

Hulevesien laatu ja kaivokohtainen suodatus (HuLaKaS)

Sisällysluettelo

1. Hankkeen tavoitteet	1
2. Hankkeen tausta ja tarve	2
2.1 Huleveden laadulliset riskikohteet	2
2.2 Huleveden laadun parantaminen	2
3. Osapuolet ja päätehtävät	4
4. Toimenpidesuunnitelma	4
4.1 Laadullisten riskialueiden tunnistaminen	4
4.2 Kaivokohtaisen hulevesisuodatuksen pilotointi	5
4.2.1 Suodatusmenetelmän kuvaus	5
4.2.2 Suodatusmenetelmän tehokkuuden kartoittaminen	6
4.2.3 Suodatusmenetelmän käytännön toiminnan pilotointi ja optimointi	6
4.3 Kaivokohtaisen hulevesisuodatuksen valuma-alueitasoinen kustannustehokkuus	7
5. Tulokset ja hyödyt	8
6. Viestintäsuunnitelma	8
7. Riskinarviointi	9
8. Aikataulu	10
9. Budjetti	10
10. Viitteet	11

1. Hankkeen tavoitteet

Hankkeen tavoitteita ovat:

1. Tunnistaa kaupunkien hulevesien laadulliset riskikohteet ja niitä määrittävät tekijät
2. Selvittää hulevesien mukana liikkuvan kiintoaineksen partikkelikokojakamaa sekä eri raekokoluokkien merkitys haitta-aineiden sitoutumiselle
3. Määrittää kaivokohtaisen hulevesisuodatusmenetelmän toimivuus eri haitta-aineiden poistamisessa
4. Selvittää kaivokohtaisen hulevesisuodatuksen vaikutusmahdollisuudet ja kustannustehokkuus kokonaiskuormituksen vähentämisessä valuma-alueitasolla tiiviissä kaupunkiympäristössä

Hankkeessa selvitetään tiiviisti rakennetun kaupunkiympäristön hulevesien laadulliset riskikohteet ja näihin vaikuttavat tekijät (esim. maankäyttö, historiallinen kuormitus, pilaantuneet maat) sekä miten nämä sijoittuvat ja vaikuttavat herkkien vesistöjen osalta. Jotta tämän kaltaisten kaupunkien tyypillisten riskikohteiden hulevesien laatua voidaan parantaa, hankkeessa pilotoidaan jo rakennetuille alueille sopivan hulevesikaivoihin sijoitettavan suodattimen toimivuutta, käytettävyyttä ja kustannustehokkuutta. Hankkeessa tutkitaan myös ensimmäistä kertaa Suomessa

kiintoaineen partikkelikokojakautamaa ja sen merkitystä erilaisille haitta-aineille. Tämä tieto on avainasemassa, jotta erilaisia suodatusratkaisuja voidaan optimoida käsittelemään kokonaiskuormituksen kannalta merkittävimpiä raekokoja käytettävyyden ja kohtuullisen huoltovälin huomioiden. Hankkeen yhteen kokoavana lopputuloksena tehdään mallinnuksen avulla arvio suodatusmenetelmän valuma-alueitasoisesta toimivuudesta, monistettavuudesta ja skaalautuvuudesta erilaisille hankkeissa kuvatuille kaupunkien riskialueille.

2. Hankkeen tausta ja tarve

2.1 Huleveden laadulliset riskikohteet

Hulevesien määrällinen hallinta kehittyy nopeasti kaavoituksen kautta kaupunkien uusilla asuinalueilla, mutta hulevesien laadullinen käsittely on vasta ottamassa ensiaskeleita. Suomessa tutkimus taajama-alueiden hulevesien laadusta ei ole kattavaa. Hulevesien laatua on Suomessa tutkittu monenlaisilla maankäyttömuodoilla, kuten asuin- ja keskusta-alueilla, mutta kerätty tieto ei ole riittävän tarkkaa laadullisen hallinnan suunnittelun kehittämiseen (Sillanpää 2013, Valtanen et al. 2017). Yleinen tietopohja hulevesien laadusta eräissä maankäyttöluokissa, esimerkiksi teollisuus- ja liiketoiminnan alueilla, on heikompaa. Myös erilaisten maankäyttöluokkien sisällä olevien pienvaluma-alueiden osalta yleistettävää tietoa mahdollisista laadullisista riskialueista ja -kohteista (esim. tiet, parkkipaikat, pilaantuneet maat) puuttuu. Huleveden laatu vaihtelee paitsi maankäytön perusteella, mutta oletettavasti myös esimerkiksi pilaantuneiden maiden tai muun historiallisen kuormituksen sekä erilaisten muiden toimintojen perusteella.

Huleveden mukana kulkeutuvien aineiden osalta Suomessa on tutkittu varsinkin kiintoainetta, fosforia, raskasmetalleja ja orgaanista ainesta, mutta ymmärrys niiden kulkeutumismekanismeista ja olomuodoista on edelleen puutteellista, mikä vaikeuttaa niiden kustannustehokkaan hallinnan suunnittelua ja toteuttamista. Kaupunkien keskusta-alueilla esiintyy etenkin kiintoainetta, fosforia, raskasmetalleja ja tyyppiä, joiden osalta laadullisen hallinnan tarve on selkeästi osoitettu. Näiden haitta-aineiden esiintymistä hulevesissä tulisi kuitenkin selvittää nykyistä tarkemmin, jotta laadullisen hallinnan menetelmillä voitaisiin saavuttaa mahdollisimman suuri puhdistus- ja kustannustehokkuus. (Järveläinen 2014, Järveläinen et al. 2017, Tuomela 2017)

Jotta hulevesien laadullista hallintaa pystytään taajama-alueilla kehittämään, oleellista on pystyä tunnistamaan mitkä alueet ja tekijät vaikuttavat laadun heikkenemiseen ja määrittää näille yleisiä kriteerejä. Maankäytön osalta tulisi painottaa tutkimusta erityisesti teollisuus-, liike-, tie- ja pysäköintialueille, mutta myös esim. pilaantuneiden maiden vaikutus ja erityisen herkäät vesistöt tulisi ottaa huomioon. Laatuun vaikuttavien aineiden osalta painopiste tulisi kohdistaa haitallisiin aineisiin, joiden analyysikirjoa tulisi laajentaa. Esimerkiksi Lahdessa, Espoossa ja Helsingissä tehtyjen tutkimusten perusteella on havaittu, että huomattavan suuri osa esimerkiksi metalleista voi kulkeutua vastaanottaviin vesistöihin liukoisessa muodossa, jolloin kiintoaineen erottamiseen pohjautuvat menetelmät eivät välttämättä ole tehokkaita kaikissa kohteissa (Järveläinen et al. 2017, Taka et al. 2017, Tuomela 2017, Valtanen et al. 2014). Tämä ei kuitenkaan poista kiintoaineen hallinnan tärkeyttä primääri-/esikäsitteilymenetelmänä, koska kiintoaines hulevedessä vaikeuttaa myös liukoisten haitta-aineiden poistamiseen mahdollisesti käytettävien ratkaisujen käytännön toimintaa.

