



Hulevesien laatu ja kaivokohtainen suodatus – hanke (HuLaKaS)

Loppuraportti

III raportointimiskausi 1.6.2022 - 31.12.2022



Sisällys

1. Tiivistelmä.....	3
2. Hankkeen tausta ja tavoitteet	3
3. Hankkeen osapuolet ja menetelmät	4
3.1 Riskialuekartointu ja huleveden laadun selvitys Helsingissä	4
3.2 Kaivosuodattimien testaus	5
3.2.1 Suodattimien puhdistustehokkuus.....	5
3.2.2 Suodattimien tuotekehitys ja huolto.....	7
3.2.3 Vaikuttavuusmallinnus	7
4. Hankkeen tulokset.....	7
4.1 Helsingin kaupunki, huleveden laatua heikentävien riskialueiden kartointu.....	7
4.2 Lahden kaupunki, kaivosuodattimien pilotointi kaupunkiympäristössä.....	12
4.3 Watec Oy, kaivosuodattimiin kertyneen materiaalin määrä ja laatu, suodattimien käytettävyys kaupunkioiloissa	14
4.4 Aalto yliopisto, valuma-alueen kaivosuodatinten vaikuttavuudesta ja kustannustehokkuudesta ...	17
5. Hankkeen vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen.....	23
5.1 Hulevesien laadun riskialuekartointu ja ohje sen toteuttamiseen	23
5.2 Kaivokohtainen suodatus hulevesien laadun parantamisessa kaupunkialueille, tehokkuus, toimivuus ja vaikuttavuus.....	23
6. Riskit ja muutostarpeet	24
6.1 Hankkeen aikana toteutuneet riskit ja niistä johtuneet muutostarpeet	24
6.2 Palaute muutoksista rahoittajalle.....	25
7. Viestinnän toteutuminen	25
8. Talousraportti.....	27
9. Viitteet	28

1. Tiivistelmä

HuLaKaS –Hulevesien laatu ja kaivokohtainen suodatus –hankkeessa kartoitetaan Helsingin hulevesien laatua heikentävät riskikohteet ja toiminnot sekä niiden sijoittuminen kaupungissa herkkien vesistöjen suhteen. Jotta näiden riskikohteiden hulevesien laatua voidaan parantaa, hankkeessa pilotoidaan hulevesikaivoihin sijoitettavan suodattimen toimivuutta, käytettävyyttä ja kustannustehokkuutta Lahdessa. Hankkeen yhteen kokoavana lopputuloksena tehdään mallinnuksen avulla arvio suodatusmenetelmän valuma-alueitasoisesta toimivuudesta, monistettavuudesta ja skaalautuvuudesta erilaisille hankkeessa kuvatuille kaupunkien riskialueille. Hanketta toteuttivat yhteistyössä Helsingin kaupunki (pääpartneri), Lahden kaupunki, Watec Oy ja Aalto yliopisto.

2. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Hulevesien laatu ja kaivokohtainen suodatus (HuLaKaS) –hankkeen tavoitteena on tunnistaa tiiviisti rakennetun kaupunkiympäristön hulevesien laatua heikentävät riskikohteet ja niitä määrittävät tekijät (esim. maankäyttö, historiallinen kuormitus, pilaantuneet maat) sekä pilotoida kaivokohtaisen hulevesisuodatusmenetelmän toimivuutta todellisissa kaupunkiolosuhteissa eri haitta-aineiden poistamisessa. Tavoitteena on myös selvittää kaivokohtaisen suodatusmenetelmän vaikutusmahdollisuudet veden laatuun kaupunkivesistöissä sekä menetelmän kustannustehokkuus kokonaiskuormituksen vähentämisessä valuma-alueitasolla tiiviissä kaupunkiympäristössä. Lisäksi hankkeessa tutkitaan hulevesien mukana liikkuvan kiintoaineksen partikkelikokojakaumaa sekä eri raekokoluokkien merkitystä haitta-aineiden sitoutumiselle. Tämä tiedon avulla pystytään optimoimaan erilaisia suodatusratkaisuja käsittelemään kokonaiskuormituksen kannalta merkittävimpiä raekokoja huomioiden kohtuullinen huoltoväli.

Kaupunkialueille on tyypillistä läpäisemättömien pintojen suuri osuus. Sade- ja sulamisvedet eivät pääse imeytymään maaperään ja kasvillisuuteen, jolloin hulevesien kuljettamat haitta-aineet kuormittavat ja rehevöittävät kaupunkivesistöjä, puroja ja merenlahtia. Hulevesien mukana kulkeutuvat ravinteet ja haitta-aineita ovat tyypillisesti peräisin muun muassa eroosiosta, liikenteestä ja erilaisista pinnoitteista. Vaikka hulevesien laatua on Suomessa tutkittu monenlaisilla maankäyttömuodoilla, kerätty tieto ei ole riittävän tarkkaa laadullisen hallinnan tarpeisiin, koska tiedot hulevesien laadusta eräissä maankäyttöluokissa, esimerkiksi teollisuus- ja liiketoiminnan alueilla, ovat vielä puutteellista. Lisäksi erilaisten maankäyttöluokkien sisällä olevista pienvaluma-alueista (esim. tiet, parkkipaikat, pilaantuneet maat) ei ole saatavilla tarpeeksi tarkkaa tietoa mahdollisista veden laatua heikentävistä riskitekijöistä ja -kohteista.

Jotta kaupunkien hulevesien laadullista hallintaa pystytään jatkossa 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. HuLaKaS –hanke vastaa tähän tietotarpeeseen kartoittamalla kaupunkien riskikohteita ja laatimalla kartoituksessa kertyneen tiedon ja kokemuksen perusteella kunnille ja kaupungeille suunnatun ohjeen huleveden laatua heikentävien kohteiden löytämiseen.

Kaupunkiympäristöön soveltuville kustannustehokkaille ja toimiville hulevesien laatua parantaville ratkaisuille on kasvava tarve, johon HuLaKaS –hanke vastaa. Erityisen haastavina koetaan vanhat, tiiviisti rakennetut alueet, joissa hulevesien laadullista hallintaa ei ole suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa otettu huomioon. Tilanne on kokonaisuuden kannalta ongelmallinen, koska hulevesien laatu on usein huonoin juuri näillä alueilla. Tiiviissä kaupunkirakenteessa ei ole mahdollista toteuttaa laajamittaisia hulevesikosteikkoja tai muita suodatus- tai imeytysalueita, vaan tarvitaan kompaktimpia, valmiiseen kaupunkitilaan soveltuvia ratkaisuja. HuLaKaS –hankkeessa pilotoidaan kaupunkiympäristössä Watec Oy:n kehittämiä ritiläkaivoihin sopivia hulevesisuodattimia, joiden on todettu laboratoriotesteissä poistavan tehokkaasti kiintoainetta hulevedestä. Hankkeessa tavoitteena määrittää kaivokohtaisen hulevesisuodatuksen vaikutus huleveden laatuun käytännön olosuhteissa kaupungissa, suodatusjärjestelmän toimivuus ja huollettavuus sekä myös laajemman mittakaavan vaikuttavuus.

Hulevesien puhdistamisessa 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. Kaupunkialueelta huleveden mukana kulkeutuvan kiintoaineen partikkelikojakaumasta, haitta-aineiden sitoutuneisuudesta eri raekokoluokkiin ja näiden vaihtelusta valuma-alueittain on kuitenkin niukasti tietoa saatavilla. Tieto raekokoluokista vaikuttaa myös merkittävästi suodatusratkaisujen käsittelytehokkuuden parantamiseen ja tukkeutumisen välttämiseen. HuLaKaS –hankkeessa vastataan tähän tietopuutteeseen määrittämällä raekokojakaumaa tunnistetuilta kaupungin riskialueilta otetuista hulevesinäytteistä.

HuLaKaS –hankkeessa seurataan myös kaupunkialueelle sijoitettujen hulevesisuodattimien toimivuutta käytännössä eri olosuhteissa, esimerkiksi talviaikaan tai suuren valuman aikaan, sekä selvitetään huoltoväliä ja mahdollisuuksia imuautolla tehtävään tyhjennykseen erilaisissa olosuhteissa.

Hulevesien kaivokohtaisen suodatusjärjestelmän tehokkaan soveltamisen kannalta avainkysymys on valuma-alueen vaikutus kuormitukseen kaupunkialueella. Hulevesiverkoston eri kohtiin sijoitetuilla suodattimilla voi olla suuria vaikutuseroja, kun tarkastellaan haitta-aineiden kuormitusta huleveden purkautuessa luonnonvesistöön. HuLaKaS –hankkeessa valuma-alueen vaikutuksia arvioidaan laskennallisesti mallintamisen keinoin. Mallinnus mahdollistaa kaivosuodattimien sijaintivaihtoehtojen ja määrän vertailun sekä

optimoinnin.

3. Hankkeen osapuolet ja menetelmät

Hankkeen päätoteuttajana, loppukäyttäjänä ja osarahoittajana toimi Helsingin kaupungin ympäristöpalvelut, ympäristön seuranta- ja valvontayksikkö. Yhteistyökumppaneina ja osarahoittajina ja -toteuttajina toimivat Lahden kaupunki, Watec Oy ja Aalto yliopisto, rakennetun ympäristön laitos. Helsingin kaupungin hulevesien riskialuekartoituksen toteuttajana toimi kilpailutuksen jälkeen Ramboll Oy.

3.1 Riskialuekartoitus ja huleveden laadun selvitys Helsingissä

Riskialueiden kartoitus toteutettiin konsulttityönä Helsingissä. Koska Helsingin kaupungilla ei ole puitesopimusta tämän kaltaisista tehtävistä, lähetimme tarjouspyynnön neljälle eri konsulttiyritykselle

(Ramboll, Sitowise, Vahanan environments, FCG) ja saimme tarjouksen kolmelta yritykseltä. Valinta tehtiin tarjouspyynnössä määritettyjen kriteerien mukaan sekä laadun että hinnan perusteella, ja valituksi tuli Ramboll.

Jotta huleveden laadun hallinta voidaan kohdistaa sinne, missä sillä on eniten vaikutusta, on tärkeää tunnistaa riskialueet kaupungin sisällä. Alueita määrittäessä on huonolaatuista hulevettä tuottavien alueiden lisäksi tärkeää tunnistaa vastaanottavien vesistöjen tai alueen herkkyys. Huleveden laadullinen riski syntyykin silloin, kun huonolaatuinen hulevesi kohtaa herkän vesistön.

Työn ensimmäisessä osuudessa määriteltiin Helsingin kaupungin potentiaaliset huleveden laatua heikentävät riskikohteet ja alueet toteutettiin Helsingin kaupungin olemassa olevien paikkatietoaineistojen perusteella. Kirjallisuuden ja asiantuntijalausuntojen pohjalta määritettiin kaupunkiympäristön potentiaaliset riskialueet ja toiminnot. Helsingin kattavista paikkatietoaineistoista etsittiin sopivat aineistot yhteistyössä kaupungin paikkatieto- ja luonnonsuojelu ja kaupunkirakenteen asiantuntijoiden kanssa, ja sen jälkeen konsultti yhdisti ne kartoiksi. Samoin toimittiin herkkien luontokohteiden osalta. Kaupunki toteutti tunnistetuissa kohteissa vesinäytteenottoa, jolla pystyttiin varmentamaan kohteen aiheuttamaa kuormitusta. Seurantaan valittiin tunnistetuista kohteista vilkkaasti liikennöity pääväylä, paljon läpäisemätöntä pintaa sisältävät kaupunkialue, teollisuusalue sekä lumenlajitusalue.

Saatujen kokemusten ja tulosten perusteella, konsultti laati oppaan riskialuekartoituksen tekemiseen, jotta aiheesta kiinnostuneet kunnat ja kaupungit pystyisivät toteuttamaan vastaavan omalla alueellaan. Oppaan luonnosta ovat kommentoineet sekä kaupunkitoimijat että hankkeessa mukana olevat hulevesiasiantuntijat.

Riskialuekartoituksen yhteydessä selvitettiin kaupungin huleveden laatua näytteenotoin. Näytteenotot toteutettiin kaupungin omalla työvoimalla.

