesiopas> [viitattu 5.8.2021].

Kuoppamäki, K. 2019. Biosuodatus. Kasvillisuuden ja suodatusmateriaalien toimivuus hulevesien käsittelyssä. Hule S&C loppuseminaari 6.3.2019. Lahden kaupunki. Youtube. Videoleike. Julkaistu 20.3.2019. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=RyJF6tqAJ8&list=PLKjPBN5OmyNp2DCIRc3yNbSpw-WyBExqL&t=5s> [viitattu 1.4.2022].

Kuoppamäki, K. & Lehvävirta, S. 2016. Mitigating nutrient leaching from green roofs with biochar. *Landscape and Urban Planning* 152 (2016), 39–48. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.04.006> [viitattu 25.10.2021].

Lange, K., Magnusson, K., Viklander, M. & Blecken, G.-T. 2021a. Removal of rubber, bitumen and other microplastic particles from stormwater by a gross pollutant trap - bioretention treatment train. *Water Research* 202 (2021), 117457. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117457> [viitattu 26.8.2021].

Lange, K., Magnusson, K., Viklander, M. & Blecken, G.-T. 2021b. Occurrence and concentration of 20–100 µm sized microplastic in highway runoff and its removal in a gross pollutant trap – Bioretention and sand filter stormwater treatment train. *Science of The Total Environment (Available online)* (2021), 151151. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151151> [viitattu 15.11.2021].

Laurila, T. 2019. Reaaliaikaista hulevesianalytiikkaa Espoon Merituulentiellä. Hule S&C loppuseminaari 6.3.2019. Lahden kaupunki. Youtube. Videoleike. Julkaistu 20.3.2019. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=5Fraijo7Q\\_0&list=PLKjPBN5OmyNp2DCIRc3yNbSpw-WyBExqL&t=5s](https://www.youtube.com/watch?v=5Fraijo7Q_0&list=PLKjPBN5OmyNp2DCIRc3yNbSpw-WyBExqL&t=5s) [viitattu 1.4.2022].

Lehikoinen, E. 2015. Kadun vastavalmistuneiden huleveden biosuodatusalueiden toimivuus Vantaalla. Aalto-yliopisto. Tekninen vesitalous. Pro gradu -tutkielma. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16663/master\\_Lehikoinen\\_Elina\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16663/master_Lehikoinen_Elina_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 21.10.2021]

Leinonen, M. 2017. Huleveden hallinta liikennöidyillä alueilla tienvarren suodatusrakenteiden avulla. Aalto-yliopisto. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Pro gradu -tutkielma. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28994/master\\_Leinonen\\_Mikko\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28994/master_Leinonen_Mikko_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 21.10.2021].

Liu, F., Olesen, K. B., Borregaard, A. R. & Vollertsen, J. 2019. Microplastics in urban and highway stormwater retention ponds. *Science of The Total Environment* 671 (2019), 992–1000. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.416> [viitattu 3.9.2021].

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.

Marttila, H. & Kløve, B. 2010. Managing runoff, water quality and erosion in peatland forestry by peak runoff control. *Ecological Engineering* 36 (7), 900–911. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.002> [viitattu 2.11.2021].

Meland, S., Borgstrøm, R., Heier, L. S., Rosseland, B. O., Lindholm, O. & Salbu, B. 2010. Chemical and ecological effects of contaminated tunnel wash water runoff to a small Norwegian stream. *Science of The Total Environment* 408 (19), 4107–4117. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.05.034> [viitattu 3.11.2021].

Melanen, M. 1981. Quality of runoff water in urban areas. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 1981:42. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/30558/Vesientutkimuslaitoksen%20julkaisuja%2042%20s.%20123-190.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 8.11.2021].

Mikkeli. 2021. Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö -investointihanke. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mikkeli.fi/tietoja-mikkelista/hankkeet-ja-projektit/hulevesien-kasittelyn-tk-ymparisto-investointihanke/> [viitattu 17.10.2022].

Muthanna, T. M., Viklander, M., Blecken, G. & Thorolfsson, S. T. 2007. Snowmelt pollutant removal in bioretention areas. *Water Research* 41 (2007), 4061–4072. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.05.040> [viitattu 7.10.2021].