Laajemmalla tasolla tiedetään, että yksittäisten pilottikohteiden seurannalla kerätty mittaustieto voidaan mallinnuksen avulla yleistää alueellisiin vaikutusarviointeihin, joita sovelletaan tutkittujen menetelmien vaikuttavuuspotentiaalnin selvittämiseen valuma-alueitasolla (Tuomela et al. 2019).

2.2 Huleveden laadun parantaminen

Huleveden laadun parantamiseen on Suomessa kokeiltu varsinkin erilaisia suodattavia ratkaisuja, joiden on osoitettu laboratorio-olosuhteissa tai synteettisen huleveden kastelukokeissa toimivan hyvin huleveden puhdistamisessa varsinkin liukoisten aineiden osalta. *StormWater*-hankkeessa tehtyjen biosuodatusrakenteiden kastelukokeessa erilaiset liukoiset aineet, esim. fosfaattifosfori, sinkki ja kupari pidäytyivät rakenteisiin hyvin (Sankiaho ja Sillanpää 2012). Myös *StormFilter*-hankkeessa toteutettujen erilaisten suodatusmateriaalien (esim. kiviainesten, kevytsoratuotteiden, turve- ja biohiilituotteiden) laboratoriossa tehtyjen toimivuustestien perusteella on todettu näiden merkittävästi parantavan hulevesien laatua liukoisten metallien osalta, esim. lyijy, kupari ja sinkki (Wendling et al. 2017a ja b).

Huleveden laadun parantamista on laboratoriokokeiden lisäksi tutkittu todellisissa kaupunkikohteissa. *StormFilter*-hankkeessa selvitettiin maastoon asennettujen suodattimien (hiekkä ja hiekkä-biohiili) toimivuutta ja havaittiin niiden puhdistavan hyvin kiintoainetta, kokonaisfosforia ja metalleja (Assmuth et al. 2017 ja 2019). Myös *Hule Smart and Clean* -hankkeessa tutkittiin katualueen biosuodatusrakenteen toimintaa ja voitiin todeta, että rakenteessa saavutettiin hyvä puhdistustulos ainakin kiintoaineen, kokonaisfosforin ja erilaisten metallien osalta (Kerkkänen et al. 2019). Molemmissa hankkeissa havaittiin lisäksi, että suodatusrakenteista vapautui myös liukoisia haitta-aineita pieninä pitoisuuksina, joiden merkitystä ei kuitenkaan hallinnan kannalta pystytty arvioimaan tarkemmin.

Tiedon puuttuminen kiintoaineen partikkelikoista, haitta-aineiden sitoutuneisuudesta eri raekokoluokkiin (Taulukko 1) ja näiden vaihtelusta valuma-alueittain vaikeuttaa suodatusmenetelmien optimaalista suunnittelua. Käytettävän suodatusratkaisun valinnan, mitoituksen ja huollon kannalta on oleellista tietää, mihin raekokoluokkiin poistettavat haitta-aineet ovat sitoutuneet ja minkä suuruisia raekokoja näin ollen tulee käsitellä. Raekokoluokkatieto vaikuttaa myös merkittävästi suodatusratkaisujen käsittelytehokkuuden parantamiseen ja tukkeutumisen välttämiseen.

Huleveden puhdistamisen haasteena on myös, että tähän mennessä käytetyt suodatusmenetelmät ovat suurimmaksi osaksi olleet maastoon rakennettavia laajoja luonnonmukaisia järjestelmiä, jotka soveltuvat parhaiten uusille alueille, mutta joiden käyttö tiiviisti rakennetussa kaupunkiympäristössä on usein teknisesti haastavaa ja kallista. Näin käytössä olevat menetelmät eivät yksin riitä ratkaisemaan jo olemassa olevien rakennettujen alueiden hulevesien laadullisia ongelmia. Tilanne on kokonaisuuden kannalta erityisen ongelmallinen, koska hulevesien laatu on huonoin juuri näillä alueilla (Järveläinen 2014, Järveläinen et al. 2017, Tuomela 2017).

Taulukko 1: Huleveden sisältämien haitta-aineiden poistoprosentit kiintoaineen pois seulomisen jälkeen silmäkooltaan eri kokoisille suodattimille (Clark ja Pitt 2012).

Seulan koko	20 µm	5 µm	1 µm	0,45 µm
Kiintoaine-osuus	76	81	98	100
Kokonaisfosfori	68	82	89	92
Nitraatti	0	0	12	17
Kadmium	20	22	22	22
Kupari	26	34	34	37
Lyijy	41	62	76	82
Sinkki	64	70	70	72

Hulevesien käsittelyn laajentamiseksi jo rakennettuun kaupunkiympäristöön tarvitaan kustannustehokas ja hajautettu käsittelymenetelmä, joka on integroitavissa nykyiseen kaupunki-infrastruktuuriin. Vaikuttavuuden kannalta on tärkeää, että ratkaisut ovat skaalautuvia ja kohdennettavissa valuma-alueittain tunnistetun kuormituksen ja merkitsevien haitta-aineiden perusteella (luku 4.1). Nykyisinkin huoltoa vaativat huleveden ritiläkaivot ovat skaalattavuuden ja toiminnallisuuden vuoksi potentiaalisia laadunhallinnan järjestelmien sijoituskohteita.

Hulevesien suodatusjärjestelmän tehokkaan soveltamisen kannalta avainkysymys on käsittelyn vaikutus valuma-alueen kuormitukseen kaupunkialueella. On selvää, että eri laajuisilla ja hulevesiverkoston eri kohtiin sijoitetuilla suodatusrakenteilla voi olla suuria vaikutuseroja, kun tarkastellaan haitta-aineiden kuormitusmuutoksia kokonaisen valuma-alueen purkukohdassa. Valuma-alueen vaikutuksia voidaan arvioida laskennallisesti mallintamisen keinoin. Krebs et al. (2014) ja Khadka et al. (2019) ovat osoittaneet, miten avoimen lähdekoodin hydrologista mallia voidaan käyttää kaupunkivaluma-alueella verraten yksityiskohtaiseen hulevesien muodostumisen kuvaamiseen rankkasateiden aikana. Kun kaupunkialueen homogeeniset pinnat mallinnetaan omina yksiköinä, saadaan mallilla muodostettua alueen laskennallinen kuvaus, joka vastaa mittakaavaltaan hulevesien hallintajärjestelmien suunnittelumittakaavaa ja mahdollistaa hulevesien hallintakeinojen vaikutusten laskennallisen kuvaamisen ja skaalautumisen valuma-alueen tasolle. Tuomela et al. (2019) ovat osoittaneet, miten valunnan määrä voidaan yhdistää homogeenisten pintojen ominaispitoisuuksien kanssa valuma-alueen kuormituksen laskemiseksi. Mallinnus mahdollistaa suodatusmenetelmän sijaintivaihtoehtojen vertailun ja optimoinnin (luku 4.3.).