3.2 Kaivosuodattimien testaus

3.2.1 Suodattimien puhdistustehokkuus

Hulevesisuodattimien käytettävyyseuranta toteutettiin yhteistyössä Lahden kaupungin ja Watec Oy:n kanssa elokuusta 2021 lokakuuhun 2022 yhteensä kuudella Lahdessa sijaitsevalla erityyppisellä tiiviin kaupunkirakanteen valuma-alueella. Käytettävyyseuranta piti tuotekehityksellisten seikkojen (luku 3.2.2) lisäksi sisällään suodattimiin kertyneen aineksen määrän ja niiden toimintakyvyn (vedenläpäisykyky, paikallaan pysyminen, vauriot ym.) tarkkailua.

Osana käytettävyyseurantaa määritettiin myös kaivosuodattimien puhdistustehokkuutta mittaamalla niillä saavutettavaa veden laadun muutosta. Se toteutettiin keräämällä yksittäisten sadanta-valuntatapahtumien aikana kokoomänäytteitä suodattimeen tulevasta ja sen läpi suotautuneesta hulevedestä (kuva 1). Hankkeen toteuttamisajan poikkeuksellisen vähäsateisen sään vuoksi sadantatapahtumien aikaisia näytteenottoja päästiin toteuttamaan suunniteltua vähemmän, 2 kertaa.



Kuva 1. Sadanta-valuntatapahtuman aikaista hulevesinäytteenottoa Lahdessa keväällä 2022.

Kaivosuodattimien tyhjennysten yhteydessä niihin kertyneen sakan massa mitattiin ja siitä otettiin näytteet, joiden avulla määritettiin eri haitta-aineiden esiintymistä hulevesissä (kuva 2).



Kuva 2. Hulevesisuodattimeen kerääntynyttä sakkaa kuvattuna tyhjennyksen ja sakanäytteenoton yhteydessä.

3.2.2 Suodattimien tuotekehitys ja huolto

Watec oy on yhteistyössä Lahden kaupungin kanssa toteuttanut kaivosuodattimien tuotekehitystä ja käytettävyyssurainta. Seurannan tavoitteena oli saada tuloksia hulevesikaivokohtaisen suodattimien käytännön toiminnasta kaupunkiolosuhteissa. Tuotekehityksen kannalta on mm. haettu sopivaa suodattimen silmäkokoa ja tyhjennysväliä. Suodattimia eri silmäkoolla varustettuina oli testattavana Lahden hulevesikaivoissa. Käyttökokemuksien perusteella haettiin silmäkokoa, joka on toisaalta tarpeeksi pieni poistamaan kiintoainetta tehokkaasti, mutta joka ei toisaalta vaadi kohtuuttoman lyhyttä tyhjennysväliä tai hankaloita suodattimien pitkäaikaista käyttöä. Sopivaa tyhjennysväliä haettiin seuraamalla suodattimien täyttymistä erilaisissa olosuhteissa (esim. kevään hiekoitushiekka, syksyn lehtikarikeri). Tyhjentämistä myös kokeiltiin erilaisilla tekniikoilla.

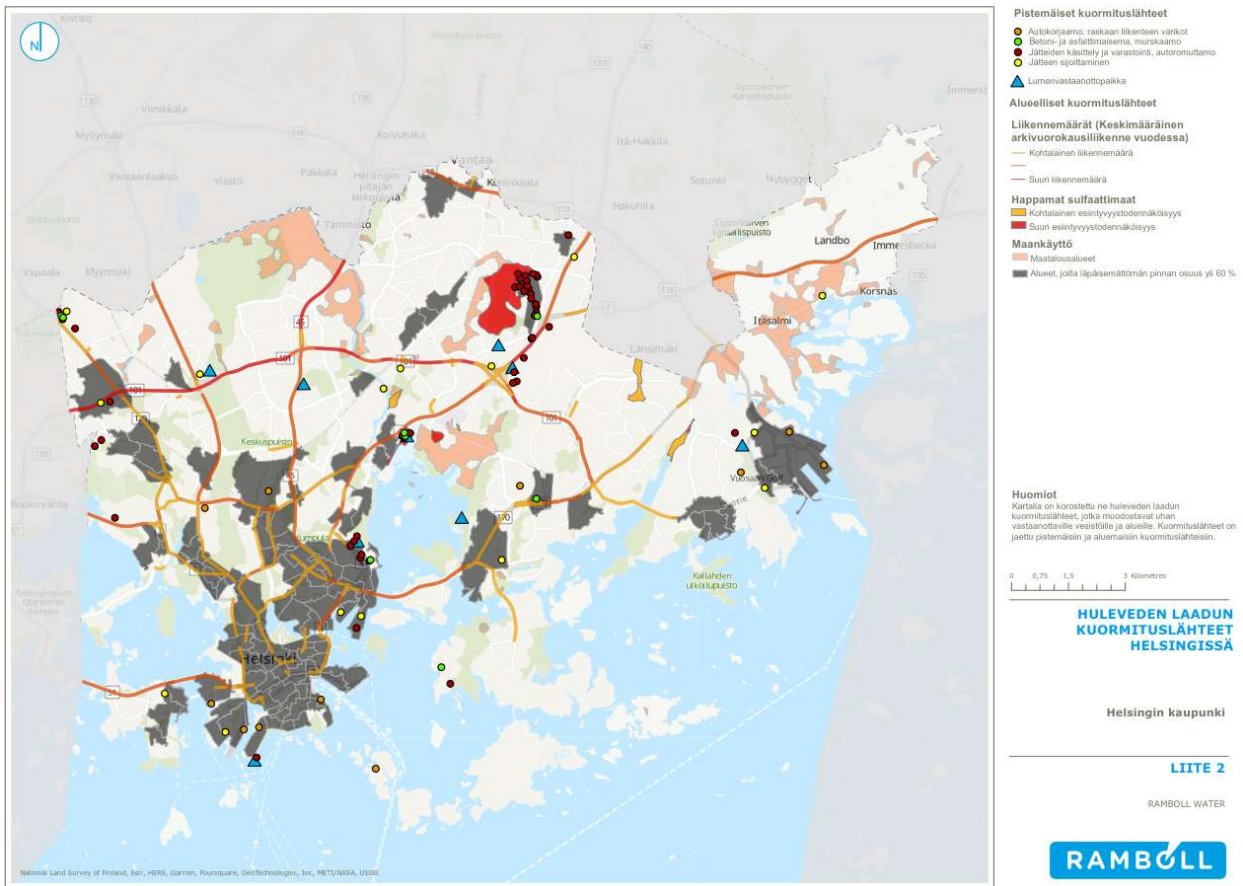
3.2.3 Vaikuttavuusmallinnus

Aalto yliopisto on valuma-aluemallinnuksen ja suodattimien käytännön testauksessa saatujen tulosten perusteella tehnyt arvioita suodatintien sijoituksen optimoinnista. Valuma-aluemallinnus toteutettiin SWMM mallin (Stormwater management model) avulla Lahden kaupungin keskustassa Taapelinpolun valuma-alueelle. Mallinnuksen avulla pystyttiin laskemaan kuormituksen muutosta erilaisilla skenaarioilla, joissa suodattimia asetettiin valuma-alueelle erilaisia määriä ja eri kohteisiin. Näin pystyttiin laskennallisesti testaamaan optimaalisia sijoituspaikkoja sekä suodatintien määrää, joka tuo halutun kiintoaineen kuormitusvähennyksen valuma-alueelta pois virtaavaan veteen.

4. Hankkeen tulokset

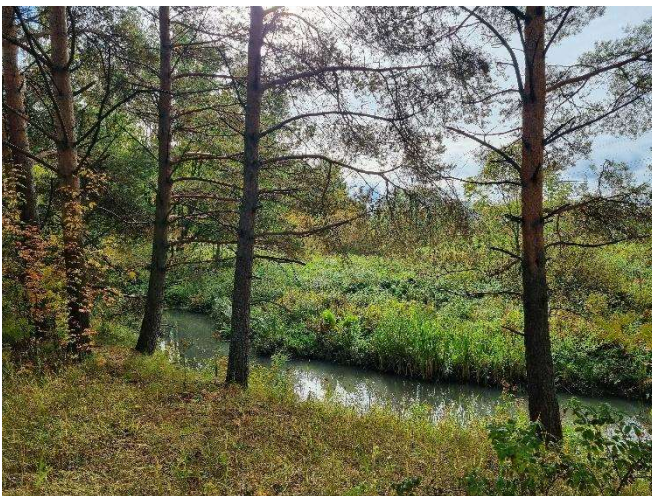
4.1 Helsingin kaupunki, huleveden laatua heikentävien riskialueiden kartoitus

Huleveden laatua heikentäviksi maankäyttömuodoiksi määriteltiin vilkkaasti liikennöidyt tiet (Helsingin tapauksessa erityisesti sisääntuloväylät ja kehätiet), paljon (yli 60%) läpäisemätöntä pintaa sisältävät kaupunkialueet, teollisuusalueet, sulfidisavialueet sekä maatalousalueet. Pistemäisistä kohteista paikkatietokartalle vietiin betoninmurskausasemat, raskaan liikenteen varikot sekä jätteidenkäsittelyalueet, autonromuttamot sekä lumen läjityspaikat (Kuva 3).

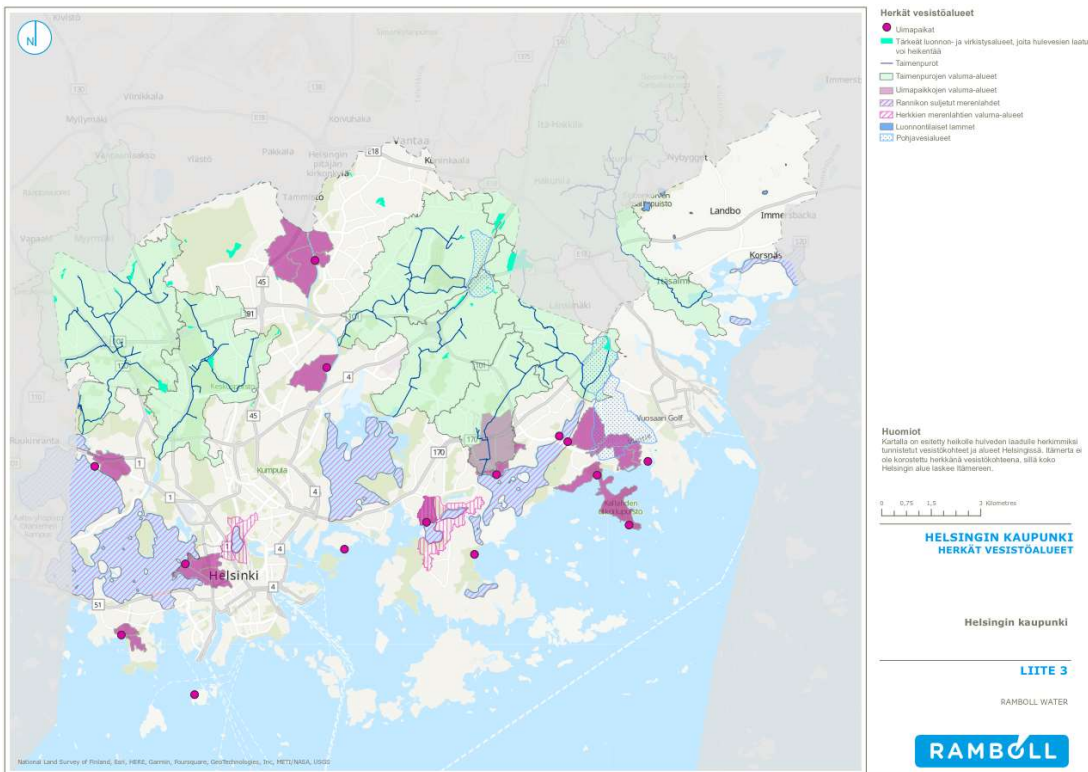


Kuva 3. Huleveden laatua heikentävät riskialueet ja kohteet Helsingissä.

Työssä haluttiin myös selvittää millä alueilla riskitoiminnot ja kohteet erityisesti aiheuttavat uhkaa lähivesistöille. Erityistä suojelua tarvitsevat kohteet määritettiin sekä luontoarvojen että virkistysarvojen perusteella. Herkiksi kohteiksi tunnistettiin luonnontilaiset ja luonnontilaisen kaltaiset purot (Kuva 4), Helsingin tapauksessa mukaan valittiin taimenpurot, rannikon suljetut merenlahdet, hyvälaatuisesta hulevedestä riippuvaiset luontokohteet sekä uimarantojen lähivaluma-alueet. Paikkatietoaineistojen avulla nämä kohteet vietiin kartalle (Kuva 5).