Mykkänen, A. 2021. Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmä – huolto ja jatkokäyttö. Mykkänen, A. (toim.) Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 32–43. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/504174/URNISBN9789523443594.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [viitattu 12.11.2021].

Nurhonen, N. 2020. Hulevesien hallinnan tila ympäristölupavelvollisissa laitoksissa. ELY-keskuksen raportteja 2020:3. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/177683/Raportteja%203%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 8.9.2021].

Pankkonen, P. 2020. Urban stormwater microplastics – Characteristics and removal using a developed filtration system. Aalto yliopisto. Water and Environmental Engineering. Pro gradu -tutkielma. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/44294/master\\_Pankkonen\\_Pietu\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/44294/master_Pankkonen_Pietu_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 21.12.2021].

Postila, H., Heiderscheidt, E., Korhonen, A., Lehosmaa, K., Nilivaara, R., Ronkanen, A.-K., Ruotsalainen, A. L., Visuri, M. & Wäli, P. 2021. Passiiviset hybridipuhdistusratkaisut arktisten valumavesien typen ja raskasmetallien puhdistamiseen – HybArkt -hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2021:1. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/324496/SYKEra\\_1\\_2021\\_Hybridipuhdistus\\_2.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/324496/SYKEra_1_2021_Hybridipuhdistus_2.pdf?sequence=5&isAllowed=y) [viitattu 29.12.2021].

Punttila, E. 2014. Cost-benefit analysis of municipal water protection measures – Environmental benefits versus costs of implementation. Publications by City of Helsinki Environment Centre 2014:21. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-21-14.pdf> [viitattu 8.2.2022].

Puustinen, M., Koskiahho, J., Jormola, J., Järvenpää, L., Karhunen, A., Mikkola-Roos, M., Pitkänen, J., Riihimäki, J., Svensberg, M. & Vikberg, P. 2007. Maatalouden monivaikutteisten kosteikkojen suunnittelu ja mitoitus. Suomen ympäristökeskuksen julkaisuja 2007:21. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38401/SY\\_21\\_2007.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38401/SY_21_2007.pdf?sequence=3&isAllowed=y) [viitattu 29.11.2021].



Rautakoski, A. 2020. Hulluojan Hulevesialtaan kunnostussuunnitelma. Oulun ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/341490/Rautakoski\\_Anna.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/341490/Rautakoski_Anna.pdf?sequence=2&isAllowed=y) [viitattu 11.11.2022].

Riktvärdesgruppen. 2009. Förslag till riktvärden för dagvattenutsläpp. Regionala dagvattennätverket I Stockholms län. Regionplane- och trafikkontoret. Stockholms läns landsting. Februari 2009. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www2.taby.se/Global/SRMH/Informationsblad/Milj%C3%B6skydd/Extern%20information/F%C3%B6rslag%20till%20riktv%C3%A4rden%20f%C3%B6r%20dagvatten%20-%20Regionplane-%20och%20trafikkontoret%20Stockholms%20L%C3%A4ns%20Landsting.pdf>. [viitattu 3.2.2022].

Ruth, O. 2004. Kaupunkipurojen hydrogeografia kolmen esimerkkivaluma-alueen kuvastamana Helsingissä. Helsingin yliopiston maantieteen laitoksen julkaisuja B 50. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/21187/kaupunki.pdf?sequence=3&isAllowed=y> [viitattu 16.9.2021].

Räsänen, A. 2020. Rakennussuunnitelma hulevesien keskitetyille biosuodatusalueelle. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/345497/Rasanen\\_Arttu.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/345497/Rasanen_Arttu.pdf?sequence=2&isAllowed=y) [viitattu 12.11.2021].

Sansalone, J. J. & Buchberger, S. G. 1997. Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1997\)123:2\(134\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1997)123:2(134)) [viitattu 19.11.2021].

Sensmet Oy. 2022. Monitoring Metal Composition of Aqueous Solutions. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sensmet.com/measure-metal-concentrations-in-real-time/> [viitattu 15.11.2022].

Setälä, O. & Suikkanen, S. 2020. Suomen merialueen roskaantumisen lähteet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2020:9. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5140-8> [viitattu 23.8.2021].