3. Osapuolet ja päätehtävät

Helsingin kaupungin ympäristöpalvelut, pääpartneri

- Vastaa hankkeen hallinnosta, talousraportoinnista ja viestinnästä
- Vastaa hulevesien laadullisten riskialueiden ja niitä määrittävien tekijöiden tunnistamisesta
- Vastaa tunnistettujen riskialueiden huleveden laadun kartoittamisesta näytteenotoin

Lahden kaupunki, partneri

- Vastaa hankkeen kaivokohtaisen suodatusratkaisun pilotoinnista yhdessä Watecon kanssa
- Vastaa pilotointiin sisältyvistä huleveden laadun ja määrän mittauksista ja näytteenotoista

Wateco Oy, partneri

- Vastaa kaivokohtaisten suodattimien kehittämisestä ja testaamisesta
- Vastaa suodatusmenetelmän pilottien huollosta ja ylläpidosta

Aalto yliopisto, partneri

- Vastaa valuma-aluemallinnuksesta ja vaikuttavuusanalyysistä ja siihen liittyvien tutkimusmenetelmien ja näytteenotto-ohjelman ohjauksesta

4. Toimenpidesuunnitelma

Aikaisempien tutkimusten perusteella tiedetään, että hulevesien laadun selvittäminen edellyttää huolellista suunnittelua ja tarkoituksenmukaisesti valittuja näytteenottovälejä ja -menetelmiä. Hankkeen toimenpidesuunnitelma sisältää kahdenlaista laadun mittausta. Luvussa 4.1. kuvattu riskialueiden keskimääräisen huleveden laadun kartoittaminen toteutetaan ottamalla yksittäisnäytteitä riittävän monesta sadanta-valuntatapahtumasta (McCarthy et al. 2018, Järveläinen et al. 2017). Luvussa 4.2 kuvattu hulevesien hallintarakenteen vaikutus haitta-aineiden kulkeutumiseen ja dynamiikkaan selvitetään soveltamalla ajallisesti tiheämpää näytteenottoa (mm. Assmuth et al. 2018, Kerkkänen et al. 2019).

4.1 Laadullisten riskialueiden tunnistaminen

Hulevesien laadullisen hallinnan kannalta on tärkeää paitsi tunnistaa kaupunkien riskikohteet hulevesikuormituksen kannalta, myös pilaantumiselle alttiit luonnonvesistöt, joille hulevesikuormitus on erityisen haitallista. Tämän työosion tavoitteena on tunnistaa Helsingin potentiaaliset riskialueet ja selvittää näytteenoton avulla alueiden hulevesien laadun erityispiirteitä ja hallinnan mahdollisuuksia. Työn perusteella laaditaan yleinen kaupungeille suunnattu ohje hulevesien laadullisten riskikohteiden tunnistamiselle. Ohjeen tavoitteena on palvella kasvavaa urbaanien alueiden hulevesien laadullista seurantaa ja suunnittelua jo rakennetuilla alueilla sekä uusien alueiden suunnittelussa. Määrittävien ja rajaavien tekijöiden tunnistamisen avulla laadun parantamiseen tähtääviä toimenpiteitä ja ratkaisuja osataan keskittää sinne, missä vaikuttavuus on suurin ja kustannustehokkain.

Työ aloitetaan taustatietojen kartoituksella, joka tehdään keräämällä mahdollinen olemassa oleva kaupunkien hulevesien laadullisten riskikohteiden tunnistamiseen liittyvä tieto ja kokemus yhteen. Kartoitus tehdään kirjallisuuteen ja olemassa olevaan taustatietoon pohjautuen sekä haastatteleamalla laajasti alan asiantuntijoita sekä muita sidosryhmiä sisältäen noin viisi hulevesien laadullisen hallinnan edelläkävijäkaupunkia Suomesta (esim. Lahti, Jyväskylä, Espoo, Turku ja Vantaa). Karttatarkastelua hyödyntäen tunnistetaan alustavasti riskikohteiden määrittävät tekijät, esim. maankäyttömuodot (teollisuusalueet, vilkkaasti liikennöidyt tiet yms.), olemassa olevat purojen ja hulevesien näytteenottotulokset (korkeat kiintoainepitoisuudet, haitalliset aineet), aikaisemmat raportoidut päästöhavainnot, herkkien ja arvokkaiden vesistöjen valuma-alueet sekä pilaantuneet maat.

Tunnistetuilla riskialueilla kartoitetaan niillä muodostuvien hulevesien laatua näytteenoton avulla. Näytteenottoa tehdään 10 riskialuekohteessa n. 10 sadetapahtuman osalta. Näytteistä analysoidaan ravinteiden ja haitallisten aineiden lisäksi kiintoaineen partikkelikokojakauma ja haitta-aineiden sitoutuneisuus raekokoluokittain. Analyysitulosten perusteella saadaan näkemys eri alueiden huleveden tyypillisestä laadusta ja alueiden välisistä eroista. Tämän pohjalta arvioidaan alueiden kuormittavuutta ja laadullisen hallinnan tarvetta. Tämän lisäksi pystytään määrittelemään haitta-

aineiden sitoutuneisuus kiintoaineen raekokoluokkiin riskialueittain ja mahdollisesti myös maankäyttömuodoittain sekä muiden mahdollisesti vaikuttavien tekijöiden osalta. Raekokoluokkatieto mahdollistaa hulevesien hallintaan soveltuvien menetelmien arvioinnin.

Edellä kerätty tieto riskialueiden huleveden laadusta toimii lähtötietona kaivokohtaisen suodatusmenetelmän toimivuuden arvioimisessa (4.2) sekä menetelmän valuma-alueetasoisessa vaikuttavuusarvioinnissa (4.3).

4.2 Kaivokohtaisen hulevesisuodatuksen pilotointi

Hankkeen pilotointiosuudessa selvitetään maastokokein kaivokohtaisen hulevesisuodatuksen käytettävyyttä ja vaikuttavuutta. Vaikuttavuutta tutkitaan kohdan 4.2.2 mukaisesti intensiiviseurannalla sekä käytettävyyttä ja huollettavuutta asentamalla tunnistetuille huleveden laadun riskialueille kaivosuodattimia pitkäaikaiseen toimivusseurantaan (4.2.3). Intensiiviseurannassa tutkitaan miten tehokkaasti luvussa 4.2.1. kuvatus kaltaiset kaivosuodattimet pystyvät poistamaan erilaisilla valuma-alueilla kiintoainetta ja siihen sitoutuneita haitta-aineita. Tavoitteena on selvittää, millaiseen partikkelikokojen poistamiseen menetelmällä päästään ja millainen merkitys sillä on huleveden laadun kannalta. Vaikuttavuustestauksen tarkoitus on optimoida menetelmän puhdistustehokkuuksia eri maankäyttöalueilla.

Käytettävyytsteissä keskitytään selvittämään ja testaamaan menetelmän huoltoväliä ja toimintavarmuutta eri olosuhteissa. Lisäksi testataan, voidaanko menetelmää vaiheistaa useammalla peräkkäisellä eri reikäkoon suodattimella kiintoaineen poistotehokkuuden parantamiseksi. Jos kiintoaineen poistossa päästään hyvin tuloksiin, testataan, voidaanko kiintoaineen poistamisen jälkeen menetelmään lisätä myös liukoisia haitta-aineita, kuten öljyjä, poistava suodatinyksikkö. Käytettävyytsteauksen tarkoituksena on optimoida menetelmän huolto- ja ylläpitokustannuksia.