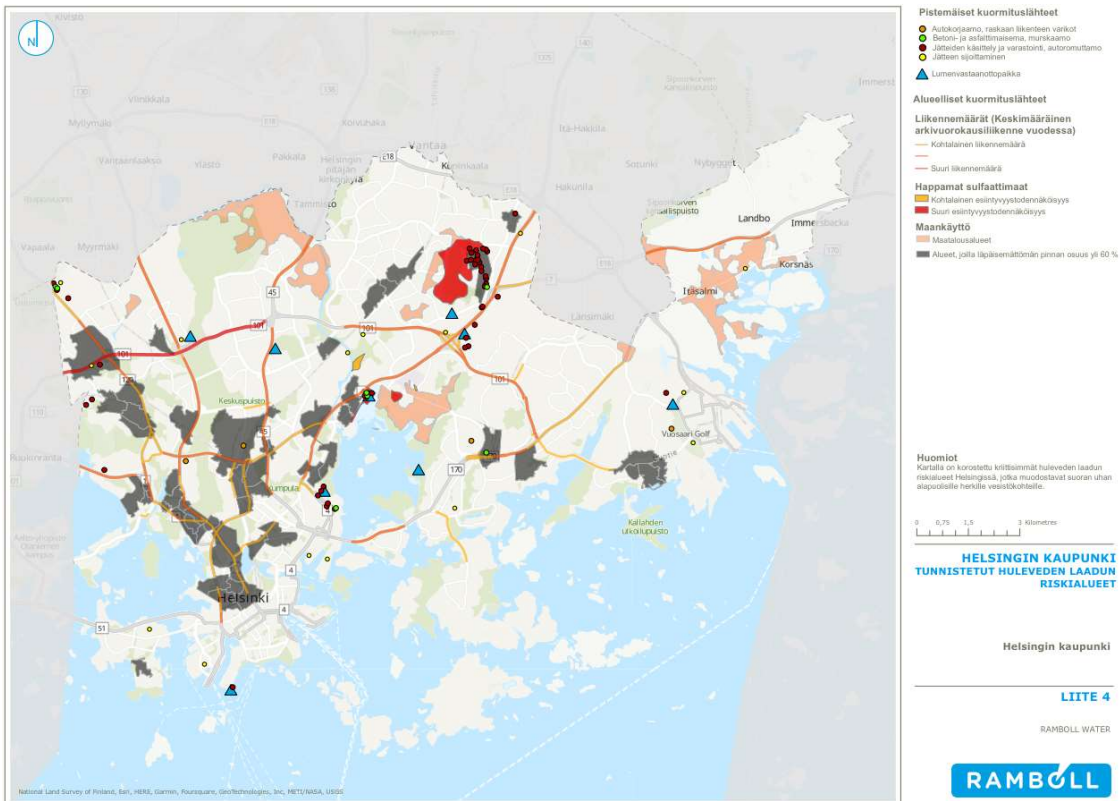


Kuva 4. Kaupunkipuro.



Kuva 5. Herkät vesistöalueet Helsingissä, joiden luonnontilaa tai virkistyskäyttöarvoa huono huleveden laatu uhkaa.

Nämä kaksi kartta-ainestoa (riskikohteet ja herkät vesistöalueet) yhdistämällä saatiin paikkatietokartta alueista, joilla huonolaatuinen hulevesi erityisesti aiheuttaa haittoja (Kuva 6). Aineistoa voidaan hyödyntää mm. kaupunkisuunnittelussa, kun arvioidaan hulevesien käsittelyn tarvetta uusilla asuinalueilla tai tarvetta asentaa hulevesien käsittelysystemejä esim. Imeytyskenttiä tai suodattimia valmiiseen kaupunkiympäristöön sekä ympäristön suojelun kannalta kohdetietoa erityistä seuranta vaativia luontokohteita.



Kuva 6. Huleveden laatua heikentävät alueet ja toiminnot, jotka sijaitsevat herkkien vesistöjen valuma-alueella (uimarantojen suhteen lähivaluma-alueella).

Huleveden laadun heikentymistä mahdollisesti aiheuttavaksi tekijäksi tunnistettiin myös kaavoitustietojen perusteella kaupungin tulevat kehitysalueet sekä liikennejärjestelyjen että asuntorakentamisen osalta. Ajatuksena oli, että rakentaminen usein aiheuttaa riskiä huleveden laadulle ja näin pystytään jo etukäteen arvioimaan vaikutuksia herkkiin vesistöihin ja luontokohteisiin sekä tarvittaessa asettamaan tiukempia määräyksiä rakennusvaiheen työmaavesien käsittelylle ja alueen hulevesijärjestelyille.

Tunnistettujen riskikohteiden esimerkkipaikoista otettiin hulevesinäytteitä kesän ja syksyn 2022 aikana. Näytteenottopaikoiksi valittiin vilkkaasti liikennöity tie (Kehä I), paljon läpäisemätöntä pintaa sisältävä kerrostaloalue (Arabianranta), pienteollisuusalue (Tattarisuo) (Kuva 7) sekä lumenläjityspaikka. Hyvin kuiva ja vähäsateinen kasvukausi 2022 aiheutti sen, että näytteitä saatiin paljon suunniteltua vähemmän, yhteensä neljä näytteenottokertaa. Näytteenottojen perusteella voitiin kuitenkin todeta, että etenkin lumenläjityspaikoilta (Kuva 8) sulava vesi on todellinen riski vastaanottavan vesistön laadulle. Myös tavalliselta, tiiviisti rakennetulta asuinkerrostaloalueelta huuhtoutuva vesi ylitti monen aineen osalta saatavilla olevat raja-arvot (Tukholman läänin huleveden raja-arvot). Erityisesti öljyhiilivedyt ja sinkki olivat kaikilla tutkituilla paikoilla usein koholla Tukholman läänin raja-arvoihin verrattuina (Taulukko 1).



Kuva 7. Näytteenottoon valittu Tattarisuon teollisuusalue Helsingissä, kuvassa autoromuttamo alueella.

Taulukko 1. Paljon läpäisemätöntä pintaa sisältävältä kerrostaloalueelta, vilkkaasti liikennöidyltä tieltä, pienteollisuusalueelta sekä lumenläjityspaikalta kesän ja syksyn 2022 aikana otettujen hulevesinäytteiden vedenlaatutuloksia. Taulukossa esitetty haitta-ainekohtaiset näytteenottojen mediaanitulokset sekä suluissa kohteesta mitattu näytteenottokertojen maksimipitoisuus.

		Kerrostaloalue	Vilkas tie	Teollisuusalue	Lumenläjitys	Raja-arvo *
Kiintoaine	mg/l	64 (78)	21 (33)	31 (64)	470 (1100)	40
Kupari	µg/l	12 (21)	17 (22)	14 (28)	63 (110)	18
Sinkki	µg/l	120 (170)	62 (110)	140 (180)	245 (450)	75
Lyijy	µg/l	2,9 (3,7)	2 (3,4)	1,75 (2,7)	22 (30)	8
Elohopea	µg/l	0,07 (0,1)	0,25 (0,4)	0,04 (0,04)	0,55 (1,1)	0,03
Kadmium	µg/l	0,03 (0,04)	0,05 (0,22)	0,04 (0,06)	0,18 (0,34)	0,4
Öljyhiilivedyt	µg/l	1200 (1800)	305 (1300)	330 (5700)	1950 (2900)	400
Kokonaistyyppi	mg/l	0,84 (1,7)	1,6 (2,5)	0,81 (1,6)	4,0 (3200)	2,0
Kokonaisfosfori	mg/l	0,063 (0,2)	0,085 (0,22)	0,08 (0,2)	1,0 (740)	0,16

* Tukholman läänin raja-arvot hulevedelle



Kuva 8. Lumenläjitysmaat Helsingissä.

Työn tuloksena valmistunut karttapohjainen esitys sekä kaupungin karttapalveluun siirretyt paikkatietoaineistot mahdollistavat jatkossa tietojen hyödyntämisen kaupungin suunnittelu-, kehitys- ja ympäristönsuojeluhankkeissa. Aineistot tukevat mm. päätöksiä siitä, minne kannattaa kohdistaa hulevesien laadun seuranta, parantamistoimia ja rakenteita sekä tunnistaa mitkä vesistöt ja virkistyskohteet ovat vaarassa huonolaatuisen huleveden vuoksi.

Jotta myös muut kaupungit ja kunnat voisivat hyötyä Helsingin riskialuekartoituksessa saaduista kokemuksista ja tuloksista, laadittiin ohjeistus riskialuekartoituksen tekemiseen. Ohjeen yhteyteen tehtiin tietopaketti hulevesien laadusta ja siihen vaikuttavista tekijöistä pohjaksi riskialuekartoitukseen. Ohje auttaa mm. riskikohteiden sekä suojeltavien luontoarvojen tunnistamisessa, tarvittavien paikkatietoaineistojen määrittämisessä ja hankkimisessa sekä valmiin kartoituksen hyödyntämisessä. Valmis ohje on luettavissa osoitteessa

http://www.itamerihaaste.net/files/2852/Huleveden_laadun_riskitarkastelu_kunnille_2023.pdf

4.2 Lahden kaupunki, kaivosuodattimien pilotointi kaupunkiympäristössä

Hankkeen aikana tehdyn käytettävyyssuurannan perusteella kaivokohtaisella hulevesisuodatuksella saatiin kerättyä kiintoainetta, irtoroskia ja muita epäpuhtauksia hulevedestä. Eri tutkimuskaivojen välillä oli kuitenkin huomattavia eroja sakkakertymien välillä, riippuen alueen maankäytöstä ja toiminnoista. Erot eivät korreloineet tutkimuskaivojen valuma-alueiden kokojen kanssa. Suodattimiin kertyneistä ainemääristä ja niiden ominaisuuksista on kerrottu tarkemmin luvussa 4.3.

Suodatuksen tehokkuus haitta-aineiden poistamisessa vaihteli sadanta-valuntatapahtumien välillä niiden aikana kerättyjen näytteiden perusteella arvioituna (Taulukko 2). Näytteet kerättiin Kyösti Kallion kadulla sijaitsevasta seurantapistestä, jonka välittömässä läheisyydessä sijaitsi sekä vilkkaasti liikennöity rakennustyömaa-alue sekä hiekkapäällysteinen pysäköintialue, joiden ajoneuvoliikenne kulki kokonaan tai osittain seurantapisteen valuma-alueen kautta. Näytteiden voidaan siten sekä olemassa olevan tutkimustiedon että hankkeen aikana tehtyjen havaintojen perusteella katsoa edustavan hulevesien laadulta erityisen kuormittavaa kaupunkivaluma-aluetta.

Näytteiden perusteella arvioituna kaivokohtaisen hulevesisuodatuksen tehokkuus oli suurimmillaan silloin, kun kiintoaineen pitoisuudet ennen suodatusta olivat korkeat (8.4.2022 otetut näytteet). Tällöin menetelmällä saavutettiin 63 % poistotehokkuus kiintoaineelle, 31 % tehokkuus kokonaisfosforille, 16 % tehokkuus kokonaistypelle sekä 34–66 % tehokkuus raskasmetalleille (kok. pitoisuus). Matalammilla kiintoaineen pitoisuuksilla (22.8. 2022 näytteet) kaivosuodatuksella ei toisaalta käytännössä ollut vaikutusta huleveden laatuun tai muutokset siinä olivat niin pieniä, että tulkintaa ei voitu tehdä laboratorioanalyyseiden mittauserpävarmuudesta johtuen. Alhaisesta näytemäärästä johtuen myös tulokset kokonaisuudessaan ovat laajemmalla tasolla suuntaa-antavia, vaikka käytetystä näytteenottotavasta (kokoomanäytteet) johtuen ne ovatkin sadanta-valuntatapahtumien osalta edustavia.

Taulukko 2. Yhteenveto sadanta-valuntatapahtumien aikana kerättyjen näytteiden tuloksista.