Siekkinen, J. 2020a. Kempeleen Metsärinteen hulevesikosteikkojen toimenpidesuunnitelma. Päivitetty 11.5.2020. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kempele.fi/media/kempeleen-mets-e4rinteen-hulevesikosteikkojen-toimenpidesuunnitelma-11.5.2020-juha-siekkinen-kosteikkomaailma.pdf> [viitattu 3.1.2022].

Siekkinen, J. 2020b. Raahan Ruottalonlahden hulevesikosteikon toimenpidesuunnitelma. Päivitetty 18.6.2020. Saatavissa: <https://www.raahe.fi/sites/raahe.fi/files/liitetiedostot//Raahan%20Ruottalonlahden%20hulevesikosteikon%20toimenpidesuunnitelma%2018.6.2020%20Juha%20Siekkinen%20Kosteikkomaailma.pdf> [viitattu 3.1.2022].

Sillanpää, N. 2007. Pollution loading from a developing urban catchment in Southern Finland. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3041.7921> [viitattu 18.11.2021].

Sillanpää, N. 2019. Lentoaseman maanalainen kosteikko. Laboratoriotutkimuksen päätuloksia. Hule S&C loppuseminaari 6.3.2019. Suomen Vesiyhdistys Ry hulevesijaosto. Youtube. Videoleike. Julkaistu 20.3.2019. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=88\\_Na-p5CzQ&list=PLKjPBN5OmyNp2DCIRc3yNbSpw-WyBExqL&t=4s](https://www.youtube.com/watch?v=88_Na-p5CzQ&list=PLKjPBN5OmyNp2DCIRc3yNbSpw-WyBExqL&t=4s) [viitattu 17.12.2021].

Sirviö, S., Honkala, V., Kosamo, J. & Käyhkö, V. 2020. Välimaan sivutuotteita hyödyntävän vesiensuojelurakenteen suunnittelu, rakentaminen ja seuranta. Päivitetty 8.12.2020. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/documents/18161254/19559701/V%C3%A4limaan+vesiensuojelurakenteen+suunnittelu+rakentaminen+ja+toimivuuden+seuranta+08122020.pdf/09c79d2b-e066-484d-9be6-8ed2b12a047b> [viitattu 9.12.2021].

Solinst. 2021. Levellogger Series 5. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.solinst.com/products/data/3001.pdf> [viitattu 17.1.2022]

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 17.5.2001/401.

Strand, J. A. & Weisner, S. E. B. 2013. Effects of wetland construction on nitrogen transport and species richness in the agricultural landscape – Experiences from Sweden. *Ecological Engineering* (56) 14–25. Verkkolehti. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.087> [viitattu 21.1.2022].

Sänkiaho, L., Huth, U. & Krebs, G. 2012. Hulevesien luonnonmukainen hallinta kylmässä ilmastossa. Sänkiaho, L. & Sillanpää, N. (toim.) Stormwater-hankkeen loppuraportti – Taajamien hulevesihaasteiden ratkaisut ja liiketoimintamahdollisuudet. Helsinki: Aalto-yliopisto, 25–35. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/3639/isbn9789526045559.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 12.10.2021].

Tahvonen, O. 2018. Adapting bioretention construction details to local practices in Finland. *Sustainability* 10 (2), 276. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/su10020276> [viitattu 4.11.2021].

Tarvainen, M., Kotilainen, H. & Suomela, J. 2015. Uudet menetelmät vesistöjen seurannassa – mahdollisuudet ja haasteet. ELY-keskuksen raportteja 2015:86. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/120174/RA%2086\\_2015\\_Uudet%20menetelm%C3%A4t%20vesist%C3%B6jen%20seurannassa.pdf?sequence=2](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/120174/RA%2086_2015_Uudet%20menetelm%C3%A4t%20vesist%C3%B6jen%20seurannassa.pdf?sequence=2) [viitattu 4.4.2022].

Tattari, S., Tarvainen, M., Kallio, K., Lepistö, A., Näykki, T., Raateoja, M. & Seppälä, J. 2019. Laatuksikirja jatkuvatoimisille vedenlaadun mittauksille – Opas hyviksi käytännöiksi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2019:4. PDF-dokumentti.