Kaivokohtaisen hulevesisuodatuksen pilotoinnin työsion sekä laadullisten riskialueiden tunnistamisen työsion (4.1) tulosten perusteella saadaan tulokset menetelmän vaikuttavuudesta, huoltovälistä ja kustannustehokkuudesta. Tulosten perusteella menetelmää ja sen puhdistustehokkuutta voidaan kohdentaa valuma-alueittain, haitta-aineittain sekä purkuvesistöjen herkkyiden perusteella vaikuttavuuden ja kustannustehokkuuden optimoimiseksi. (4.3).

4.2.1 Suodatusmenetelmän kuvaus

Wateco Oy on kehittänyt nykyisiin olemassa oleviin ritiläkaivoihin sopivan hulevesisuodattimen (Kuva 1). Tuotteen toimivuutta on tutkittu synteettisen huleveden puhdistukseen perustuvilla laboratorikokeilla (Taulukko 2). Vastaavia, kaivoon asennettavia, hulevesien käsittelytuotteita on jo käytössä mm. Yhdysvalloissa, mutta menetelmän pitkäaikaistoimivuutta Suomen olosuhteissa, hulevesillä ja eri kaivotyypeissä ei ole kartoitettu.



Kuva 1: Filtro -hulevesisuodattimen prototyyppi asennettuna ja mallit eri kaivokokoihin. Wateco Oy

Kaivokohtaisen suodattimen toimivuutta tutkittiin vuonna 2019 Savonia Ympäristötekniikan tutkimusyksikössä (Taulukko 2). Tutkimuksessa selvitettiin hulevesisuodattimen tehokkuutta kiintoaineen poistamisessa hulevesistä. Suodattimen kiintoaineen erotuskyvyn tutkimisessa käytettiin synteettistä hulevettä, joka valmistettiin lisäämällä puhtaan juomaveden joukkoon tunnetut määrät tarkkuusseulottua tasaushiekkaa ja hiekoitussepeä.

Tutkimuksissa kaivokohtainen hulevesisuodatin poisti keskimäärin 91,7 % hulevesien kiintoaineesta. Laboratoriotestissä käytetyllä suodattimella saavutettiin yli 50 % puhdistusteho noin 0,07 mm suuremmissa raekokoluokissa. Laboratoriotuloksista ei voida kuitenkaan tehdä suoria johtopäätöksiä suodattimen tehokkuudesta katualueen hulevesien puhdistuksessa, koska ei tiedetä, kuinka iso osa huleveden kiintoaineesta esiintyy Suomessa kyseisessä partikkelikoossa.

Taulukko 2: Laboratoriotesteissä kaivokohtaisella suodattimella saavutetut synteettisen huleveden puhdistustulokset raekokoluokittain. Savonia Ympäristötekniikan tutkimusyksikkö, 2019.

Raekoko (mm)	Testi 1	Testi 2	Testi 3	Keskiarvo
	Poisto (%)	Poisto (%)	Poisto (%)	Poisto (%)
<0,075	16,90	36,79	28,74	27,48
0,075	50,30	63,40	57,31	57,00
0,125	90,13	94,18	94,98	93,10
0,5	96,65	97,88	94,91	96,48
1	95,44	94,77	97,46	95,89
2	97,33	106,96	109,64	104,64
4	93,41	84,93	83,00	87,11
6	96,83	91,24	78,29	88,78

4.2.2 Suodatusmenetelmän tehokkuuden kartoittaminen

Suodatusmenetelmän vaikutusta vedenlaatuun arvioidaan asentamalla 2-3 kpl hulevesisuodattimia intensiiviseurantaan valittuihin hulevesikaivoihin ja toteuttamalla jokaiselle niistä vähintään kolmen sadantavaluntatapahtuman osalta koko tapahtuman keston aikaista valuntaa edustavat näyteenottosarjat (Assmuth et al. 2018) sekä mittaamalla hulevesivalunnan määrä jatkuvatoimisesti. Näyteenotto toteutetaan sekä suodattimella varustettuun hulevesikaivoon tulevasta että sieltä lähtevästä (suodatetusta) hulevedestä. Näytteistä tehtävillä haitta-aineanalyyseillä määritetään katualueelta tulevan kuormituksen määrä ja laatu sadantatapahtumien aikana sekä eri vaiheissa. Samalla kartoitetaan suodatusmenetelmän välitön vaikutus hulevesiviemäriin tulevan huleveden laatuun.

Näytteenotoilla kerätty tieto yhdistettynä sadetapahtumien aikana suoritettavaan jatkuvatoimiseen virtaamamittaukseen mahdollistaa pilottikaivojen osalta suodatusmenetelmällä saavutettavan kaivokohtaisen kuormitusvähennyksen määrittämisen. Tämä tieto on myös yleistettävissä koskemaan laajempia alueita ja toimii lähtötietona suodatusmenetelmän laajemman vaikuttavuuspotentialin arvioinnissa (4.3).

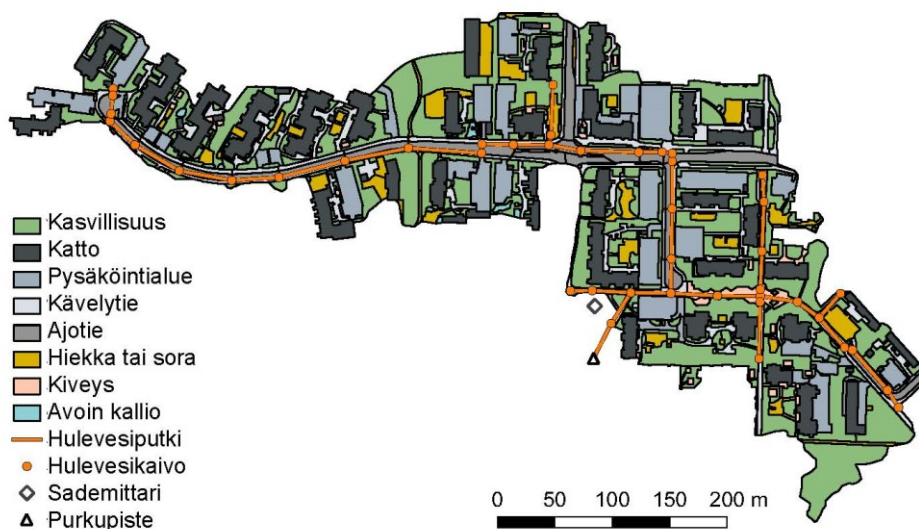
4.2.3 Suodatusmenetelmän käytännön toiminnan pilotointi ja optimointi

Intensiiviseurannan lisäksi hankkeessa kerätään pitkäaikaista käyttökokemusta kaivokohtaisten hulevesisuodattimien huollosta, ylläpidosta ja toimivuudesta eri olosuhteissa. Eri reikäkoolta varustettuja suodattimia asennetaan hankkeen alkuvaiheessa noin 10 kpl Lahden kaupunkialueelle erilaisilla maankäyttöalueilla sijaitseviin hulevesikaivoihin. Hankkeen aikana seurataan suodattimien tyhjennys- ja puhdistusväliä ja sen vaikutusta toimivuuteen. Hankkeen aikana saadaan lisäksi tietoa pitkäaikaisesta toimivuudesta sadetapahtumien aikana ja talviolosuhteissa. Käytettävyys-testauksessa myös kartoitetaan menetelmän toimivuus pidennetyllä huoltovälillä ja kiintoaineesta täyttyneenä.