	8.4.2022			22.8.2022		
	Tuleva	Suodattunut	Poisto-%	Tuleva	Suodattunut	Poisto-%
Ammonium, NH ₄	0,21	0,25	-19,05	0,078	0,15	-92,31
Nitraatti- ja nitriittitypen summa	0,87	0,72	17,24	0,25	0,28	-12,00
Kokonaistyyppi, N	2,5	2,1	16,00	1,4	1,6	-14,29
Kokonaistyyppi, N, liukoinen	1,5	1,2	20,00	0,72	0,79	-9,72
Fosfaattifosfori, PO ₄ -P	0,13	0,19	-46,15	0,13	0,15	-15,38
Kokonaisfosfori, P	0,48	0,33	31,25	0,27	0,3	-11,11
Kokonaisfosfori, P, liukoinen	0,057	0,049	14,04	0,1	0,11	-10,00
Kiintoaine	1000	370	63,00	160	160	0,00
Kromi, Cr, kokonais	150	52	65,33	27	28	-3,70
Kromi, Cr, liukoinen	1,3	0,92	29,23	1,2	1,5	-25,00
Kupari, Cu, kokonais	160	55	65,63	36	43	-19,44
Kupari, Cu, liukoinen	4	3,4	15,00	8,7	9	-3,45
Lyijy, Pb, kokonais	22	11	50,00	7,6	8,2	-7,89
Lyijy, Pb, liukoinen	0,4	0,3	25,00	0,4	0,6	-50,00
Sinkki, Zn, kokonais	530	350	33,96	180	230	-27,78
Sinkki, Zn, liukoinen	7	11	-57,14	28	43	-53,57

Sadanta-valuntatapahtumien aikaisten näytteenottojen lisäksi Lahdessa otettiin näytteet kaivokohtaisiin hulevesisuodattimiin kertyneestä sakasta 22.9.2022 sekä 4.11.2022. Näytteistä tehtiin kattavat määritykset erityyppisistä haitta-aineista, mm. raskasmetalleista, PAH-yhdisteistä sekä öljyhiilivedyistä. Sakanäytteiden haitta-ainepitoisuudet vaihtelivat paljon tutkimuspisteiden välillä. Kohonneina pitoisuuksina niissä esiintyi paikasta riippuen raskasmetalleista erityisesti kuparia ja sinkkiä, minkä lisäksi öljyhiilivetyjen pitoisuudet ylittivät maaperän haitallisten aineiden kynnysarvot lähes jokaisessa tutkimuspisteessä (Kuva 9).



Kuva 9. Öljyhiilivetyjen kuiva-ainepitoisuuksia kaivokohtaisiin hulevesisuodattimiin kertyneestä sakasta otetuissa näytteissä. Maaperän haitallisten aineiden kynnsarvot ovat >C21-C40 –jakeille 600 mg/l ja 300 mg/l >C10-C40 –jakeille.

Kaikkien hankkeen aikana Lahdessa kerättyjen näytteiden tutkimustodistukset on esitetty liitteenä 1.

4.3 Watec Oy, kaivosuodattimiin kertyneen materiaalin määrä ja laatu, suodattimien käytettävyys kaupunkioiloissa

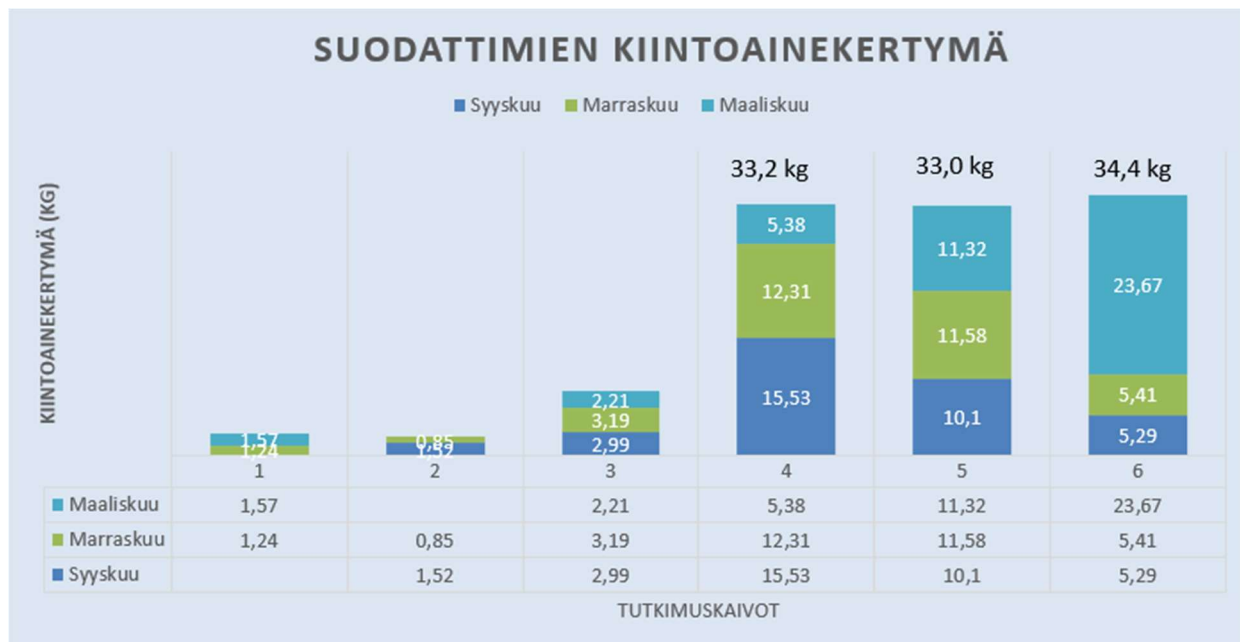
Heti hankkeen aluksi aloitettiin kaivosuodattimien kehitys huomioiden katualueen kaivojen vaatimukset. Suodattimen kiinnitystapa kaivon tuli kehittää, niin ettei kaivonkansi nouse esimerkiksi talviaikaisen aurauksen takia. Lisäksi kartoitettiin sopivien suodatinsukkamateriaalit, joita oli Euroopassa saatavilla. Kirjallisuusselvityksen ja ulkomaisten hulevesien raekokomäärityksien perusteella testiin valittiin 230 mikronin reikäkoolla oleva suodatinverkko sekä 75 mikronin viirakangas, joista suodatinsukat ompelutettiin. Valmiit käytettävyysseurannan suodattimet saatiin asennettua paikalleen Lahteen 2.8.2021. Tutkimuskaivojen valinnassa painotettiin tiiviin kaupunkirakenteen sisällä maankäytöltään mahdollisimman erilaisia valuma-alueita.

Kaivosuodattimiin kertyneitä kiintoainemääriä on seurattu kuukausittain samalla, kun suodattimet on tyhjennetty ja huollettu yhteistyössä Lahden kaupungin kanssa. Suodattimia on ollut kokeilussa yhteensä kuusi kappaletta, joista neljä kappaletta on hiekkasuodattimia 230µm silmäkoolla, yksi hiekka+hienosuodatin (75µm) ja yksi hiekka+hienosuodatin+öljysuodatin. Suodattimiin on kertynyt viimeisimpään tyhjennyskertaan mennessä kiintoainetta 3 kilogrammasta 34,4 kilogrammaan (Kuva 10).

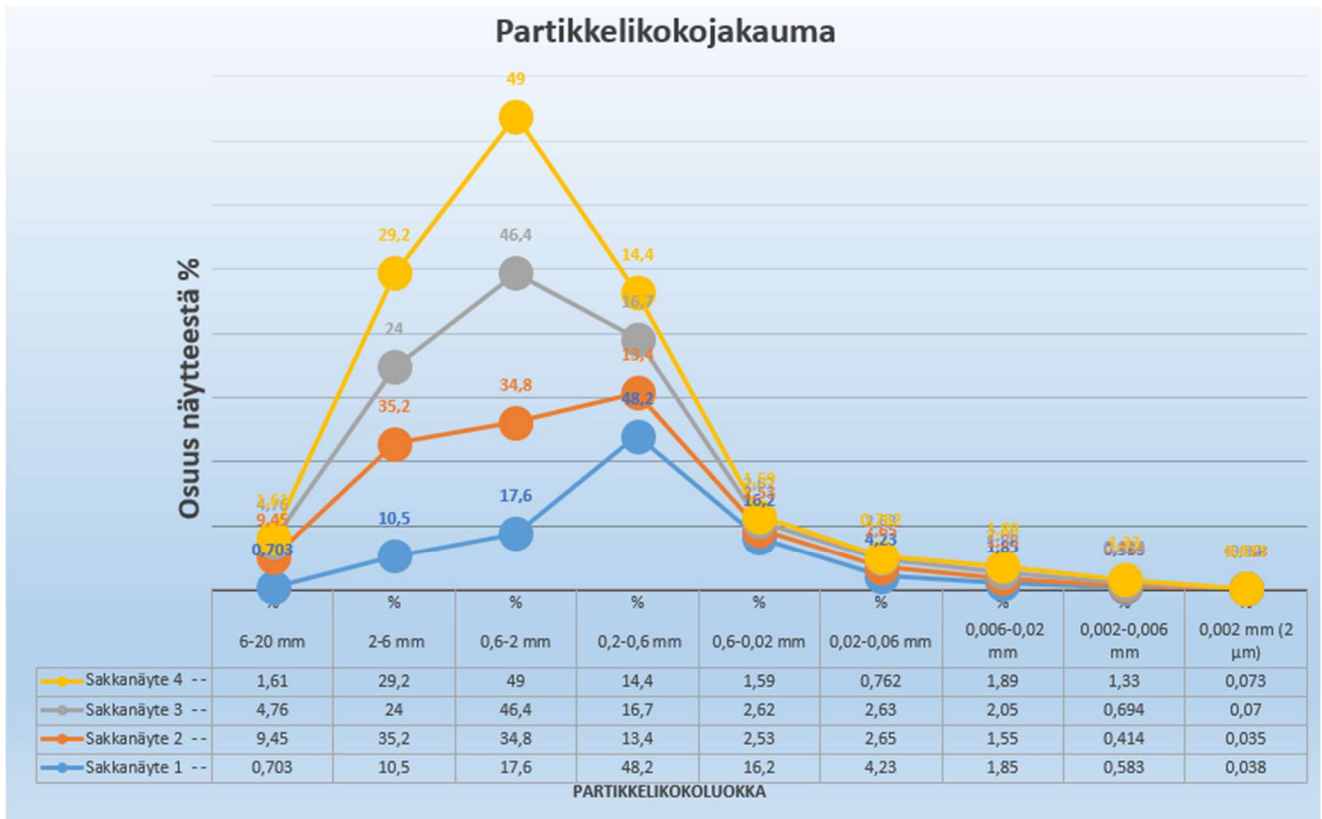
Hienosuodattimilla saatiin poistettua selvästi pienempää partikkelikokoa. Viirakankaan kaksikerrosrakenteen takia suodattimissa havaittiin mikrobikasvustosta johtuvaa suodattimien tukkeumista, jonka takia hienosuodattimen otettiin pois käytöstä talvikaudelle. Kesän tulosten perusteella suodattimena voidaan käyttää myös pienemmän reikäkoon suodatinverkkoa, mutta yksikerroksisena, johon ei niin helposti kasva biofilmiä ja toisaalta aukeaa paremmin imutyhjennyksellä. Pienempi reikäkoko luonnollisesti parantaa puhdistustulosta ottaen pienempää partikkelikokoa, mutta pienentää kaivosuodattimien tyhjennystiheyttä.

Suodattimiin kertyneestä kiintoaineksesta on tehty 4 eri kaivosta raekokomääritys syksyllä (Kuva 11). Tulosten perusteella kiintoainetta saadaan poistettua huomattavasti myös reikäkokoa pienempää partikkeliä. Suodattimeen kertyvä kiintoaine itsessään toimii suodatinmassana, johon pidättyy sekä hienompaa kiintoainetta että myös liukoisia ravinteita. Liukoisten ravintein puhdistuskykyä esitetty tarkemmin kohdassa 4.2 *Lahden kaupunki, kaivosuodattimien pilotointi kaupunkiympäristössä*.