Saatavissa:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/299105/SYKEra\\_4\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/299105/SYKEra_4_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 11.10.2021].

Unidata. 2021. Starflow ultrasonic doppler velocity, depth and flow instrument. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.unidata.com.au/products/water-monitoring-modules/starflow-qsd-sdi-12-instrument/#Overview> [viitattu 18.1.2022]

Uponor. 2012. Uponor-hulevesikasetit ja -tunnelit. Suunnittelu- ja asennusohje. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.uponor.com/getmedia/62c49446-a6aa-4646-a515-4b99184126b1/38701hulevesikasettitunneliasohje082012.pdf?sitename=Finland> [viitattu 15.9.2021].

Vahvaselkä, M. 2021. Poistaako järviruokosuodatin hulevesistä mikromuovia? Hulevesi 2021 seminaari. Powerpoint-diasarja. Päivitetty 24.9.2021. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=T2f0CnJ7Vdl> [viitattu 18.10.2021].

Valkama, P. & Lahti, K. 2012. Jatkuvatoiniset mittaukset osana yhteistarkkailuja. *Aquarius* 2012 (1), 4–7. Verkkolehti. Saatavissa: [https://vesiensuojelu.fi/wp-content/uploads/2018/04/Aquarius\\_1\\_2012.pdf](https://vesiensuojelu.fi/wp-content/uploads/2018/04/Aquarius_1_2012.pdf) [viitattu 11.10.2021].

Valtanen, M., Sillanpää, N., Hätinen, N. & Setälä, H. 2010. Hulevesien imeyttäminen ja suodattaminen: haitta-aineet ja menetelmät. Stormwater-hanke kirjallisuusselvitys. Päivitetty 10.10.2010. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/230854077\\_Hulevesien\\_imeyttäminen\\_ja\\_suodattaminen\\_haitta-aineet\\_ja\\_menetelmat](https://www.researchgate.net/publication/230854077_Hulevesien_imeyttäminen_ja_suodattaminen_haitta-aineet_ja_menetelmat) [viitattu 17.11.2021].

Valtanen, M., Sillanpää, N. & Setälä, H. 2012a. Hulevesien määrä ja laatu Lahden kaupungissa. Teoksessa Sänkiaho, L. & Sillanpää, N. (toim.) Stormwater-hankkeen loppuraportti – Taajamien hulevesihaasteiden ratkaisut ja liiketoimintamahdollisuudet. Helsinki: Aalto-yliopisto, 5–11. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/3639/isbn9789526045559.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 12.10.2021].

Valtanen, M., Sillanpää, N. & Setälä, H. 2012b. Lysimetrikoe hulevesien biosuodatuksesta kylmässä ilmastossa. Teoksessa Sänkiaho, L. & Sillanpää, N. (toim.) Stormwater-hankkeen loppuraportti – Taajamien hulevesihaasteiden ratkaisut ja liiketoimintamahdollisuudet. Helsinki: Aalto-yliopisto, 19–24. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/3639/isbn9789526045559.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 12.10.2021].

Valtanen, M. 2015. Effects of urbanization on seasonal runoff generation and pollutant transport under cold climate. Helsingin yliopisto. Biologian ja ympäristötieteiden tiedekunta. Väitöskirja. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/153832/Effectso.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 20.9.2021].

Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä 30.11.2006/1040.

Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä annetun asetuksen muuttamisesta 20.5.2009/341.

Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista 23.11.2006/1022.

Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annetun valtioneuvoksen asetuksen muuttamisesta 7.10.2010/868.

Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annetun valtioneuvoston asetuksen liitteen 1 muuttamisesta 8.12.2016/1090.

Vesihuoltolaki 9.2.2001/119.

Watec Oy s.a. Filtro-hulevesisuodatin. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.watec.fi/tuotteet/p/filtro> [viitattu 29.11.2022].

Wavin Labko Oy s.a. Wavin Q-Bic sadevesikasetti. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://orbia.blob.core.windows.net/assets/F-34468-0.pdf> [viitattu 15.9.2021].