Tulosten perusteella voidaan arvioida menetelmän huolto- ja ylläpitokustannuksien optimointia. Käytettävyystestien tuloksia arvioidaan mittaamalla poistettuja kiintoainemääriä sekä tarvittaessa yksittäisillä näytteillä kiintoainelaadun ja partikkelikoon selvittämiseksi.

4.3 Kaivokohtaisen hulevesisuodatuksen valuma-alueitasoinen kustannustehokkuus

Hulevesien kaivokohtaisen käsittelyn alueellista vaikuttavuutta arvioidaan kaupunkihydrologiaa ja kuormituksen muodostumista kuvaavan matemaattisen SWMM-mallin avulla (Stormwater management model, Rossman & Huber 2016). SWMM-mallin avulla kuvataan hulevesiverkoston ja maanpinnan topografian rajaaman valuma-alueen hydrologista käyttäytymistä sadetapahtumien aikana. Mallissa kuvataan erityyppiset rakennetut ja läpäisevät pintarakenteet, jotka kytkeytyvät toisiinsa ja edelleen hulevesiverkoston sen kaivojen kautta (kuva 2) (esim. Krebs et al. 2014). Mallissa voidaan laskennallisesti määrittää sadetapahtumien aikainen valuntamäärä ja valunnan mukanaan tuoma kuormitusmäärä hulevesiverkoston kullekin kaivolle (Tuomela et al. 2019). Kuormitusmäärän laskenta erilaisilta pinnoilta perustuu pintojen huleveden ominaispitoisuusarvoihin ja mallin tuottamaan valuntamäärään. Laskennassa voidaan asettaa kaivokohtaisille suodatusrakenteille puhdistustehokkuusarvo, joka vähentää yksittäisen kaivon läpi kulkeutuvaa ainekuormitusta. Valuma-alueella oleville pintarakenteille määritetään ominaiskonsentraatiot kirjallisuuden, olemassa olevien huleveden laadun aineistojen ja hankkeen tuottamien pitoisuusmittausten avulla.



Kuva 2. SWMM-malli, jossa homogeeniset pintatyytit muodostavat osavaluma-alueita, jotka kytkeytyvät toisiinsa sekä hulevesiverkoston (Tuomela et al. 2019).

Mallissa hulevesiverkoston tuleva valunta ja kuormitus kulkeutuvat valuma-alueen purkautumispisteelle, jonne voidaan laskea valuma-alueen kokonaisvirtaama ja kuormitus ajan suhteen. Valuma-alueen virtaamaa ja kuormitusta tarkastelemalla voidaan arvioida erilaisten kaivosuodattimien vaikutusta kokonaiskuormitukseen. Skenaariot ovat vaihtoehtoja kaivosuodattimien erilaisille määrille ja sijoittelulle tutkittavalla valuma-alueella. Mallin avulla voidaan määrittää sekä yksittäisen mitoitussadannan että pidemmän jakson sadetapahtumien aiheuttamaa valuma-alueen valuntaa ja kuormitusta. Laskennallisen tarkastelun avulla saadaan myös teoreettinen arvio eri osa-alueiden kuormitusriskistä.

Kaivokohtaisten hulevesisuodattimien kustannustehokkuutta arvioidaan hankkeessa kerättävän seurantatiedon ja SWMM-mallitustulosten pohjalta vertaamalla saavutettavaa haitallisten aineiden päästövähennystä suodattimien käytöstä aiheutuneisiin kustannuksiin. Suodattimien mahdollisimman kustannustehokkaan hyödyntämisen kannalta niiden sijoittelulla ja määrällä on keskeinen merkitys. Hankkeessa kehitetään menetelmä kaivokohtaisten hulevesisuodattimien mahdollisimman tehokkaaseen sijoitteluun.

Helsingissä mitattua uutta riskialueilta tulevaa kuormitustietoa ja suodatusmenetelmän toimivuudesta saatuja kokemuksia hyödynnetään mallinnuksessa tarkentamaan ja täydentämään kaivosuodattimien toimivuustietoja ja edelleen menetelmän vaikuttavuusarviointia.

SWMM-mallinnus toteutetaan kaupunkivaluma-alueella, jossa sadannan ja ilman lämpötilan lisäksi on mitattu alueen hulevesiverkostosta purkautuvaa vesimäärää sadetapahtumien aikana. Kenttämittauksilla kerätty valuma-aluekohtainen ja suodatinkohtainen tieto mahdollistaa mallin toimivuuden todentamisen. Mallin sovelluksena on

kaivokohtaisten hulevesisuodattimien skaalautuvuuden arvioiminen kokonaisen kaupunkivaluma-alueen hulevesien vesistökuormituksen vähentämisessä.

5. Tulokset ja hyödyt

Hankkeessa saadaan uutta tietoa tiiviin kaupunkialueen hulevesien laadusta, riskialueista ja niihin vaikuttavista tekijöistä, sekä laaditaan ohje muille kaupungeille riskialueiden tunnistamiseksi. Tietoa saadaan myös laadullisten hulevesiratkaisujen mitoitukseen ja huoltokustannusten arviointiin. Hanke selvittää myös huleveden mukana liikkuvan kiintoaineen kokojakauman ja siihen sitoutuneet haitta-aineet. Tämän tiedon perusteella pilotoitava suodatusratkaisu kustannusoptimoidaan käsittelemään raekokoluokkia, joihin haitta-aineet ovat sitoutuneet huomioon ottaen myös ratkaisun tukkeutumisen välttäminen. Tieto tukee myös muiden suodatusratkaisujen kehittämistä. Suodatusmenetelmän toimivuudesta ja monistettavuudesta saadaan myös arvio valuma-alueetasoisesti sekä erilaisille tunnistetuille riskialueille.

Tuotteet:

- Ohje kaupunkien hulevesien laadullisten riskikohteiden tunnistamiselle
- Esite/tuotekortti suodatusmenetelmästä ja sen toimivuudesta
 - Kaivokohtaisella hulevesisuodatuksella saavutettava puhdistustehokkuus
 - Menetelmän vaikuttavuus ja skaalautuvuus
 - Valuma-aluekohtainen mitoitus huoltokustannusten optimoinniksi
- Raportti hankkeessa toteutetuista hulevesiseurannoista
 - Erilaisilta kaupunkien maankäyttömuodoilta tuleva hulevesikuormitus
 - Eri maankäyttömuodoilta peräisin olevan kiintoaineen partikkelikokojen jakautuminen
 - Haitta-aineiden esiintyminen eri kokoluokan kiintoainepartikkeleissa
- Raportti (opinnäytetyö) suodatusmenetelmän sijoitteluvaihtoehtojen laskennallisesta vaikutuksesta valuma-alueen vesistökuormitukseen
- Lehtiartikkeli ammattilehteen (Vesitalous) suodatusmenetelmän arvioinnista
- Hankkeen loppuraportti

Kaupunkien vesien hallinnan ja haitallisten aineiden vähentämisen (hulevedet) rahoitushaussa korostuvat hulevesien laadun parantamisen, haitallisten aineiden kulkeutumisen ja poistumistehokkuuden lisäksi toteutettavien ratkaisujen sovellettavuus, elinkelpoisuus, monistettavuus ja uutuus. Lisäksi korostetaan kumppanuuksia ja viestintää. Tässä *Kaivokohtainen hulevesien hallinta* -hankkeessa (*HuLaKaS*) selvitetään hulevesien laatua ja niiden mukana kulkeutuvien haitallisten aineiden riskialueita, pilotoidaan uutta rakennettuun kaupunkirakenteeseen soveltuvaa kaivokohtaista hulevesien suodatusmenetelmää ml. huolto ja kustannustehokkuus sekä mallinnetaan hulevesien laatua ja niiden kaivokohtaisen käsittelyn alueellista vaikuttavuutta valuma-alueetasoisesti. Täysin uutta tietoa saadaan hulevesien kiintoaineiden raekokojakaumasta ja haitta-aineiden sitoutumisesta niihin, mikä on välttämätöntä hulevesien laadun parantamisen ja haitallisten aineiden kulkeutumisen ja poistamistehokkuuden arvioimiseksi.