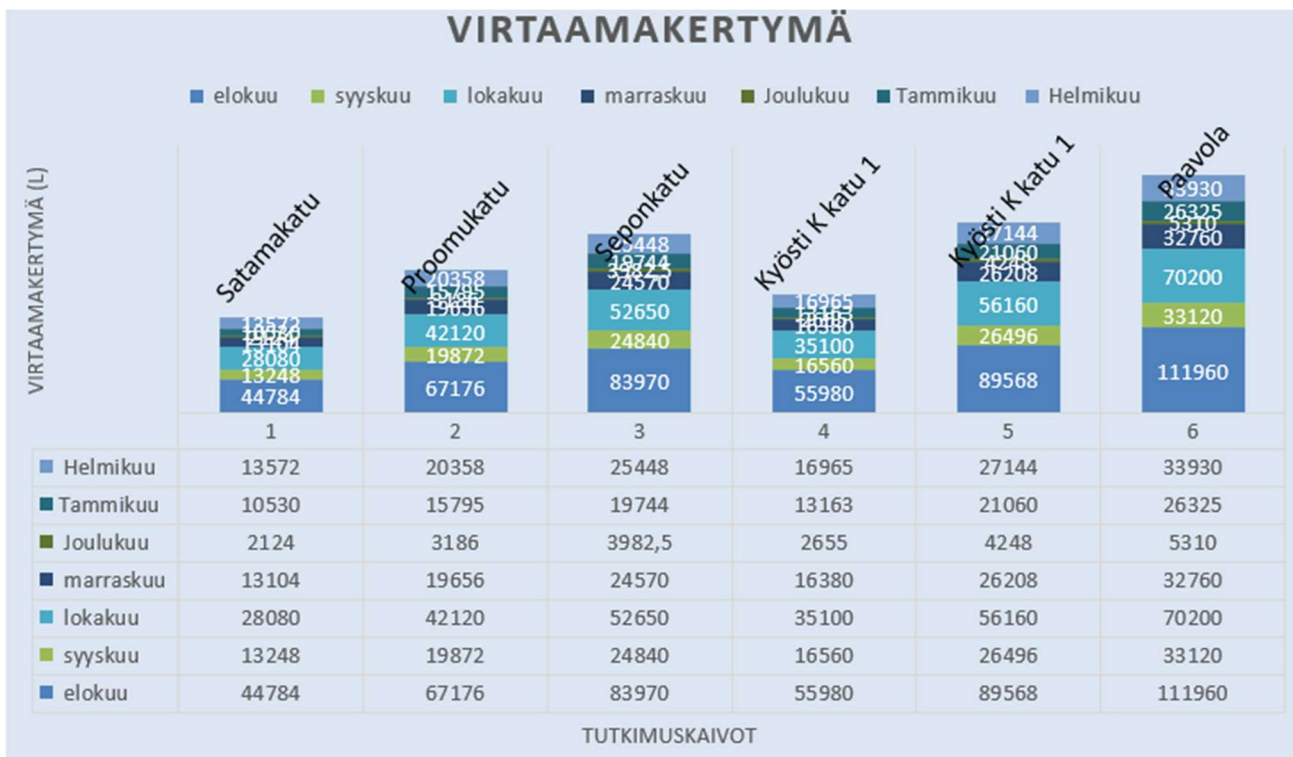
Suodattimien kiintoainekertymän ja virtaamien (Kuva 12) perusteella voidaan optimoida suodattimien silmäkokoa ja huoltoväliä tuotekehitystä ajatellen sekä analysoida ja arvioida tutkimusalueiden kiintoainepitoisuuksia.



Kuva 10. Kaivosuodattimiin kertynyt kiintoaineen määrä Lahden kuudella tutkimuskohteella.



Kuva 11. Kaivosuodattimilla (suodatinverkon reikäkoko 0,23mm) poistetun kiintoaineen partikkelikokojakauma.



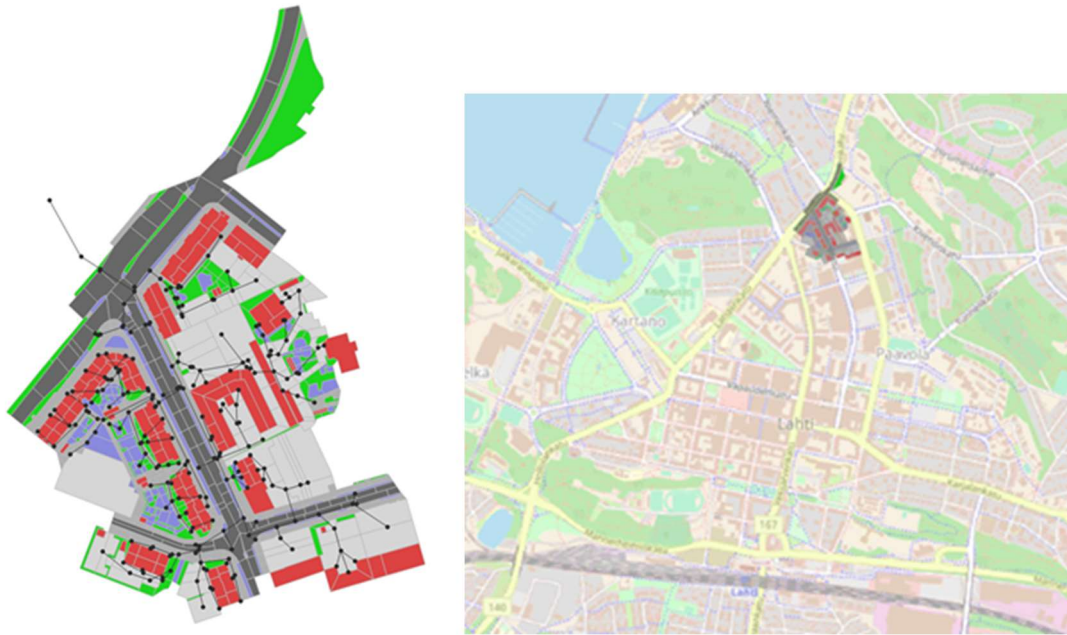
Kuva 12. Kaivosuodattimien valuma-alueen virtaamakertymät. (Lumimäärästä arvioitu 50 % sulaneen hulevesivirtaamaksi)

4.4 Aalto yliopisto, valuma-aluemalli kaivosuodattimien vaikuttavuudesta ja kustannustehokkuudesta

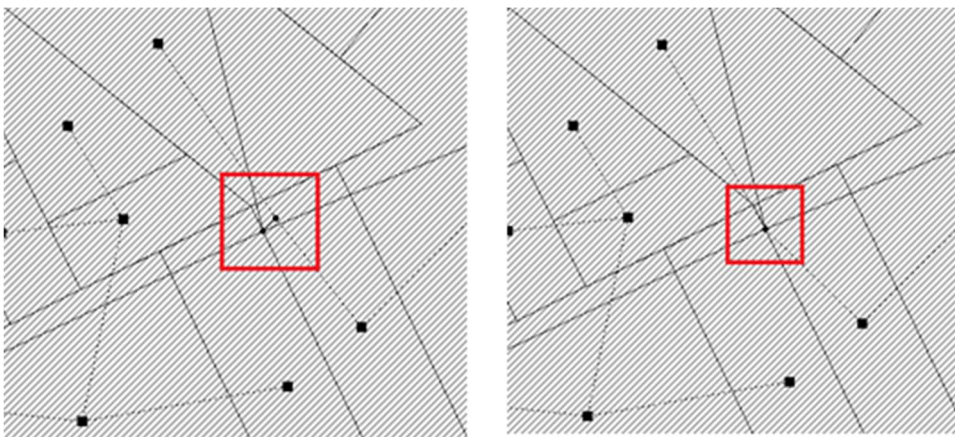
SWMM mallin parametrisointi kaivosuodattimien mallintamista varten

Kaivosuodattimien sijoittamista valuma-alueelle arvioitiin laskennallisesti avoimen hulevesimallin SWMM avulla (Stormwater Management Model; Rossman, 2015). SWMM mallin avulla kuvattiin kaupunkialueen hydrologia ja rakennetuilla pinnoilla muodostuvan pintavalunnan määrä sekä pintavalunnan päätyminen hulevesiverkostoon. SWMM kuvasi huleveden keräytymisen hulevesiverkostossa ja purkautumisen ulos kaupunkivaluma-alueen purkupisteestä. SWMM-mallin vedenlaatukomponentti aktivoitiin ja sen avulla tuotettiin laskennallinen kuvaus erityyppisiltä kaupunkipinnoilta hulevesiverkostoon päätyvästä kiintoainekuormituksesta. Vedenlaatumalliin kytkettiin kaivosuodattimien vaikutus siten, että hulevesikaivoihin voitiin laskennallisesti sijoittaa suodattimia, jotka pienensivät hulevesiverkostoon päätyvää kiintoainekuormaa mittauskampanjoiden perusteella määritetyn kiintoainereduktion mukaan. Mallinnuksen tavoitteena oli arvioida kohdealueella kaivosuodattimien sijoittelua ja laskea niiden lukumäärän vaikutusta valuma-alueelta hulevesien mukana purkautuvaan kiintoainekuormitukseen. Nyreen (2022) on kuvannut tarkemmin mallin rakentamisen ja sovelluksen Hulakas-hankkeen kaupunkikohteessa.

Valuma-aluemallinnus toteutettiin Lahden kaupungin keskustassa Taapelinpolun valuma-alueelle, jonka koko on 5.87 ha ja suurin osa, 86% alueesta, on vettä lähes läpäisemätöntä pintaa (Nyreen 2022). Alueella on kerrostaloja, toimistotaloja, katupintoja, parkkialueita ja viherpintaa, jotka on kytketty hulevesikaivojen ja kattojen rännien kautta maanalaiseen hulevesiverkostoon. Alueelle oli saatavilla Krebsin (2016) rakentama SWMM-parametrisointi, jossa läpäisevät ja läpäisemättömät homogeeniset pinnat on kuvattu yhteensä 690 osavaluma-alueena (Kuva 13). Hulevesiverkoston kuvaus sisältää 232 solmua ja tärkeimmät 160 hulevesikaivoa ovat mukana mallin parametrisoinnissa. Hulakas-hanketta varten valuma-alueen parametrisointia muokattiin siten, että hulevesikaivojen kautta verkostoon kulkeutuu pelkästään kaivon valuma-alueelta tulevat vedet eikä kaivoon laskennallisesti kulkeudu vesiä verkoston muista osista (Kuva 14). Kun suodattimiin päätyi vesiä vain kaivon osavaluma-alueen pinnoilta, oli mahdollista simuloida kaivosuodattimen toimintaa myös yksittäisissä hulevesikaivoissa.



Kuva 13. Lahden Taapelinpölyn valuma-alueen SWMM-mallin parametrusointi ja alueen sijainti Lahden keskustassa.



Kuva 14. Hulevesikaivojen (musta ympyrä) kytkeytyminen hulevesiverkostoon. Kaivo kytketään verkostoon siten, että sen kautta kulkee vain valuma-alueen pinnoilta (mustien neliöiden ympäröimät alueet) tuleva vesi- ja kiintoainemäärä. Kaivon kautta ei kulje verkoston muista osista vettä tai kiintoainetta.

SWMM-mallin hydrologinen parametrusointi laajennettiin vedenlaadun, tässä tapauksessa kiintoaineen, mallintamiseen. Kiintoainemalli muodostettiin käyttämällä valunnan syntyalueiden tapahtumakonsentraatioarvoja. SWMM laski kaivoihin päätyvän hulevesivalunnan erilaisilta homogeenisilta pinnoilta, joille oli ennalta määrätty aluetyypeittäin muuttuvat kiintoaineen tapahtumakonsentraatiot (*event mean concentrations*; Nyreen 2022). Pintojen tapahtumakonsentraatiot otettiin Tuomelan ym. (2019) suosittelemista arvoista, joita on testattu Espoon Vallikalliosta kerättyä aineistoa vastaan (Taulukko 3). Kertomalla tapahtumakonsentraatiot hulevesivalunnan määrällä tuotettiin osavaluma-alueelta kaivoihin päätyvä kiintoainekuorma. Hulevesikaivon ja siellä olevaan kaivosuodattimeen päätyvä kokonaiskiintoainemäärä saatiin kaivon kytkeytyvien osa-alueiden tuottamien kuormien summana. Mallinnuksen laskenta-aika oli 6 kuukauden jakso toukokuusta lokakuuhun 2009, jolloin Taapelinpölyn

alueella oli tehty hydrologisia ja huleveden laadun veden mittauksia (Krebs et al. 2013, Valtanen et al. 2014). Mallin syötetietoina käytettiin 1 minuutin aikaresoluutiolla valuma-alueella mitattua sadantaa ja muuta päivittäistä sääaineistoa Lahden Launeen sääasemalta.