Hankkeessa pilotoitava kaivokohtainen suodatusmenetelmä on uusi innovaatio, lähtökohtaisesti pistemäinen, mutta monistettava ja laajennettava valmiissa hulevesiverkostossa ja räätälöitävissä haluttujen kiintoaineiden raekokoluokkien mukaisesti. Hankkeessa on neljä kumppania, joiden erilaiset kokemukset ja osaaminen yhdistetään laajaksi, uutta luovaksi kokonaisuudeksi yhteistyössä kaupunkien, pilotoitavan innovaation tuottavan yrityksen sekä tutkimuksen kesken. Tuloksena on kaikkia kaupungeja palvelevaa ohjeistusta, mittaustietoa ja mallinnusta hulevesien laadusta erilaisilla urbaaneilla maankäyttömuodoilla ja valuma-alueilla sekä kokemusta uuden suodatusmenetelmän toimivuudesta ja käytettävyydestä suomalaisissa olosuhteissa. Lisäksi tuotetaan alan toimijoille julkista tutkimustietoa hulevesien kiintoaineiden laadusta, partikkelikoosta ja haitta-aineiden kulkeutumisesta. Viestintäsuunnitelma ja viestintävastuut sekä hankkeen tuotokset on jo suunniteltu ja aikataulutettu.

6. Viestintäsuunnitelma

Viestinnän tavoitteena on osallistaa ja sitouttaa sidosryhmiä hanketyöhön, ja jakaa hankkeen aikana kertyneitä kokemuksia ja osaamista sekä pilotoinnin tuloksia. Hankkeen tärkeimmät kohderyhmät eli sidosryhmät kaupunkiorganisaation ulkopuolella ovat SYKE, yliopistot, ELY-keskukset, kuntaliitto, suunnittelukonsultit, urakoitsijat,

materiaalitoimittajat, erilaiset järjestöt, säätiöt sekä vesistö- ja Itämeri-verkostot (esim. vesistökunnostusverkosto ja Itämerihaaste). Hankkeen alettua selvitetään yhteistyömahdollisuudet muiden käynnissä olevien ja alkavien hulevesihankkeiden kanssa, sekä mahdolliset synergiaedut mm. riskinhallintaan liittyen (luku 7).

Viestinnän päävastuu on Helsingin kaupungin ympäristöpalveluilla ja Lahden kaupungilla, mutta myös hankkeen partnerikonsultit ja avainsidosryhmät sitoutetaan keskustelemaan ja viestimään hankkeen tuloksista. Hankkeen ydinviestit ovat, että hulevesien laatuun tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota maankäytön suunnittelussa ja että jo rakennetuille alueille on tarjolla erilaisia kaivoihin asennettavia ja monistettavia suodatusjärjestelmiä, joiden avulla voidaan parantaa kaupunkialueiden hulevesien laatua erilaisilla valuma-alueilla vähentämällä ravinteiden, haitta-aineiden ja hienoaineksen määrää.

Verkkosivut hankkeelle toteutetaan osana kaupunkipartnerien omia sivuja (ns. mininettisivut). Hankkeen Kick-off järjestetään nopealla aikataululla hankkeen alkamisen jälkeen. Kaupunkien omat seurantaryhmät järjestävät tarvittavat suunnittelukokoukset ja kohdevierailut. Kaupunkipartnerit vierailevat myös toistensa kokouksissa ja kohteissa. Viestintää sosiaalisessa mediassa toteutetaan hankkeen elinkaaren aikana sopivissa olemassa olevissa kanavissa. Myös erilaisiin sidosryhmien järjestämiin seminaareihin ja muihin tilaisuuksiin osallistutaan hankkeen ajan (SYKE vesistökunnostusverkosto, Smart&Clean, kaupunkien sisäiset, Itämerihaaste, kansainväliset).

Hankkeesta viestitään medialle lehdistötiedottein hankkeen alussa (hanke käynnistynyt, pilottikohteiden valinta käynnissä), hankkeen keskivaiheilla (laadulliset riskialueet ja pilotointi käynnissä) sekä lopussa (pilotoinnin tulokset). Loppuseminaari pyritään järjestämään yhteistyössä jonkun avainsidosryhmän kanssa, jotta sinne saadaan osallistujiksi mahdollisimman laajasti tärkeitä kumppaneita ja tahoja, jotka voisivat käyttää samaa menetelmää omien hulevesiensä hallintaan, suunnitella vastaavia kohteita tai kehittää hulevesien laadullista hallintaa. Hankkeen viestinnässä hyödynnetään vuoden 2021 aikana lisäksi Lahden kaupungin käynnissä olevan *Euroopan vihreä pääkaupunki* -vuoden viestintäorganisaation tarjoamia mahdollisuuksia.

7. Riskinarviointi

Hankkeen suunnittelussa tunnistetut, sen toteuttamiseen liittyvät riskit ja niiden minimoimiseksi esitetyt toimenpiteet ovat seuraavat:

1. Laadullisten riskialueiden tunnistaminen:

- a. Lähtötietojen riittävyys ja soveltuvuus. Riskin hallinta tehdään valitsemalla haastateltavat/tietolähteet erityistä huolellisuutta noudattaen. Hankkeen ohjausryhmään kutsutaan erityisasiantuntijoita. Hankkeen toteuttajilla on lisäksi paljon kokemusta hulevesien hallinnan eri osa-alueista.

2. Kaivokohtaisen suodatuksen pilotointi:

- a. Näytteenottoon liittyvät haasteet sekä sääriippuvaisuus. Riskin hallinta tehdään varaamalla näytteenotto-/seurantavaiheeseen mahdollisimman riittävästi aikaa. Lahden kaupungin näytteenottosertifioidulla henkilöstöllä on kokemusta hulevesinäytteenotosta (aiemmat hankkeet). Näytteenotto tehdään omana työnä, jolloin optimaalisiin näytteenottotilanteisiin (sadetapahtumat) on mahdollisuus reagoida nopeasti myös normaalityöajan ulkopuolella.
- b. Hankkeen nopea toteutusaikataulu ei mahdollista ajallisesti optimaalisen kattavan seuranta-aineiston keräämistä. Riskin hallinta aloittamalla näytteenotot mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Lisäksi hankkeessa sovellettaviksi on valittu rajoitteet huomioiden realistisesti toteutettavissa olevat sekä parhaan käytännön mukaiset mittausstrategiat, jotka tukevat hankkeen tavoitteita.

3. Kaivokohtaisen hulevesisuodatuksen valuma-aluekohtaisen kustannustehokkuuden määrittäminen:

- a. Lähtöaineistojen saatavuus, mikäli seurantojen tuloksia ei saada riittävästi tai niiden saaminen myöhästyy esim. näytteenotolle epäedullisen sään vaikutuksesta. Riskin hallinta varautumalla täydentämään hankkeessa tuotettua dataa myös olemassa olevilla kirjallisuuslähteillä sekä muissa saman rahoituksen turvin käynnistyvissä hankkeissa kerätyllä datalla (jos mahdollista).

8. Aikataulu

Hulevesien laatu ja kaivokohtainen suodatus -hanke on aikataulutettu maaliskuusta 2021 lokakuulle 2022, jonka jälkeen on varattu aikaa raportoinnille joulukuuhun 2022 asti (kuva 3). Kevään 2021 aikana käynnistetään ohjausryhmän toiminta, riskikohteisiin liittyen tehdään edelläkävijäkaupunkien ja muiden asiantuntijoiden haastattelut sekä riskialueiden tunnistaminen muiden aineistojen perusteella Helsingissä. Kaivokohtaisen suodatusmenetelmän kalibroinnissa tehdään teknisen testaukset, pilotoidaan valuma-alueiden näytteenottoa ja sovitetaan suodatusmenetelmän reikäkokoa Lahdessa. Molemmissa kaupungeissa perustetaan myös jatkuvasti toimivat seurantarajat hankkeelle. Viestintä aloitetaan heti hankkeen käynnistyttyä (ks. Kohta 6.).

YM-rahoituskausi 2022 loppuun asti Hanke käynnissä 01.03.2021- 31.10.2022		Riskialueiden tunnistaminen ja menetelmän kalibrointi	Riskialueiden ja suodatusmenetelmän vedenlaadun seuranta	Valuma-alueittain vaikuttavuuden arviointi	Loppuraportointi																				
vuosi		2021												2022											
kuukaudet		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Työosiot																									
Kick off	HKI																								
Ohjausryhmän kokous (1) - hankkeen käynnistyminen	HKI/ kaikki partnerit																								
Ohjausryhmän kokous (2) - alustavat tulokset valuma-alueilta ja suodatusmenetelmän pilotoinnista	HKI/ kaikki partnerit																								
Ohjausryhmän kokous (3) - pilotoinnin, seurannan ja vaikuttavuusarvioinnin tulokset?	HKI/ kaikki partnerit																								
Loppuseminaari	HKI																								
Riskikohteiden tunnistaminen	Osavastuut																								
Haastattelut ja taustatietojen kartoitus	HKI																								
Riskialueiden tunnistaminen	HKI																								
Riskialueiden näytteenotto	HKI																								
Ohje riskialueiden tunnistamiselle	HKI																								
Suodatusmenetelmän pilotointi	Osavastuut																								
Suodatusmenetelmän tekninen testaus	Wateco																								
Pilotointi valuma-alueiden näytteenottoa (kiintoaine ja raekokositoutuneisuus?)	Lahti																								
Suodatusmenetelmän reikään soveltaminen	Lahti																								
Suodatusmenetelmän vedenlaadun seuranta	Lahti																								
Suodatuspilottin huollon testaaminen?	Wateco																								
Vaikuttavuus, kustannushyöty ja monistettavuus	Osavastuut																								
Vaikuttavuusanalyysi (suodattimen käytön merkittävyys valuma-alueella) diplomityönä (1-2?)	Aalto-yliopisto																								
Vaikuttavuusarviointiraportti	Aalto-yliopisto																								
Viestintä	Osavastuut																								
Kaupunkipartnerien hankkeen mininettisivut ja logo	HKI & Lahti																								
Kaupunkien seurantarajat hankkeelle	HKI & Lahti																								
Some	HKI & Lahti																								
Tiedotteet (alustavasti 3: hanke käynnistynyt, valitut riskialueet ja pilotointi käynnissä, tulokset)	HKI & Lahti																								
Tuotekortti/ Esite kaivokohtaisesta suodattimesta	HKI & Lahti																								
Seminaariosallistuminen (SYKE vesikun.verkosto, Smart&Clean, kaup.sis., Itämerihaaste, kv)	HKI & Lahti																								
Loppuraportti (tehdäänkö erikseen ns. Layman's report ja erikseen tutkimuspainotteinen?)	HKI/ kaikki partnerit																								

Kuva 3. Hankkeen aikataulu.

Syksyllä 2021 viimeistellään riskialueiden tunnistamiseen liittyvät toimet ja aloitetaan riskialueiden hulevesien näytteenotto Helsingissä. Kaivokohtaisen suodatusmenetelmän vedenlaadun seuranta sekä huollon testaaminen aloitetaan Lahdessa. Ohjausryhmä pitää toisen kokouksensa loppuvuodesta, kun näistä on saatavilla kokemuksia. Hulevesien laadun seuranta ja suodatusmenetelmän tehokkuuden seuranta jatkuvat kevääseen 2022, jolloin käynnistetään vaikuttavuusanalyysi ja mallinnustyö suodatusmenetelmän käytön merkityksestä valuma-alueittain. Keväällä myös ohjausryhmä kokoontuu jälleen arvioimaan hankkeen toteutustilannetta. Kesällä ja syksyllä 2021 työstetään ohjetta hulevesien laadun riskialueiden tunnistamiselle, ja syksyllä tehdään vaikuttavuusarviointiraportti sekä tuotekortti/esite kaivokohtaisesta hulevesien suodattimesta. Ohjausryhmä kokoontuu syksyllä hankkeen tulosten äärelle ja loppuraporttia aletaan tehdä hankkeen viimeisten toimintojen aikana, raportointi valmistuu vuoden 2022 loppuun mennessä.

9. Budjetti

Hankkeen budjetointi on jaettu neljälle kaudelle, 1.3.-30.6.2021, 1.7.-31.12.2021, 1.1.-30.6.2022 ja 1.7.-31.10.2022. Hankkeen kokonaisbudjetti jakautuu partnereiden kesken ja kausittain taulukon 3 mukaisesti. Hankkeen hallinnoijana Helsingin kaupunki palkkaa puolipäiväisen projektipäällikön koko hankkeen ajaksi. Aalto-yliopistossa teettävä opinnäytetyö ajoittuu hankkeen jälkimmäiselle puoliskolle. Muut palkkakulut ovat partnereiden henkilöstön ajankäyttöä tuntiperusteisesti (tarkat määrät erillisessä budjettitiedostossa). Hankkeen suurimmat kustannukset aiheutuvat ostopalveluista, joista suurimmat koostuvat Helsingin ja Lahden kaupungin hulevesien analyysikuluista sekä Helsingin konsulttityönä teettämästä riskialueiden määrittelytyöstä. Lisäksi Wateco teettää tarvittavat kaivosuodatinmallit hanketta varten. Partnereiden budjeteissa on varauduttu myös ulkopuolisen tilintarkastuksen teettämiseen. Matkakulut koostuvat seminaariosallistumisista, kohdevierailuista ja ohjausryhmän kokouksista (joista osa on oletettu järjestettävän etänä). Lahden kaupungin kone- ja laiteinvestoinnit koostuvat sadannan ja virtaaman mittauslaitteista.