Mallilaskelmissa kaivosuodattimien tehokkuus asetettiin hypoteettiseen arvoon 91.7%, joka vastasi aiemmin laboratorio-olosuhteissa mitattua suodattimen poistotehokkuutta kiintoainekselle, jonka pienin partikkelikoko oli luokkaa 0.125 mm (Antikainen and Koskenlahti, 2019). Lisäksi työssä demonstroitiin valuma-alueen kiintoainekuormituksen vähenemistä Lahdessa kenttäolosuhteissa mitattua 63%:n tehokkuutta käyttäen. Koska mallinnuksessa oletettiin vakioimuotoinen kiintoaineen poistotehokkuus, tulokset ovat tehokkuuden suhteen lineaarisia siten, että kaivosuodattimien tehokkuuden muuttaminen näkyy samassa suhteessa lasketussa kiintoainekuormassa.

Kun veden määrää ja laatua kuvaava malli on muodostettu, voidaan valitulla laskentajaksolla määrittää jokaiseen hulevesikaivon tuleva kiintoainemäärä ja sitä kautta jokaisen hulevesikaivon osuus koko Taapelinpolun valuma-alueen kiintoainekuormasta. Oletuksena on näin ollen kiintoaineen konservatiivinen kulkeutuminen ilman häviöitä kaivoista valuma-alueen purkupisteeseen. Tuloksissa hulevesikaivojen vaikutus kiintoaineen poistumaan asetettiin suuruusjärjestykseen, minkä perusteella määritettiin kaivot, joissa suodattimien vaikutus valuma-alueen kokonaiskuormitukseen on suurin. Kaivojen laskennalliset suodattimet poistavat kiintoainetta nieluun, josta kiintoaine ei enää palaa mukaan laskentaan. Nieluun päätyvää kuormitusmäärää voidaan seurata, jolloin päästään arvioimaan myös kaivosuodattimien ylläpidon tarvetta. Kaivojen puhdistustarvetta arvioitiin työssä olettamalla kaivojen kapasiteetiksi 40 kg yhtä kaivosuodatinta kohden.

Nyreen (2022) testasi mallin toimivuutta laskemalla valuma-alueelta purkautunut kiintoainekuorma ja vertaamalla kuormaa samalle aikavälille estimoituun referenssiarvoon. Referenssiarvo perustui Tuomelan (2022) tuottamaan laskentatulokseen SWMM-mallilla, jonka hän oli kalibroinut hulevesivirtaaman ja kiintoainekonsentraation mittausten perusteella tuotettua kuormitusestimaattia vastaan. Lisäksi Nyreen (2022) toteutti teknistä validointia kaivosuodattimien laskennallisen kuvauksen konsistenssin varmistamiseksi.

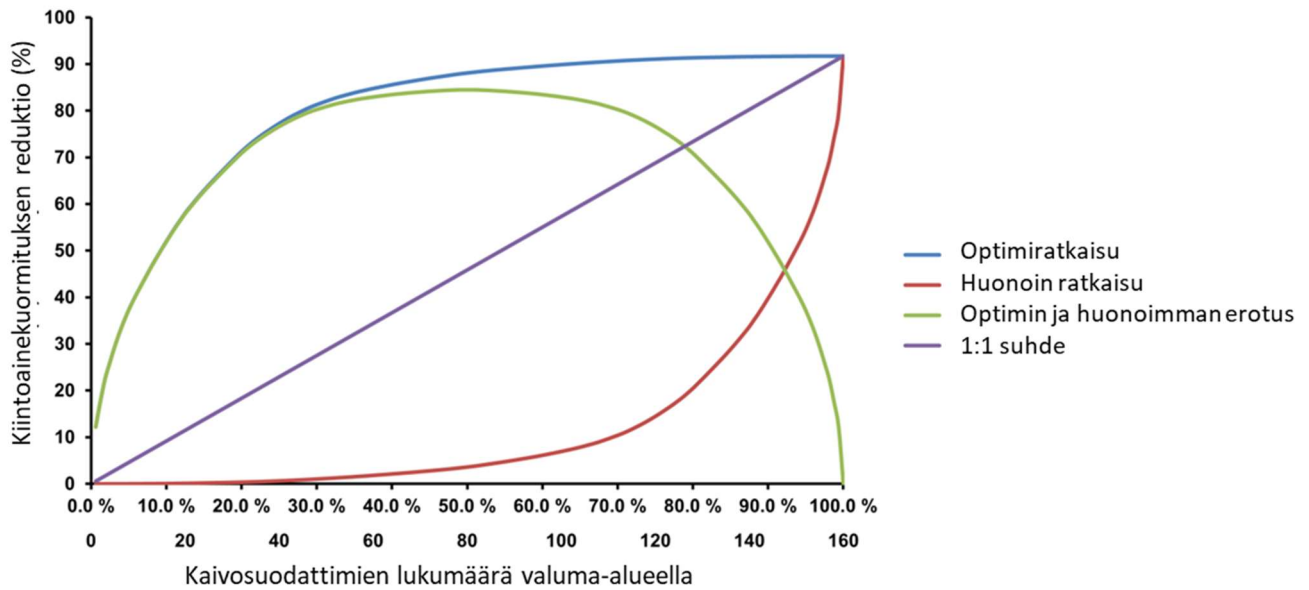
Taulukko 3. Tuomelan ym. (2019) suosittelemat tapahtumakonsentraatioarvot (*EMC – event mean concentration*) erilaisille kaupunkialueen pinnoille.

Lähdealue	Kiintoaineen konsentraatio (EMC) mg/l
Parkkipaikka	150
Päällystetty kevyen liikenteen väylä	7.4
Tie	163
Katto	43
Avokallio	11
Kivi/tiilipäällyste	15.8
Hiekka/sorapinta	33.7
Kasvusto	12

Kiintoainekuormituksen ja kaivosuodattimien valuma-aluemallinnuksen tulokset

Kiintoaineksen laskennallinen poistuma kasvaa nopeasti, kun suodattimia asetetaan kaivoihin, joihin tulee suurimmat määrät kiintoainetta huleveden mukana (Kuva 15). Kaivosuodattimet on asetettu kuvan vaaka-akselilla järjestykseen siten, että kaikkein suurimman määrän kiintoainetta keräävät kaivot ovat akselin

vasemmassa päässä ja kaikkein vähiten kiintoainetta keräävät suodattimet ovat akselin oikeassa päässä. Eri käyrien mukaan valuma-alueen reduktio kasvaa nopeasti kaivojen määrän lisääntyessä ja voi saavuttaa maksimissaan yksittäisen suodattimen reduktiotehokkuuden, joka kuvassa on 91.7%. Kuvan mukaan jo 10–20 eniten kiintoainetta keräävillä kaivosuodattimella voidaan saada aikaan merkittävä reduktio valuma-alueetasolla, mikä osoittaa sen, miten kiintoainekuormituksen hallinta on vaikuttavinta sellaisilla osavalmu-alueilla, joilla tapahtumakonsentraatiolla on suuri arvo (Taulukko 3) ja joilla alueen koon takia (Kuva 13) muodostuu paljon kiintoainekuormitusta. Toisaalta kuva havainnollistaa, miten suuri osa valuma-alueen kaivoista kerää vain vähäisessä määrin kiintoainetta, jolloin näihin kaivoihin sijoitetuilla suodattimilla on vain vähäinen merkitys kiintoaineen kokonaiskuormitukseen.



Kuva 15. Valuma-alueelta purkautuvan kiintoainekuorman reduktio kaivosuodattimien suhteellisen osuuden ja lukumäärän suhteen. Yksittäisen kaivon 91.7% suodatustehokkuus on Watecon yhteistutkimuksissa saama tulos karkealle kiintoainekselle.

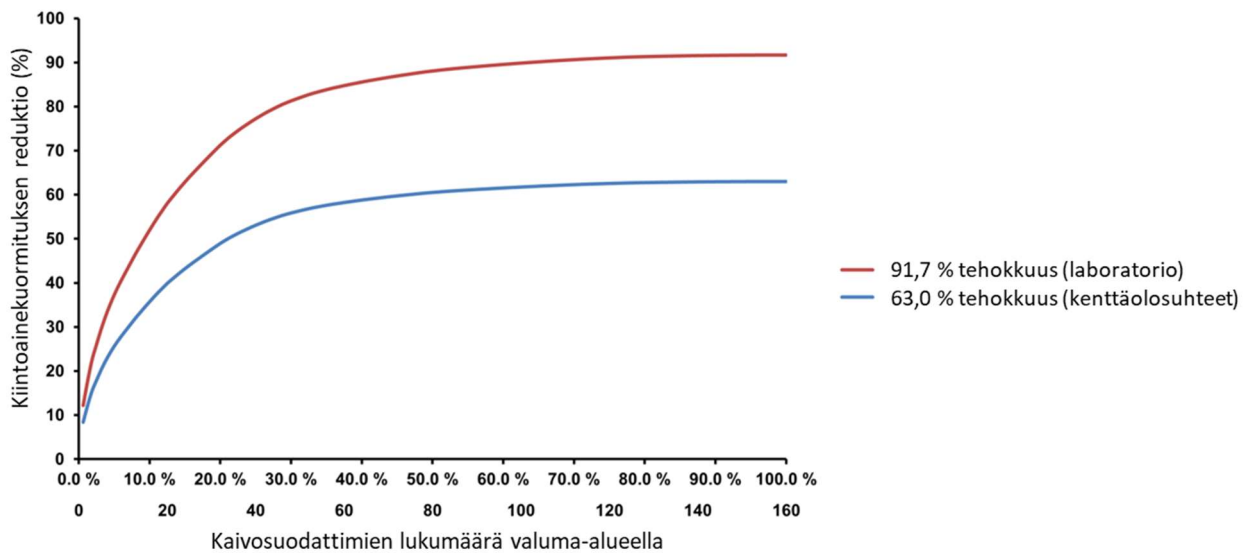
Taulukko 4 listaa optimaalisesti sijoitettujen kaivosuodattimien vaikutuksen kiintoainekuormaan erilaisilla kaivomäärillä. Kaivojen määrän kasvaessa yksittäisen kaivon tuoma lisäarvo kuormituksen vähentämiselle pienenee. Valitsemalla kaivojen sijainnit optimaalisesti voidaan merkittävästi vaikuttaa kuormitukseen vain pienellä määrällä. Yhden kaivojen keskimääräinen vaikutus valuma-alueen kuormituksen vähentämiseen oli 0.57%. Neljännos kaivoista (26%) vaikutti keskiarvoa enemmän kuormitukseen, kun taas kolme kaivoa neljästä vaikutti vähemmän.

Taulukko 4. Kaivojen määrän vaikutus kiintoainekuormitukseen optimaalisessa ja huonoimmassa tapauksessa.

Kaivomäärä	Optimiratkaisun reduktio (%)	Huonoin ratkaisu reduktio (%)	Suodattimien valuma-alueosuus optimissa (%)
10	41,3	0,0	36,5
20	58,0	0,1	50,1
50	82,0	1,2	75,6
100	89,9	7,0	88,6

Kaivosuodattimien vaikutus on mallissa tehtyjen oletusten perusteella skaalautuva siinä mielessä, että suodattimen tehon muutos heijastuu suoraan kiintoainekuormitukseen (Kuva 16). Kaivojen optimaalinen sijainti pysyy samana. Jos erilaisilta alueilta tuleva kiintoainekuormituksen laatu vaihtelee ja sillä on

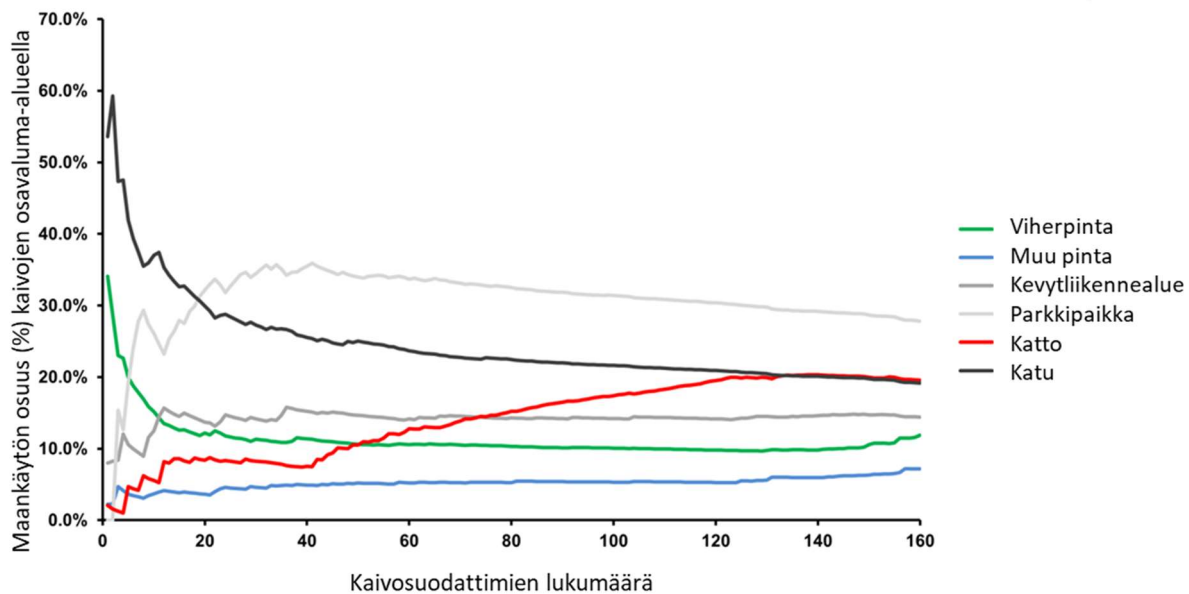
vaikutusta suodattimien puhdistustehokkuuteen, kaivojen optimaalista sijaintia koskeva tulos muuttuisi vastaavasti. Jos valumaveden määrä on konsentraation sijasta kuormituksen määräävä tekijä, tulokset pysyvät skaalautuvina Kuvan 16 mukaisesti.



Kuva 16. Valuma-alueelta purkautuvan kiintoainekuorman reduktio kaivosuodattimien suhteellisen osuuden ja lukumäärän suhteen. Yksittäisen kaivon 91.7% suodatustehokkuus on Watecon yhteistutkimuksissa saama tulos karkealle kiintoainekselle.

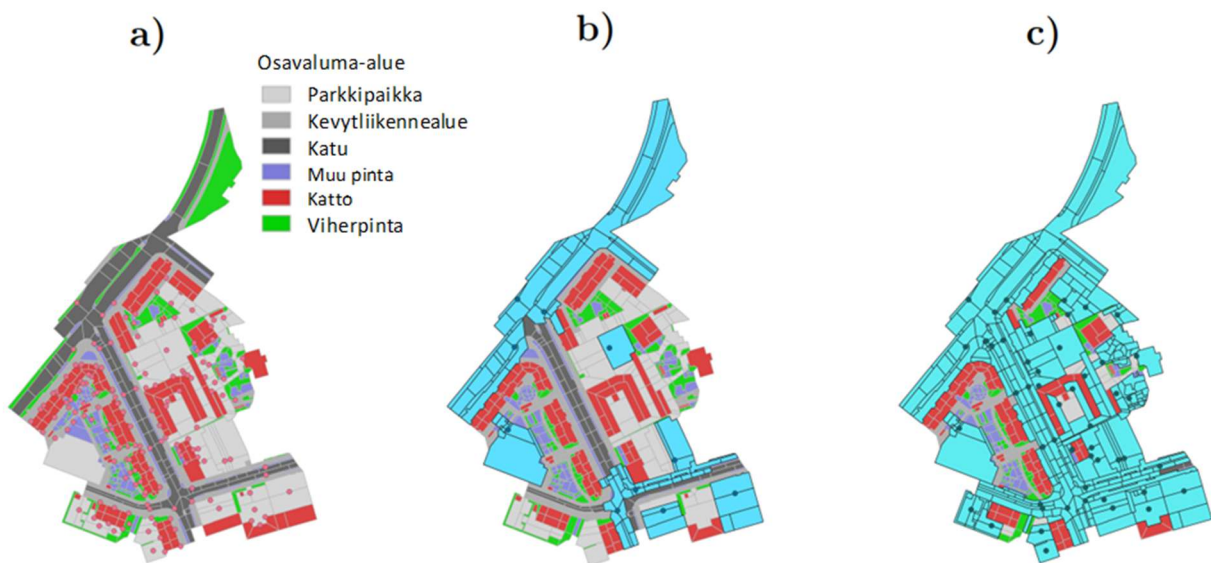
Kaupunkialueen maankäyttö ja maanpintatyytit heijastuvat suoraan kaivokohtaisiin kuormitukseen sillä mallilaskennassa käytetty kiintoainekonsentraatio vaihtelee suuresti alueiden välillä (Taulukko 3). Kuva 17 osoittaa kaivokohtaisten osa-valuma-alueiden maankäytön samassa järjestyksessä kuin Kuvissa 15 ja 16, eli kuormitusvaikutuksen mukaisessa suuruusjärjestyksessä.

Suurimman kuormitusvaikutuksen kaivojen osavaluma-alue on pääosiltaan katualuetta ja viheraluetta, mikä heijastaa läpäisemättömältä katualueelta muodostuvan suurehkon pintavaluntamäärän ja korkean kiintoainekonsentraation merkitystä kuormituksessa. Katualueen lisäksi pysäköintialueet ovat kuormituksen muodostumisen ja puhdistustarpeen kannalta tärkeitä. Nämä kaksi aluetta ovat koko valuma-alueella yleisimmät pintatyytit ja samalla kiintoaineen ominaiskonsentraatioiltaan korkeimmat (Taulukko 3). Pienin vaikutus on kattoalueilta tulevilla hulevesillä, sillä katoilta tulevan veden kiintoainekonsentraatio on verraten pieni ja suuri osa katoista on valuma-alueella kytketty oman kaivon kautta suoraan hulevesiverkoston.



Kuva 17. Maankäytön osuus kaivosuodattimien yläpuolisesta osavaluma-alueesta eri kaivosuodatinmäärillä. Osavaluma-alue käsittää alueet, joilta purkautuvat vedet käsitellään kaivosuodattimissa. Vaaka-akseliin vasemmassa päässä sijaitsevat puhdistusvaikutukseltaan parhaat kaivot ja vaaka-akselin oikeassa reunassa pienimmän puhdistusvaikutuksen kaivot. Maankäyttömuotojen suhteellinen osuus kuvan vasemmassa reunassa koskee yhden kaivon osavaluma-aluetta ja kuvan oikeassa reunassa kaikkien 160 kaivon koko valuma-aluetta.

Kuvan 18 kartat visualisoivat kaivojen ja niiden osavaluma-alueiden sijainnit optimaalisen sijoittelun esimerkeissä. Kuvista näkee miten katualueiden kaivot ovat vaikutuksiltaan suurimmat ja miten kaivojen lisääminen pysäköintialueille on vaikutusten suhteen tehokkainta. Kun suodatinkaivoja on mukana 50, kattoalueet ovat suurilta osin suodattimien ulkopuolella, sillä katot on useimmiten kytketty oman kaivon kautta hulevesiverkostoon. 10 optimaalista suodatinkaivoa kerää hulevedet 36 % alalta koko valuma-alueelta ja 50 kaivoa 76 % alalta.



Kuva 18. Kaikki kaivot (ympyrät kartalla) ja kaivokohtaiset osavaluma-alueet (a), 10 kaivoa ja aluetta (sininen), joilla suurin kuormitusvaikutus (b) ja 50 kaivoa ja aluetta, joilla suurin vaikutus (c).

Kaivosuodattimien pidättämän kiintoaineen laskennallinen kokonaismäärä 6 kuukauden laskenta-ajan kuluessa jäi kaikissa suodattimissa alle kapasiteetin 40 kg. Viisi kuormitusvaikutuksiltaan suurinta kaivosuodatinta poisti laskenta-aikana enemmän kuin 20 kg kiintoainesta.

Tulokset Taapelinpolun keskusta-alueelle heijastavat suoraan pinta-alaltaan suurimpien ja kaikkein kuormittavimpien maankäyttömuotojen, eli katujen ja pysäköintialueiden merkitystä. Kaivojen optimaalisen sijoittelun voisi tässä tapauksessa muodostaa ilman mallia kunhan yksittäisten kaivojen valuma-alueet ja niiden maankäyttötyyppi on tiedossa. Mallin lisäarvo on kaivojen toiminnan simulointitulokset erilaisissa sääolosuhteissa ja valuntatilanteissa, jolloin mallilla voidaan tuottaa mille tahansa aikavälille kuormitusestimaatti mihin tahansa kohtaan valuma-alueen hulevesiverkostoa.

Nyreen (2022) on lisäksi kuvannut optimaalisten kaivojen sijoittumista eri tyyppisille maankäyttöalueille ja arvioinut julkisessa omistuksessa olevien yhteisten alueiden merkitystä tonttialueisiin nähden.

5. Hankkeen vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen

5.1 Hulevesien laadun riskialuekartoitus ja ohje sen toteuttamiseen

Huoli kaupunkien hulevesien laadusta ja niiden vaikutuksista vesistöihin on herännyt viime vuosina useissa kaupungeissa ja kunnissa, myös ulkomailla. Kaupunkitasolla on kuitenkin haastavaa osoittaa, mitkä kohteet tai toiminnot erityisesti heikentävät hulevesien laatua, ja sitä kautta on vaikeaa kohdistaa toimia sinne, missä vaikuttavuus on suurin. Helsingin kaupungin toteutunut hulevesien riskialuekartoitus antaa työkaluja Helsingin kaupunkisuunnittelulle, ympäristö seurannalle ja ympäristönsuojelulle hallintatoimien ja vedenlaatumittausten kohdistamiseen sekä asianmukaisten määräysten ja suositusten antamiseen. Samoin kartoitus antaa viitteitä mitkä vesistöt ja virkistysalueet ovat uhattuina huonolaatuisten hulevesien vuoksi.

Hankkeessa valmistunut opas auttaa muita kaupunkeja ja kuntia aloittamaan hulevesien laadun hallinnan ja tarjoaa tietopaketin huleveden laatuun liittyvistä tekijöistä. Varsinkin pienemmissä kaupungeissa työntekijäresurssit ovat usein pienet, ja luonnonvesistä vastaava henkilö ei välttämättä ole erikoistunut hulevesiin liittyvään problematiikkaan. Ohje tarjoaa monipuolisesti tietoa hulevesien laatuun vaikuttavista tekijöistä ja antaa selkeät ohjeen, kuinka kartoittaa erityiset riskialueet.

5.2 Kaivokohtainen suodatus hulevesien laadun parantamisessa kaupunkialueille, tehokkuus, toimivuus ja vaikuttavuus

Kaivokohtaisen suodatuksen laskennallinen tarkastelu Lahden kaupungin keskustan valuma-alueella osoitti, miten huleveden mukana tuleva kiintoainekuorma muodostui vain osalla valuma-alueella. Hydrologian ja veden laadun mallinnus tuotti arvion alueen hulevesikaivoihin päätyvän kiintoainekuorman määrästä laskenta-ajan kuluessa. Mallitulosten perusteella voidaan asettaa suuruusjärjestykseen yksittäisten kaivojen vaikutus koko valuma-alueen kuormitukseen ja näin osoittaa vaikuttavimpien kaivosuodattimien sijainnit. Olettamalla kiintoaineen vähentämistehokkuus kaivosuodattimelle, voitiin laskea kaikkien kaivojen vaikutus valuma-alueen koko kiintoainekuormituksen vähenemiseen. Laskennallinen tarkastelu oli riippuvainen lähdealueiden ominaiskonsentraatioista ja valitusta kaivosuodattimen tehokkuudesta, mikä vaikutti

suoraan lasketun kuormitusestimaatin suuruuteen. Kaivosuodattimien tärkeysjärjestys oli kuitenkin suhteellisen vähän riippuvainen konsentraatio- ja pidätysoletuksista, sillä kaivojen osavaluma-alueiden koko ja niiden maankäyttö olivat tulosten kannalta tärkeimmät tekijät. Mallilaskelmien vaikuttavuus perustuu mallin monistettavuuteen uusille alueille. Hulevesimallin (SWMM) soveltaminen on mahdollista uusille alueille, joilta on saatavilla rakennettujen pintojen, kaivojen ja kuivatusverkoston paikkatiedot. Malli tarjoaa läpinäkyvän menetelmän arvioida kaivojen tarvittavaa määrää ja optimaalista sijaintia.

Kaivokohtaisen hulevesisuodatuksen käytännön pilotoinnin sekä tehokkuuden määrittämisen mahdollistamiseksi tehtyjen näytteenottojen perusteella arvioituna menetelmä on lupaava ratkaisu tiiviille keskusta-alueille, joilla on rajallisesti mahdollisuuksia tilaa vievien avoimien hulevesien laadullisen hallinnan ratkaisujen soveltamiselle. Hankeajan vähäsateisuudesta johtuen rajallisella määrällä näytteenottoja saadut tulokset ovat kuitenkin suuntaa antavia, ja ne havainnollistavat ensisijaisesti menetelmän vaikuttavuuspotentiaalia sekä sadanta-valuntatapahtumien välisen kuormittavuuden suuria eroja. Näytteenottojen tulokset ovat suodattamattoman huleveden laadun suhteen linjassa aiempien hulevesitutkimusten kanssa ja tukevat ajatusta siitä, että rakennettujen alueiden hulevesille on selkeästi olemassa laadullinen käsittelytarve. Mahdollisissa kaivokohtaisen hulevesisuodatuksen laajemman mittakaavan jatkotutkimuksissa tulisi kiinnittää erityistä huomiota sen toimivuuden todentamiseen ennen ja jälkeen suodatusta tehtävillä näytteenotoilla mahdollisimman monipuolista kaupunkirakentamista edustavilla valuma-alueilla.

Valuma-alueiden ominaisuudet ja vuodenaikaisvaihtelut haitta-aineiden esiintyvyydessä tulisikin huomioida menetelmää sovellettaessa; hankkeessa kerätyn seurantatiedon perusteella arvioituna menetelmän soveltamisessa tulisi ainakin alkuvaiheessa keskittyä suuren suodatinmäärän sijaan kuormittavimpien kaivojen ja valuma-alueiden tunnistamiseen ja laadulliseen käsittelyyn. Kuormittavien valuma-alueiden valinnan lisäksi on keskeistä huolehtia siitä, että kaivosuodattimien tehokkuus ei ole alentunut esimerkiksi niiden täyttymisen tai vahingoittumisen seurauksena syksyn ja kevään huippuvirtaamajaksojen aikana. Suodattimien huolto onkin suositeltavaa ajoittaa juuri ennen näitä jaksoja.

6. Riskit ja muutostarpeet

6.1 Hankkeen aikana toteutuneet riskit ja niistä johtuneet muutostarpeet

Hankkeen suunniteltujen toimien toteutusta haittasi hyvin vähäsateinen sää. Hulevesinäytteenotot ovat riippuvaisia sateesta ja valunnasta, joten hyvin vähäsateinen kesäkausi, joka jatkui kuivana syksynä haittasi suuresti suunnitellun näytteenotto-ohjelmien toteuttamista. Vaikka talvi oli runsasluminen, kevättalven aurinkoinen ja kuiva sää sai lumen sulamaan paikoilleen ja haihtumaan paljolti ilmaan, joten runsaan pintavalunnan sulamispäiviä oli vain jokunen. Keväälle suunniteltuja näytteenottoja jouduttiin siirtämään syksyyn, joka valitettavasti sekin oli hyvin vähäsateinen. Kaupungin huleveden laatua mittaavia näytteitä saatiin kuitenkin otettua useita, joskaan ei suunniteltua määrää. Huleveden raekoon selvittäminen oli valitettavasti pakko jättää väliin, koska näytemäärät jäivät hyvin pieniksi ja huleveden kiintoainepitoisuudet olivat alhaisemmat kuin alun perin oli oletettu. Kaivosuodattimiin kertyneestä sakasta saatiin kuitenkin määritettyä myös raekokojakaumaa.

6.2 Palaute muutoksista rahoittajalle

Hankkeen saama jatkoaika mahdollisti laajemman näytteenoton sekä kaivosuodattimien toimivuuden, että Helsingin riskikohteiden vedenlaadun seurannan suhteen. Osa keväälle suunnitelluista näytteenotoista pystyttiin nyt siirtämään loppusyksyyn, mikä helpotti näytteenotto-ohjelman läpiviemistä ainakin osittain.

7. Viestinnän toteutuminen

Hankkeen alkaessa Helsingin kaupunki julkaisi tiedotteen, jossa kerrottiin hankkeesta. Muokattu tiedote lisättiin myös Helsingin kaupungin nettisivuille <https://www.hel.fi/uutiset/fi/kaupunkiymparisto/hulevedet-080621>.

Hankkeelle on julkaistu mini-nettisivut osana Itämerihaasteen sivuja osoitteessa: <http://www.itamerihaaste.net/tyomme/hankkeemme/hulakas>. Nettisivuja tullaan päivittämään sitä mukaa, kun hanke etenee.

Projektikoordinaattori Miitta Rantakari kertoi hankkeesta ja sen tavoitteista Itämeren ympäröivien kaupunkien yhteisessä Baltic Sea City Accelerator Club:in seminaarissa 7.10.2021. Seminaarin järjestivät Itämerihaaste sekä Race for Baltic.

Lahdessa hankkeen toteutuksesta on viestitty Lahden kaupungin omilla some-kanavilla sekä tiedottamalla siitä paikallismedioita. Näkyvyyttä on saavutettu YLE:n paikallis- (radio ja TV) ja verkkouutisissa, jotka kävivät paikan päällä kuvaamassa kaivosuodattimia ja niiden tyhjennystä <https://areena.yle.fi/1-50626722>. Paikallinen YLE:n toimitus on ilmaissut kiinnostuksensa seurata hankkeen etenemistä tutkimustiedon karttuessa erillisellä juttusarjalla.

Hankkeelle suunniteltiin oma logo. Oma logo lisäsi hankkeen näkyvyyttä ja tunnistettavuutta varsinkin hankkeen loppuvaiheessa, kun viestimme tuloksista. Logo tilattiin marraskuussa 2021 suunnittelutoimisto Muuksilta ja on ollut siitä asti käytössä kaikessa hankkeen viestinnässä.

Projektikoordinaattori Miitta Rantakari kertoi hankkeesta ja sen tavoitteista 18.11.2021 Helsingin kaupungin hulevesiryhmälle, joka käsittää 28 jäsentä eri puolilta kaupunkiorganisaatiota. Hulevesiryhmä on avainasemassa erityisesti Helsingin hulevesien laadun riskialuekartoituksen tulosten käyttöönotossa ja levittämisessä.

Hämeen ammattikorkeakoulun Hulvattu hanke järjesti Veden vuoro ohjelman hulevesihankkeiden yhteistapaamisen 15.2.2022 Teamsin välityksellä, jolloin myös HuLaKas –hanke esittäytyi.

Hanketta esiteltiin monipuolisesti FCG:n järjestämässä hulevesikoulutuksessa 29.3.2022, jossa sekä Miitta Rantakarilla, Juhani Järveläisellä, että Juha-Pekka Saarelaisella oli puheenvuorot.

HuLaKaS hanke järjesti 31.5.2022 yhdessä Työkaluja työmaavesien hallintaan –hankkeen sekä Jyväskylän kaupungin Hulva –hankkeen kanssa seminaarin ja ekskursion Helsingissä. Seminaarissa esiteltiin aamupäivän aikana hankkeita ja niiden tavoitteita ja iltapäivällä ekskursio osuudessa käytiin tutustumassa mm. Helsingin kaupungin tunnistettuihin huleveden laatua heikentäviin riskikohteisiin (teollisuusalueet,

lumenläjitys, aluerakentaminen), rakennustyömaan työmaavesien hallintaan, hulevesien hallinnan kannalta hyvin toteutettuun kerrostaloyhtiön piha-alueeseen (Kuva 19) sekä Kauppatorilla koekäytössä oleviin kaivosuodattimiin (Kuva 20) (Mahanpuruja muovista –hankkeen suodattimet, jotka ovat samaa mallia kuin HuLaKaS –hankkeen suodattimet).



Kuva 19. Kerrostalopiha Helsingin Pasilassa, jossa hulevesien imeyttäminen tontille on otettu hyvin huomioon.



Kuva 20. Kaivosuodattimet Kauppatorilla.

Ramboll järjesti yhdessä Jyväskylän kaupungin Hulva -hankkeen kanssa hulevesien laatuun keskittyvän seminaarin sekä jyvaskyläläisille ekskursion Espoossa ja Helsingissä 1.9.-2.9.2022. Miitta Rantakari esitteli ekskursiolla Hulakas -hankkeen hulevesityötä ja kohteita Helsingissä.

Helsingin kaupungin ja Hämeenlinnan kaupungin ympäristöpalvelut pitivät yhteisen seminaarin Hämeenlinnassa 20.9.2022. Miitta Rantakari esitteli seminaarissa Hulakas -hankkeen riskialuekartoitusta.

Hulevesiyhdistyksen järjestämässä Hulevesi 2022 seminaarissa Turussa 29.10.-30.10. hanketta esiteltiin neljässä eri puheenvuorossa [LINKKI OHJELMAAN](#). Hulevesiseminaariin oli ilmoittautunut yhteensä 117 henkeä.

Hankkeen loppuseminaari järjestettiin 1.12.2022 Helsingissä yhdessä toisen Veden vuoro -hankkeen ”Työkaluja työmaavesien hallintaan” kanssa. Seminaariin osallistui 32 henkeä paikan päällä ja Teams -yhteyden kautta 76 ihmistä (Kuva 21). [LINKKI OHJELMAAN](#), [LINKKI ESITYKSIIN](#).



Kuva 21. Loppuseminaarin yleisöä.

8. Talousraportti

Raportointi toteutettiin kolmessa erässä, joista ensimmäinen marraskuussa 2021, toinen kesäkuussa 2022 ja kolmas hankkeen päätyttyä.

Helsingin osalta emme pystyneet toisessa raportoinnissa (marras 2021 - touko 2022) raportoimaan palkkakuluja kuin maaliskuun loppuun, koska siirtyminen uuteen palkanlaskentajärjestelmään huhtikuun alussa sekoitti pahasti koko kaupungin palkanlaskennan. Palkkauksessa oli laajalti virheitä ja puutteita eikä pahasti ruuhkautunut palkanlaskenta pystynyt oikaisemaan virheitä edellisen raportointijakson väliraporttiin. Hankkeen palkat on tilitetty ajalta huhti 2022 - loka 2022 väärältä hankkeelta ja tämä virhe oikaistiin vasta joulukuussa 2022 siirtämällä Hulakas -hankkeelle kuuluneet palkkakulut könttäsamana hankkeen tilille. Tämän vuoksi loppuraportoinnin yhteydessä raportoidaan Helsingin palkkakuluja ajalta huhtikuu 2022 – joulukuu 2022.

Hankkeen ajalla 1.6.2022 - 31.12.2022 raportoidaan seuraavat kustannukset:

Kustannuslaji	Aalto	Watec	Lahti	Helsinki	Yhteensä
Palkat ja sivukulut	26563,80	9303,02	4549,73	24652,17	65068,72
Yleiskustannukset	3984,57	1395,45	682,46	3697,83	9760,31
Matkakulut		1326,45	682,46	309,92	1636,62
Ostopalvelut		351,81	5416,08	33910,39	39678,28
Muut kustannukset					
Yhteensä	30548,37	12376,98	10648,27	62570,31	116143,93
KEHA haetaan	24438,7	61880,49	8518,62	50056,24	89202,05

9. Viitteet

Antikainen, E., Koskenlahti, A. 2019. Testausraportti - Hulevesisuodattimen tutkimus. Technical report, Savonia University of Applied Sciences. URL <https://www.watec.fi/tuotteet/p/filtro>.

Krebs, G., Kokkonen, T., Valtanen, M., Koivusalo, H., Setälä, H. 2013. A high resolution application of a stormwater management model (SWMM) using genetic parameter optimization. Urban Water Journal 10, 394-410.

Krebs, G. 2016. Spatial Resolution and Parameterization of an Urban Hydrological Model: Requirements for the Evaluation of Low Impact Development Strategies at the City Scale. Aalto University. Doctoral Dissertations 78/2016.

Nyreen, C.H. 2022. Assessment of sediment traps for controlling stormwater quality in a heavily urbanized area. Master's Thesis. Aalto University School of Engineering. <https://aalto.fi/handle/123456789/116386>

Rossman, L. 2015. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. URL <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>.

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.

Tuomela, C. 2022. Simulation of TSS using SWMM model calibrated against Taapelinpolku TSS data. Unpublished manuscript.

Valtanen, M., Sillanpää, N. & Setälä, H. 2014. The effects of urbanization on runoff pollutant concentrations, loadings and their seasonal patterns under cold climate. Water, Air and Soil Pollution, 225: 1977. DOI: 10.1007/s11270-014-1977-y.