Helsingin kaupunki						
Erittely	Yhteensä	1.3.-30.6.2021	1.7.-31.12.2021	1.1.-30.6.2022	1.7.-31.10.2022	
1	Palkkakustannukset	56 000	11 200	16 800	16 800	11 200
2	Flat rate 15 %	2 550	1 680	2 520	2 520	1 680
3	Matkakulut	2 550	1 150	100	650	650
4	Ostopalvelut	91 200	42 850	40 500	300	7 550
5	Kone- ja laiteinvestoinnit	2 000	2 000	0	0	0
	Yhteensä per kausi	154 300,00	58 880,00	59 920,00	20 270,00	21 080,00
Lahden kaupunki						
Erittely	Yhteensä	1.3.-30.6.2021	1.7.-31.12.2021	1.1.-30.6.2022	1.7.-31.10.2022	
1	Palkkakustannukset	17037	4084	7491	3166	2296
2	Flat rate 15 %	2556	613	1124	475	344
3	Matkakulut	1470	490	0	490	490
4	Ostopalvelut	35690	8390	19 600	4600	3100
5	Kone- ja laiteinvestoinnit	14500	14500	0	0	0
	Yhteensä per kausi	71253	28077	28215	8731	6230
Aalto-yliopisto						
Erittely	Yhteensä	1.3.-30.6.2021	1.7.-31.12.2021	1.1.-30.6.2022	1.7.-31.10.2022	
	0					
1	Palkkakustannukset	38025	1885	4420	15860	15860
2	Flat rate 15 %	5704	283	663	2379	2379
3	Matkakulut	1470	490	0	490	490
4	Ostopalvelut	1500	0	0	0	1500
5	Kone- ja laiteinvestoinnit	0	0	0	0	0
	Yhteensä per kausi	46699	2658	5083	18729	20229
Wateco Oy						
Erittely	Yhteensä	1.3.-30.6.2021	1.7.-31.12.2021	1.1.-30.6.2022	1.7.-31.10.2022	
	0					
1	Palkkakustannukset	22400	4480	6720	6720	4480
2	Flat rate 15 %	3360	672	1008	1008	672
3	Matkakulut	3600	900	900	900	900
4	Ostopalvelut	13000	7000	2000	1500	2500
5	Kone- ja laiteinvestoinnit	0	0	0	0	0
	Yhteensä per kausi	42360	13052	10628	10128	8552
Kaikki						
Erittely	Yhteensä	1.3.-30.6.2021	1.7.-31.12.2021	1.1.-30.6.2022	1.7.-31.10.2022	
1	Palkkakustannukset	133 462	21 649	35 431	42 546	33 836
2	Flat rate 15 %	14 169	3 247	5 315	6 382	5 075
3	Matkakulut	9 090	3 030	1 000	2 530	2 530
4	Ostopalvelut	141 390	58 240	62 100	6 400	14 650
5	Kone- ja laiteinvestoinnit	16 500	16 500	0	0	0
	Yhteensä per kausi	314 611	102 666	103 846	57 858	56 091

Taulukko 3. Hankkeen budjetti partnereittain ja hankekausittain.

10. Viitteet

Assmuth, E., 2017. *Performance of roadside filtration systems in the treatment of stormwater*. M.Sc. thesis. Espoo: Aalto University School of Engineering.

Assmuth, E., Sillanpää, N., Wendling, L. & Koivusalo, H., 2019. Impact of biochar on treatment performance of roadside sand filters - Field monitoring and geochemical modelling. Teoksessa: Mannina, G. (ed.). 2019. *New Trends in Urban Drainage Modelling: UDM 2018*. Springer Nature, p. 79-84 (Green Energy and Technology).

Clark, S., Pitt, R. 2012. Targeting treatment technologies to address specific stormwater pollutants and numeric discharge limits. *Water Research* vol. 46 s. 6715-673

- Järveläinen, J., 2014. *Land-use based stormwater pollutant load estimation and monitoring system design: Case of Lahti city, Finland*. M.Sc. thesis. Espoo: Aalto University.
- Järveläinen, J., Sillanpää, N. & Koivusalo, H., 2017. Land-use based stormwater pollutant load estimation and monitoring system design. *Urban Water Journal*, 14(3): 223-236.
- Kerkkänen, J., Sillanpää, N., Lehikoinen, E., Laurila, T., Kuoppamäki, K., Kalliala, E., Valtanen, M. & Jalonen, J., 2019. Hajautettua hulevesien hallintaa Espoon Niittykummussa. *Vesitalous*, 2/2019: 17-23.
- Khadka, A., Kokkonen, T., Niemi, T.J., Lähde, E., Sillanpää, N., Koivusalo, H. 2019. Towards natural water cycle in urban areas: Modelling stormwater management designs. *Urban Water Journal* 17:7, 587-597.
- Krebs, G., Kokkonen, T., Valtanen, M., Setälä, H., Koivusalo, H., 2014. Spatial resolution considerations for urban hydrological modelling. *J. Hydrol.* 512, 482–497.
- Leinonen, M. 2017. Huleveden hallinta liikennöidyillä alueilla tienvarren suodatusrakenteiden avulla. Espoo: Aalto University.
- McCarthy, D. T., Zhang, K., Westerlund, C., Viklander, M., Bertrand-Krajewski, J. L., Fletcher, T. D., & Deletic, A. (2018). Assessment of sampling strategies for estimation of site mean concentrations of stormwater pollutants. *Water research*, 129, 297-304.
- Rossmann, L.A., Huber, W.C., 2016. Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology. U.S. Environ. Prot. Agency I, 233.
- Sillanpää, N., 2013. *Effects of suburban development on runoff generation and water quality*. Doctoral dissertation. Espoo: Aalto University.
- Sänkiäho, L. & Sillanpää, N., 2012. STORMWATER hankkeen loppuraportti Taajamien hulevesihaasteiden ratkaisut ja liiketoimintamahdollisuudet. Espoo: Aalto yliopisto
- Tuomela, C., 2017. *Modelling source area contributions of stormwater pollutants for stormwater quality management*. M.Sc. thesis. Espoo: Aalto University School of Engineering.
- Tuomela, C., Sillanpää, N., Koivusalo, H. 2019. Assessment of stormwater pollutant loads and source area contributions with Storm Water Management Model (SWMM). *Journal of Environmental Management* 233: 719-727.
- Valtanen, M., Sillanpää, N. & Setälä, H., 2017. A large-scale lysimeter study of stormwater biofiltration under cold climatic conditions. *Ecological Engineering*, 100: 89-98.
- Wendling, L., Loimula, K., Kuosa, H., Korkealaakso, J., Iitti, H. & Holt, E., 2017a. *StormFilter Material Testing Summary Report. Localized performance of bio- and mineral-based filtration material components.*, Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Wendling, L., Loimula, K., Kuosa, H., Korkealaakso, J., Kuosa, H., Iitti, H. & Holt, E., 2017b. *StormFilter material testing summary report. Performance of stormwater filtration systems.*, Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland.