VESITALOUS

www.vesitalous.fi

2/2019

Irtonumero 12 €

Hulevesien laadullinen hallinta

Kalkkituotteita käytetään vedenkäsittelyssä eri tarkoituksiin. Nordkalkin tuotteet sopivat juomaveden käsittelyyn, jätevedenpuhdistukseen, luonnonvesien, kaivosvesien ja prosessivesien neutralointiin sekä lietteen stabilointiin. Kalkkituotteilla nostetaan veden pH:ta ja säädetään sen kovuutta ja alkaliteettia. Kalkilla voidaan myös saostaa fosforia ja metalleja sekä hygienisoida lietteitä.

KÄYTTÖKOHTEET

- Juomavedet
- Jätevedet
- Prosessivedet
- Kaivosvedet
- Lietteet

www.nordkalk.fi

Nordkalk

Member of Rettig Group

VESITALOUS
www.vesitalous.fi

VOL. LX

JULKAISIJA
Ympäristöviestintä YVT Oy
Annankatu 29 A 18, 00100 Helsinki
Puhelin (09) 694 0622

KUSTANTAJA
Ympäristöviestintä YVT Oy
Tuomo Häyrynen
e-mail: tuomo.hayrynen@vesitalous.fi

Yhteistyössä Suomen Vesiyhdistys ry

ILMOITUKSET
Tuomo Häyrynen
Puhelin 050 5857996
e-mail: ilmoitus.vesitalous@mvtt.fi

PÄÄTOIMITTAJA
Timo Maasilta
Maa- ja vesitekniikan tuki ry
Annankatu 29 A 18, 00100 Helsinki
e-mail: timo.maasilta@mvtt.fi

TOIMITUSSIHTEERI
Tuomo Häyrynen
Puistopiha 4 A 10, 02610 Espoo
Puhelin 050 585 7996
e-mail: tuomo.hayrynen@vesitalous.fi

TILAUKSET JA OSOITTEENMUUTOKSET
Taina Hihkiö
Maa- ja vesitekniikan tuki ry
Puhelin (09) 694 0622
e-mail: vesitalous@mvtt.fi

ULKOASU JA TAITTO
Taittopalvelu Jarkko Narvanne, p. 045 305 0070

PAINOPAIKKA
Forssa Print | ISSN 0505-3838

Asiantuntijat ovat tarkastaneet lehden artikkelit.

TOIMITUSKUNTA

Esko Kuusisto, fil.tri., hydrologi,
Suomen ympäristökeskus SYKE

Riina Liikanen, tekn.tri., vesiasiain päällikkö,
Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

Hannele Kärkinen, dipl.ins.

Annina Takala, dipl.ins.,
Suomen Vesiyhdistys ry.

Saijariina Toivikko, dipl.ins., vesiasiain päällikkö,
Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

Riku Vahala, tekn.tri., vesihuoltotekniikan professori,
Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu

Olli Varis, tekn. tri, vesitalouden professori,
Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu

Erkki Vuori, lääket.kir.tri., professori, emeritus,
Helsingin yliopisto, oikeuslääketieteen osasto.

Lehti ilmestyy kuusi kertaa vuodessa.
Vuosikerran hinta on 60 €.

Tämän numeron kokosi **Juhani Järveläinen**
e-mail: juhani.jarvelainen@lahti.fi

Kansikuva: Juha Tanhua

Sisältö

5 Laadullisen hallinnan merkitys korostuu tulevaisuuden hulevesirakentamisessa
Juhani Järveläinen

HULEVESIEN LAADULLINEN HALLINTA

6 Hulevesien siirto, biosuodatuskäsittely ja suodatusmateriaalien vertailu Lahdessa
Juhani Järveläinen, Kirsi Kuoppamäki ja Mikko Pöysti

12 Uusia hulevesiratkaisuja tiiviissä kaupunkiympäristössä
Sonja-Maria Ignatius, Olli Hakala, Joel Kerkkänen, Kirsi Kuoppamäki, Pietu Pankkonen, Nora Sillanpää ja Leena Sänkiaho

17 Hajautettua huleveden hallintaa Espoon Niittykummussa
Joel Kerkkänen, Nora Sillanpää, Emilia Lehikoinen, Toni Laurila, Kirsi Kuoppamäki, Elina Kalliala, Marjo Valtanen ja Johanna Jalonen

24 Hulevesien hallinnan monikäyttöiset alueet ja vuorovaikutus
Emmi Vesala, Nora Sillanpää, Harri Keinänen ja Timo Nikulainen

30 Lentoaseman hulevesiä käsitellään pian maanalaisessa kosteikossa
Giovanni Chaurand, Nora Sillanpää, Tuija Hänninen, Elina Kauppila, Perttu Hyöty ja Harri Koivusalo

35 Rakennustyömaiden vesienhallinnan keinoja savimailla
Piia Leskinen ja Heidi Vilminko

MUUT AIHEET

40 Hulevesitaksasta alennusta jätevesimaksuihin
Kristel Pynnönen ja Jukka Kero

41 Metallimalmikaivostoiminnan vesistö- ja terveysvaikutusten kokonaisvaltainen riskinarviointi
Anna K. Karjalainen, Johanna Salmelin, Jaana Wallin, Hanna Arola, Jussi VK Kukkonen, Marjo Niittynen, Päivi Meriläinen, Tarja Pitkänen, Ilkka T. Miettinen, Matti T. Leppänen, Marie Korppoo ja Markus Huttunen

45 Verkkomäärät koekalastusseurannassa – Esimerkki koekalastussuunnitelmasta Talvivaaran kaivoksen alapuolisessa vesistössä Sotkamon reitillä
Mika Kurkilahti, Mikko Olin, Jukka Ruuhijärvi, Katja Kulo ja Martti Rask

49 Jokiuoman geometrian ja virtauskentän mittaamisen haasteet ja uudet menetelmät
Linnea Blåfield, Petteri Alho, Hannu Hyyppä ja Elina Kasvi

53 Ajankohtaista

54 Ajankohtaista Vesiyhdistykseltä

56 Liikehakemisto

58 Abstracts

59 Vieraskynä
Tuulia Innala

Seuraavassa numerossa teemana on **Vesihuolto**. Vesitalous 3/2019 ilmestyy **14.5.2019**. Ilmoitusvaraukset **2.4.2019** mennessä.

wavin
SPOTLIGHT

Suomessa tarvitaan
200 milj €
vuodessa vanhenevan viemäriverkoston korjaamiseen

Miten suunnittelet tulevaisuuden kaupunkisi?

Suomessa, jalkojemme alla, vanhenee 45 000 km viemäriverkostoa. Samaan aikaan kaupungistuminen ja kasvavat sademäärät kuormittavat kaupunkiemme infrastruktuuria entisestään. Wavin Spotlight kääntää valokeilan näihin yhteiskunnalle tärkeisiin aiheisiin. Jaamme tietoa ja ideoita, joiden avulla kaupunkiemme muokkaaminen tulevaisuuden kestäviksi voi alkaa nyt.

Lue miten:
www.wavin.fi/spotlight

wavin

Laadullisen hallinnan merkitys korostuu tulevaisuuden hulevesirakentamisessa

Onnistuneilla hulevesiratkaisuilla on suuri merkitys kaupunkiympäristön toimivuuden, kaupunkilaisten elämänlaadun sekä lähivesistöjen tilan kannalta. Hulevesien hallinnassa on Suomessa perinteisesti keskitytty määrälliseen hallintaan eli tulvahaittojen minimoimiseen ja kuivatuksen turvaamiseen tehokkaalla viemäröinnillä. Viime vuosina hulevesien hallinta on kuitenkin ollut murroksessa: etenkin uusilla kaupunkialueilla on siirrytty soveltamaan entistä enemmän erilaisia luonnonmukaisia imeytys-, viivytys ja suodatusratkaisuja, jotka vähentävät perinteisen viemäröinnin tarvetta käsittelemällä hulevesiä mahdollisimman lähellä niiden syntypaikkoja. Näiden ratkaisujen käyttöönotto tiiviisti rakennetussa kaupunkiympäristössä on kuitenkin hidas prosessi, jota voidaan käytännössä toteuttaa pala kerrallaan kaupunkirakenteen uudistumisen yhteydessä.

Tutkimustiedon lisääntyessä hulevesien haitallisia vaikutuksia niiden purkupaikkoina toimiviin lähivesistöihin on kyetty arvioimaan entistä tarkemmin, ja ne on osoitettu merkittäviksi kuormittajiksi mm. rehevöitymistä aiheuttavien ravinteiden, raskasmetallien ja muiden haitta-aineiden osalta. Monissa kaupungeissa hulevesien laadullisen hallinnan tehostaminen onkin nostettu tärkeäksi tavoitteeksi. Vaikka hulevesisektorilla on viime vuosina tapahtunut paljon kehitystä, laadullisen hallinnan tietopohjassa on edelleen suuria puutteita esimerkiksi sovellettavien ratkaisujen ja materiaalien tehokkuuden ymmärtämyksen, käytännön mitoitus- ja kunnossapito-ohjeiden, mallinnuksen käytäntöjen ja laatuvaatimusten suhteen. Nämä puutteet ovat esteenä hulevesien puhdistamisratkaisujen laajamittaiselle ja tehokkaalle soveltamiselle; Suomen Vesiyhdistyksen Hulevesijaoston alkuvuodesta 2019 alan ammattilaisille tekemässä kyselyssä suomalaisen hulevesiosaamisen puutteina nousivat esille erityisesti hulevesien laatuun ja käsittelyyn sekä suunnitteluun, ohjeistukseen ja eri toimijoiden yhteistyöhön liittyvät kysymykset.

Tässä Vesitalous-lehden hulevesiteemanumerossa esitellään Uudenmaan liiton rahoittamassa *Uudet hulevesien hallinnan Smart & Clean ratkaisut* -hankkeessa tehtyjä suunnittelu- ja rakennustoimenpiteitä sekä laboratorio- ja kenttätutkimuksia. Lehden teema-artikkelit tarjoavat ajankohtaisen läpileikkauksen erityiskohteiden hulevesien laadullisen hallinnan ratkaisuista sekä esittävät hankkeen toteutuksen aikana opitun pohjalta suosituksia tulevaisuuden hulevesirakentamiseen. Käsiteltäviä asiakokonaisuuksia ovat uudet hulevesien suodatus- sekä biosuodatusmateriaalit ja -rakenteet, erillis- ja sekaviemäriverkostoon asennettavat puhdistus- ja viivytysratkaisut, hulevesien seurantamenetelmien kehittäminen sekä hulevesien laadullisen hallinnan suunnittelu osana vuorovaikutteisia ja monikäyttöisiä viheralueita.

Hankkeen toteuttaminen sekä uusien hulevesien laadunhallinnan menetelmien soveltaminen ja tutkimus nopeasti toteutetussa projektissa on edellyttänyt laaja-alaisen yhteistyöverkoston perustamista. *Hule S&C* – hankkeessa verkoston ytimen ovat muodostaneet hanketoteuttajat: Lahden, Espoon, Helsingin ja Vantaan kaupungit, Helsingin yliopisto ja Aalto-yliopisto sekä Finavia Oyj. Hankkeen yhteensä seitsemän pilottikohteen toteuttamisessa mukana ovat olleet myös lukuisat muut yhteistyökumppanit, mm. tutkimuslaitokset, hulevesiratkaisuja ja suunnittelua tarjoavat yritykset ja muut sidosryhmät. Hankkeen keskeisenä tavoitteena on ollut kehittää ja toteuttaa menestyksekkäitä ja toimivia hulevesien laadullisen hallinnan ratkaisuja, jotka ovat myös markkina- ja vientikelpoisia ja joiden toimintaa on lisäksi seurattu ja arvioitu käytännössä. Laaja kuntasektorin toimijoita, yrityksiä sekä yliopistoja sisältänyt yhteistyöverkosto on hankkeen valmistelussa ja toteutuksessa osoittautunut erinomaiseksi yhteistyömalliksi.

Muuttuvan ilmaston sekä kaupunkirakenteiden tiivistymisen myötä hulevesikysymykset tulevat olemaan keskeisessä osassa myös tulevaisuuden kaupunkisuunnittelussa. Hulevesien laadullisen hallinnan tietopohjan puutteiden paikkaaminen on tarpeen, jotta näihin haasteisiin pystytään vastaamaan: käytännön oppeja tulee jakaa, eri toimijoiden yhteistyötä tiivistää ja tutkittua tietoa hyödyntää suunnittelutyötä tukevien ohjeiden laatimiseksi. Hankkeessa tehty työ tarjoaa tälle hyvät lähtökohdat.

JUHANI JÄRVELÄINEN
dipl.ins.
e-mail: juhani.jarvelainen@lahti.fi

Kirjoittaja toimii Hule S&C -hankkeen projektikoordinaattorina Lahden kaupungin ympäristöpalveluissa.

Hulevesien siirto, biosuodatuskäsittely ja suodatusmateriaalien vertailu Lahdessa

Lahti pyrkii vähentämään läheiseen Vesijärveen kaupunkialueelta tulevaa hulevesikuormitusta siirtämällä osan keskustan hulevesistä Hennalan kaupunginosaan osana Hule S&C – hanketta rakennettuun käsittelyjärjestelmään. Kokonaisuudessa yhdistetään uutta ja vanhaa hulevesien käsittelyfilosofiaa sekä sovelletaan uudenlaista biosuodatusta. Kasvillisuuden, biohiilen, kevytsoramurskeen, betonimurskeen ja hiekan kykyä pidättää hulevedestä kiintoainetta, ravinteita ja metalleja tutkittiin laboratoriossa toteutetun kokeen avulla.

JUHANI JÄRVELÄINEN
dipl.ins.
e-mail: juhani.jarvelainen@lahti.fi

Kirjoittaja toimii Hule S&C -hankkeen projektikoordinaattorina Lahden kaupungin ympäristöpalveluissa.

KIRSI KUOPPAMÄKI
FT, dosentti
e-mail: kirsi.kuoppamaki@helsinki.fi

Kirjoittaja toimii tutkijana Helsingin yliopiston Bio- ja ympäristötieteellisessä tiedekunnassa Lahden toimipisteessä.

MIKKO PÖYSTI
dipl.ins.
e-mail: mikko.poysti@leca.fi

Kirjoittaja toimii markkinointipäällikkönä Leca Finland Oy:llä

Lahden pohjoispuolella sijaitseva Vesijärvi on kärsinyt pitkään rehevöitymisen mukanaan tuomista ongelmista. Järvellä onkin monikymmenvuotinen kunnostushistoria, jonka aikana sen tila on vähitellen kohentunut monenlaisten kunnostus- ja hoitotoimenpiteiden myötä. Lahden kaupunkialueelta tuleva hulevesikuormitus on tunnistettu merkittäväksi rehevöitymistä aiheuttavan fosforikuormituksen lähteeksi. Pitkäaikaisen hulevesiseurannan tulosten perusteella arvioituna noin 35 % Vesijärven Lahtea läheisimmän Enonselän alueen ulkoisesta fosforikuormituksesta on peräisin kaupungin hulevesistä (Lahden kaupunki 2016). Fosforin lisäksi järveen johdettavat kaupunkialueen hulevedet sisältävät mm. typpeä, raskasmetalleja, kiintoainetta, PAH-yhdisteitä, öljyä, mikromuoveja ja muita haitta-aineita, joita kertyy varsinkin liikennealueilta (Valtanen ym. 2014, Kuoppamäki ym. 2014). Lahden kaupungin tavoitteena on lähivesistöjen hulevesikuormituksen vähentäminen.

Lahden kaupungin hulevesiohjelman mukaan hulevesien syntypaikkakäsittelyä sekä hajautetun hulevesien hallinnan periaatteita tulisi toteuttaa etenkin uudis- ja kunnostusrakentamisessa. Olemassa olevassa kaupunkirakenteessa näiden periaatteiden soveltamisessa on kuitenkin haasteita: tiiviissä kaupunkiympäristössä käytettävissä olevaa tilaa on tyypillisesti vähän ja sen hintataso on korkea. Esimerkiksi kaupunkien keskusta-alueiden hulevesien hallinnan kehittäminen hajautettuja järjestelmiä hyödyntäväksi tapahtuu yleensä pikkuhiljaa kaupunkirakenteiden uudistumisen myötä, ja silloinkin valitettavan usein laskennallisesti tarvittavaa pienemmässä mittakaavassa. Poikkeuksen muodostavat ns. tilaneutraalit ratkaisut kuten hulevesiä vähentävät ja viivyttävät viherkatot, joilla voidaan myös vähentää muihin hallintajärjestelmiin kohdistuvaa mitoituspainetta.

Hajautetussa hulevesien hallinnassa hulevesiä käsitellään paikallisesti mm. läpäisevillä päällysteillä, viher- eli kasvillisuuskatoilla, nurmipainanteilla, sadevesipuutarhoilla ja erilaisilla imeytys- ja suodatusrakenteilla. Hajautettuja hulevesien hallinnan järjestelmiä on mahdollista sijoittaa jo rakennettuun kaupunkirakenteeseen.

Lahden kaupungin keskusta-alueelta Vesijärveen kohdistuvan hulevesikuormituksen vähentämiseksi osa siellä muodostuvista hulevesistä suunnitellaan siirrettäväksi käsiteltäviksi n. 3 km päähän Hennalan kaupunginosaan. Siirto on mahdollinen olemassa olevaa varaviemäriyhteyttä hyödyntämällä, mikä tekee siitä kustannustehokkaan tavan leikata kuormitusta nopeasti. Lahden kaupunki on saanut ympäristöministeriöltä valtionavustusta siirron toteuttamiseen.

Hennalan alue ja sinne rakennettu hulevesijärjestelmä

Länsi-Hennalan alue on osa entistä Hennalan varuskuntaa, joka ennen lakkauttamistaan käytti rakentamatonta aluetta

harjoituskenttänä. Sen asemakaavoitus on suunniteltu aloitettavaksi vuosina 2019–2020. Vuonna 2018 alueelle rakennettiin hulevesien käsittelyjärjestelmä, joka koostuu kiintoainesta poistavasta laskeutusaltaasta, biosuodatuskentästä, kosteikkoaltaasta sekä niitä yhdistävästä uomastosta (**Kuva 1**). Järjestelmässä tullaan käsittelemään sekä Lahden keskusta-alueelta johdettavaksi suunniteltuja että kohteen oman luonnollisen valuma-alueen hulevesiä.

Kuva 1. Hennalaan rakennettu hulevesien käsittelyjärjestelmä ilmakuvassa. (Kuva: Maanmittauslaitos)

Ennen järjestelmän käyttöönottoa sinne istutetun kasvillisuuden annetaan ensin kehittyä noin vuoden ajan. Kasvillisuus ehkäisee eroosiota, parantaa veden kulkeutumista suodatusrakenteiden läpi sekä tehostaa järjestelmän tehokkuutta sitomalla maaperästä mm. ravinteita. Alustavan aikataulun mukaan järjestelmän läpi aletaan johtaa hulevesiä kesällä 2019.

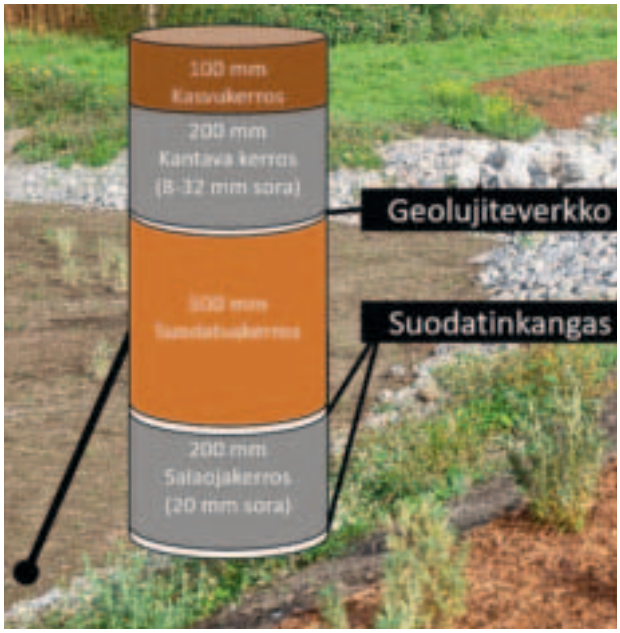
Järjestelmä sijoittuu kehittyvän alueen keskelle, ja hulevesien puhdistamisen lisäksi se toimii ympärille tulevaisuudessa rakentuvan asuinalueen lähivirkistysalueena. Näin ollen järjestelmän suunnittelussa on kiinnitetty erityistä huomiota maisemallisiin ja kunnossapitokysymyksiin.

Biosuodatusrakenteet

Hulevesien käsittelyjärjestelmän ytimen muodostaa kolmeen lohkoon jaettu biosuodatuskenttä (**Kuvat 2 ja 3**). Yhdessä lohkossa on perinteistä suodatinhiekkaa, toisessa kevytsoramursketta ja kolmannessa fosforin poistoon kehitettyä Filtralite P -nimistä erikoiskevytsoramursketta. Suodatuskentän rakenne on esitetty **Kuvassa 4**. Veden liike lohkojen välillä on estetty savesta muotoilluilla jakoseinämillä, minkä lisäksi lohkot on myös salaojitettu erikseen niin, että jokaisesta niistä purkautuvasta suodinvedestä voidaan ottaa vesinäytteitä erillisistä purkuputkista. Näin mahdollistetaan suodatusmateriaalien tehokkuuden vertailu.

Kuva 2. Hennalan biosuodatuskentän kaivuuvaiheessa eri suodatusmateriaaleja sisältävät lohkot toisistaan erottavat saviseinämät ovat hyvin näkyvissä. (Kuva: Ismo Malin)

Paikallisen huleveden kuormitustutkimuksen (mm. Valtanen ym. 2014) mukaan Hennalaan siirrettävästä hulevedestä on erityisen tärkeää saada poistettua etenkin fosforia ja raskasmetalleja. Hulevesissä esiintyvät haitta-aineet, kuten fosfori, metallit ja PAH-yhdisteet ovat tyypillisesti kiintoaineeseen sitoutuneita (mm. Sillanpää 2013, Kuoppamäki ym. 2014). Lisäksi tiedetään, että biosuodatusrakenteet pidättävät kiintoainetta erittäin tehokkaasti (mm. Valtanen ym. 2017), joten biosuodatuksella on mahdollista saavuttaa hyvä puhdistusteho useimpien haitta-aineiden poistossa. Biosuodatuskäsittelyssä on mahdollista käyttää monenlaisia suodatusmateriaaleja. Perinteisin materiaali on puhdas suodatushiekka, mutta tämän hupenevan luonnonvaran rinnalle on syytä hakea vaihtoehtoisia materiaaleja, joita voidaan myös muokata esimerkiksi tehokkaampaan fosforin sitomiseen vaikuttamalla kemialliseen koostumukseen. Suodatusmateriaalien tulisi olla ympäristön kannalta kestäviä, mielellään paikallisesti syntyneitä materiaaleja ja niiden täytyy toimia myös osana elävän kasvillisuuden kasvualustaa. Kasveilla on keskeinen merkitys biosuodatusrakenteen kykyyn johtaa vettä ja poistaa hulevedestä haitta-aineita. Suodatushiekan lisäksi kevytsoraa on käytetty monenlaisissa vedenpuhdistuskohteissa, kuten kotitalouksien harmaavesien hallinnassa. Sen sijaan kierrätysmateriaalien toimivuudesta on toistaiseksi hyvin vähän tutkittua tietoa. Biohiiltä on



Kuva 4. Biosuodatuskentän rakenne.

Biosuodatuksella tarkoitetaan huleveden johtamista ja suodattamista kasvillisuuden peittämien maarakenteiden ja mahdollisesti erilaisten suodatusmateriaalien läpi, jolloin epäpuhtauksia pidättyy biologisten, kemiallisten ja mekaanisten prosessien kautta.

Kuva 3. Biosuodatuskentän täyttövaihetta. (Kuva: Juha Tanhua)

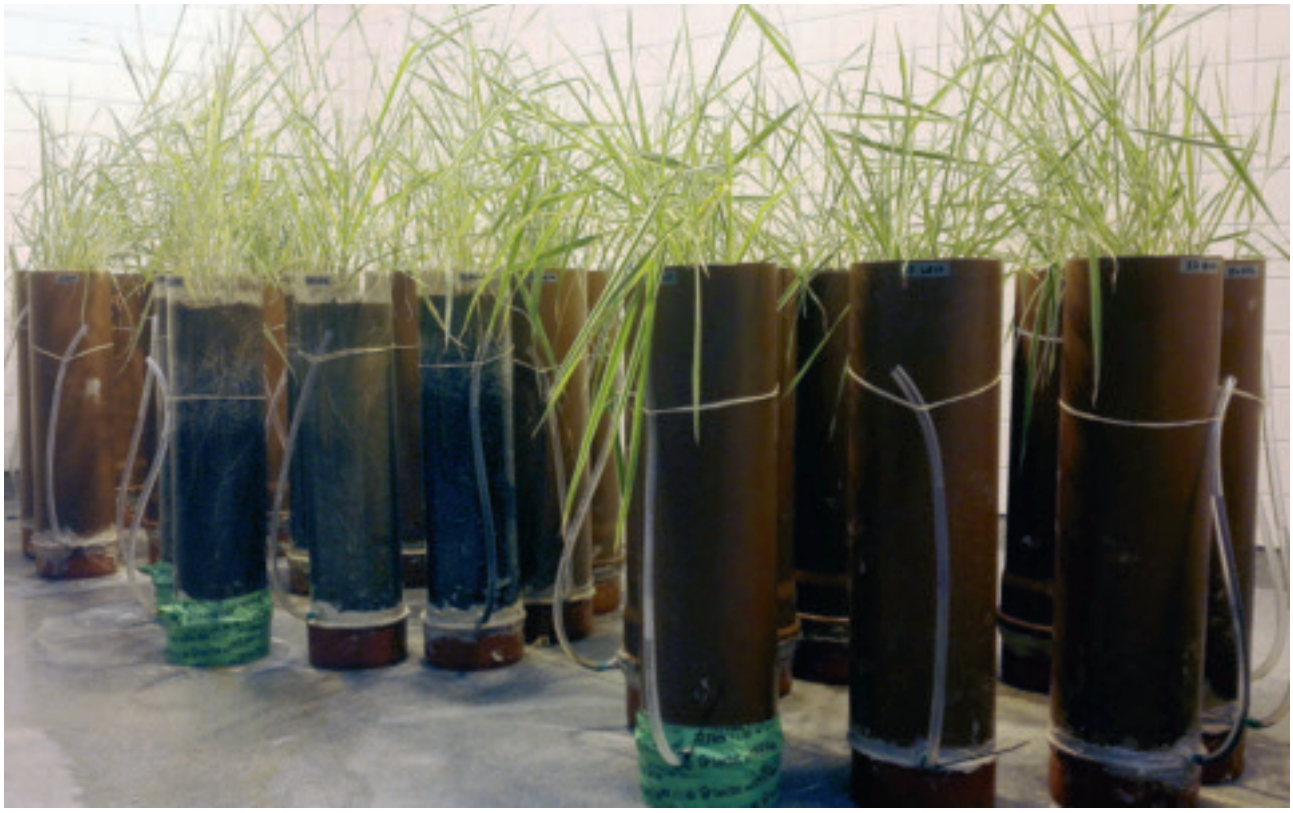
käytetty vaihtelevalla menestyksellä, riippuen biohiilen ominaisuuksista, pidättämään ravinteita maaperään (Shackley ym. 2016) ja viherkatoille (Kuoppamäki ym. 2014), mutta hulevesisovelluksena biohiilestä on vasta niukasti tutkimuksia (Mohanty ym. 2018, Kuoppamäki ym., käsikirjoitus). Betonintuotannossa sivuvirtana syntyvälle murskeelle etsitään hyötykäyttökohteita, joista yksi voisi olla huleveden suodatus, koska alkalisena betoni sitoo tehokkaasti fosforia.

Helsingin yliopiston Lahden toimipisteessä tehdyssä laboratoriokokeessa tutkittiin kontrolloidusti perinteisen hiekan, Filtralite P -erikoiskevytsoran sekä paikallisesti tuotettujen kevytsoramurskeen, kuusipohjaisen biohiilen ja betonimurskeen kykyä pidättää hulevedestä kiintoainetta, ravinteita ja metalleja kasvillisissa (N = 5) ja kasvittomissa (N = 1) biosuodatusrakenteissa (**Kuva 5**). Kasvina kokeessa oli viiruhelpi (*Phalaris arundinacea*). Biohiili sekoitettiin kevytsoramurskeeseen (30 % tilavuudesta). Huleveden imeytyskokeiden jälkeen yhteistyössä prof. Stephan Pflugmacher Liman (Helsingin yliopisto) kanssa tutkittiin mikromuovien pidättymistä kevytsoramurskeella ja hiekkaa sisältävissä käsittelyissä lisäämällä muovia tunnettu määrä veteen sekoitettuna (**Kuva 6**).

Hulevesi biosuodatusrakenteiden kasteluun kerättiin lumena vilkkaasti liikennöidyn kadun varrelta Lahdesta. Se sisälsi erittäin paljon kiintoainetta (n. 5 g/l), jonka kaikki viisi

Kuva 6. Lähikuva koeastiasta, johon on lisätty pimeässä sinisenä hohtavaa mikromuovia, minkä ansiosta muovin kulkua voitiin tarkkailla biosuodatusrakenteissa. Ylhäällä valossa otettu, alhaalla valot sammutettuna otettu kuva. (Kuva: prof. Stephan Pflugmacher Lima)

tutkittua suodatusmateriaalia pidättivät 96–100-prosenttisesti (**Taulukko 1**). Hulevedessä oli runsaasti myös fosforia ja metalleja, jotka olivat pääosin sitoutuneina kiintoainepartikkeleihin. Niinpä myös kokonaisfosfori ja -metallit



Kuva 5. Yleiskuva biosuodatuskokeesta, jossa oli kaikkiaan 30 koeastiaa. (Kuva: Kirsi Kuoppamäki)

pidättyivät hyvin (75–100 %). Liuenneessa muodossa olevaa fosfaattia pidättyi parhaiten Filtralite P -kevytsoraa ja betonimursketta sisältäviin rakenteisiin. Niiden läpi suotautuneen veden pH nousi yli 12, kun muiden käsittelyiden suotoveden pH oli 7-8. Typpeä oli uloshuuhtoutuneessa vedessä yhtä paljon tai hieman enemmän kuin imeytetyssä hulevedessä eli sitä myös huuhtoutui itse rakenteista. Kasvit paransivat typen pidättymistä. Biohiili pidätti typpeä mutta toisaalta siitä huuhtoutui fosforia. Liukoisessa muodossa olevia metalleja hulevedessä oli hyvin vähän verrattuna biosuodatusrakenteista suodattuneeseen veteen, joten osa kiintoaineeseen sitoutuneista kokonaismetalleista muuttui liukoiseen muotoon kulkiessaan biosuodatusrakenteiden läpi. Kannattaa huomata, että partikkeleihin sitoutuneet haitta-aineet voivat yhtä lailla siirtyä liukoiseen muotoon myös vastaanottavissa vesistöissä, ellei kiintoaineen kulkeu-

Taulukko 1. Kiintoaineen, orgaanisen hiilen, ravinteiden ja metallien keskimääräinen pidättyminen (%) eri biosuodatusrakenteisiin. Huleveden kastelukertoja oli kaksi. Jos näiden välillä oli eroja, taulukossa on molempien kertojen keskiarvot (<0 = negatiivinen pidättyminen). Orgaaninen hiili ja kokonaismetallit mitattiin vain ensimmäisen kastelun yhteydessä.

	Lecamurske	Leca+biohiili	Filtralite	Betonimurske	Hiekka
Kiintoaine	100	96-99	99	97-99	98-99
Orgaaninen hiili	54	54	89	24	69
Ravinteet					
Kokonaisfosfori	75-90	52-87	99-100	87-98	95-97
Fosfaattifosfori, PO_4	<0	<0	25-42	17-57	<0-14
Kokonaistyppi	<0	<0-31	<0	<0	<0-37
Nitraatti- ja nitriittityppi, NO_x	<0	83-95	<0	<0	85-96
Kokonaismetallit					
Kadmium, Cd	78	78	87	89	87
Koboltti, Co	98	98	99	98	97
Kromi, Cr	100	99	99	93	98
Kupari, Cu	96	93	99	93	95
Nikkeli, Ni	82	84	78	88	92
Sinkki, Zn	96	98	99	99	97
Alumiini, Al	100	99	100	99	98
Arseeni, As	<0	<0	97	93	89
Lyijy, Pb	98	97	95	88	93

Yritysyhteistyökumppanin näkökulma

Leca-ratkaisuilla on puhdistettu vesiä jo 25 vuoden ajan, ja olemme olleet viime aikoina mukana useimmissa vesienpuhdistusratkaisuja selvittävissä tutkimushankkeissa Suomessa. Tässä projektissa ollaan hyvin konkreettisten ratkaisujen äärellä, koska hankkeessa haetaan tutkimuksiin perustuvista ja toimivista ratkaisuista käytännön kokemuksia rakennettavien kohteiden avulla.

Lahden Hennalaan rakennettu kohde antaa tulevaisuudessa kaikille paljon lisätietoa ratkaisujen toimivuudesta. Olemme hankkeen aikana saaneet laboratoriotuloksia rakennettujen rakenteiden veden puhdistusominaisuuksista ja kokemuksia kentän rakentamisesta. Yliopiston mukana olo suunnitelluissa jatkotutkimuksissa varmistaa, että hulevesikenttään tulevan veden ja siitä vesistöön lähtevän veden tutkiminen on riittävää ja tulokset ovat oikein analysoituja. Ratkaisuja pitää kuitenkin useimmiten soveltaa sekä sovittaa kohteen vaatimusten mukaan, ja uuden tiedon myötä malliratkaisut ja suunnitteluohjeet kehittyvät. Näemme tulevaisuudessakin tärkeänä kehittää uusia ratkaisuja ja ohjeistusta hulevesien hallintaan ja ennen kaikkea niiden puhdistamiseen.

MIKKO PÖYSTI

tumista huleveden mukana estetä esimerkiksi tässä tutkituilla biosuodatusrakenteilla.

Mikromuovia ei tullut rakenteiden läpi lainkaan vaan se kulkeutui kasvien juurikanaviin ja pidättyi sinne. Näiden juurikanavien muodostamien reittien ansiosta kasveilla oli keskeinen merkitys huleveden imeytymisessä: ilman kasveja vettä oli vaikea saada imeytettyä rakenteisiin. Viiruhelpi muodosti suurimman biomassan hiekassa ja kevytsoramurskeessa, mutta niiden kasvu jäi heikommaksi betonimurske- ja Filtralite-käsittelyissä korkean pH:n vuoksi. Kaiken kaikkiaan yksikään tutkittu suodatusmateriaali ei osoittautunut ylivertaiseksi muihin nähden. Jatkossa olisikin syytä tutkia miten esimerkiksi sopivia sekoituksia tekemällä voitaisiin yhdistää eri materiaalien parhaat puolet huleveden puhdistustehokkuuden parantamiseksi ja kasvien elinvoimaisuuden varmistamiseksi. Lisäksi olisi myös syytä selvittää keinoja ei-toivottujen vaikutuksien, kuten korkeaksi kohoavan pH:n ehkäisemiseksi.

Johtopäätökset ja suositukset

Lahden Hennalaan toteutettu hulevesien käsittelyjärjestelmä on esimerkki luonnonmukaisia menetelmiä hyödyntävästä hulevesien laadullisen hallinnan ratkaisusta. Kaupunkirakenteiden tiivistyessä hulevesien käsittelyyn varatuilta alueilta voidaan edellyttää veden kierron säätelyn ja puhdistuksen lisäksi myös muiden ekosysteemipalvelujen tuottamista esimerkiksi virkistyskäytön muodossa. Biosuodatus soveltuu yksinkertaisen toimintaperiaatteensa vuoksi hyvin osaksi monitoiminnallisia viheralueita.

Helsingin yliopiston toteuttamassa biosuodatuskokeessa kaikki testatut suodatusmateriaalit ja kasvillisuus poistivat hyvin haitta-aineita hulevedestä. Kokeen tulokset kasvattavat hulevesien laadullisen hallinnan tietopohjaa uusien suodatusmateriaalien osalta.

Kokeissa verrokkina käytetty suodatinhiekka osoittautui tehokkaaksi, joten sitä voidaan suositella toimivaksi perusratkaisuksi kohteissa, joiden valuma-alueilla muodostuvien hulevesien ei odoteta sisältävän tavallisuudesta suurempia määriä haitta-aineita. Puhdistusteholtaan joidenkin haitta-aineiden osalta tehokkaammat suodatusmateriaalit soveltuvat maankäytöltään haastavien valuma-alueiden hulevesien käsittelyyn. Tällaisia alueita ovat mm. vilkkaasti liikennöidyt tie- ja teollisuusalueet. Jatkossa on syytä tutkia, miten esimerkiksi sopivia sekoituksia tekemällä voitaisiin yhdistää eri materiaalien parhaat puolet huleveden puhdistustehokkuuden sekä biosuodatuksen toiminnalle keskeisen kasvillisuuden menestymisen optimoimiseksi.

Hankkeen aikana ei verrattain lyhyestä toteutusajasta johtuen ole ollut mahdollista selvittää suodatusrakenteiden ja materiaalien käyttäytymistä pidemmällä aikajänteellä. Se, miten pitkään suodatusmateriaalit säilyttävät puhdistustehonsa ja miten rakenteet säilyttävät veden läpäisykykynsä vaikuttaa suoraan niitä hyödyntävien järjestelmien ylläpitokustannuksiin. Myös rakenteissa tapahtuvia biologisia ja kemiallisia prosesseja tulisi pyrkiä ymmärtämään paremmin, jotta niiden vaikutus hallintaratkaisujen toimivuuteen osattaisiin huomioida oikein tulevaisuuden hulevesirakentamisessa.

Kirjallisuus

Kuoppamäki K., Setälä H., Rantalainen A.-H. & Kotze D.J. 2014. Urban snow indicates pollution originating from road traffic. Env. Poll. 195: 56-63.

Kuoppamäki, K., Hagner, M., Lehvävirta, S. & Setälä, H. 2016. Biochar amendment in the green roof substrate affects runoff quality and quantity. Ecol. Eng. 88: 1-9.

Kuoppamäki, K., Hagner, M., Valtanen, M. & Setälä, H. (vertaisarvioitavana oleva käsikirjoitus) Using biochar to purify runoff in road verges of urbanised watersheds: a large-scale field lysimeter study.

Lahden kaupunki, ympäristöpalvelut. 2016. Vesijärven hulevesikuormitus Lahden kaupunkialueelta. Raportti. 11 s.

Mohanty, S.K., Valenca, R., Berger, A.W., Yu, I.K.M., Xiong, X., Saunders, T.M., Tsang, D.C.W. 2018. Plenty of room for carbon on the ground: Potential applications of biochar for stormwater treatment. Sci. Tot. Env. 625: 1644-1658.

Roy-Poirier, A., Champagne, P., ASCE, A.M. & Filion, Y. 2010. Review of bioretention system research and design: past, present and future. J. Environ. Eng. 136: 878-889.

Shackley, S., Ruysschaert, G., Zwart, K. & Glaser, B. 2016. Biochar in European Soils and Agriculture. Routledge, Taylor & Francis Group.

Sillanpää, N. 2013. Effects of suburban development on runoff generation and water quality. Väitöskirjatyö. Aalto-yliopisto. 226 s.

Valtanen, M., Sillanpää, N. and Setälä, H., 2014. Effects of land use intensity on stormwater runoff and its temporal occurrence in cold climates. *Hydrological Processes, 28*(4), pp.2639-2650.

Valtanen, M., Sillanpää, N., Setälä, H., 2017. A large-scale lysimeter study of stormwater biofiltration under cold climatic conditions. Ecol. Eng. 100, 89-98.

Uusia hulevesiratkaisuja tiiviissä kaupunkiympäristössä

Tiiviissä kaupunkiympäristössä tarvitaan uudenlaisia ratkaisuja hulevesien hallintaan. Helsingin kaupunki pilotoi Taivallahdessa suodatusarkkua, jolla puhdistetaan hulevesien haitta-aineita kuten mikromuoveja. HSY:n kanssa puolestaan selvitettiin, sopisiko kelluva ylivuotosäiliö sekavesien viivytykseen Munkkiniemen rannassa.

SONJA-MARIA IGNATIUS
DI, LuK
e-mail: sonjamaria.ignatius@hel.fi

Kirjoittaja on ilmastonmuutoksen hillinnän ja sopeutumisen asiantuntija Helsingin kaupungilla, ja Uudet hulevesien hallinnan Smart & Clean -ratkaisut -hankkeen koordinaattori Helsingissä.

OLLI HAKALA
WSP Finland Oy
e-mail: olli.hakala@wsp.com

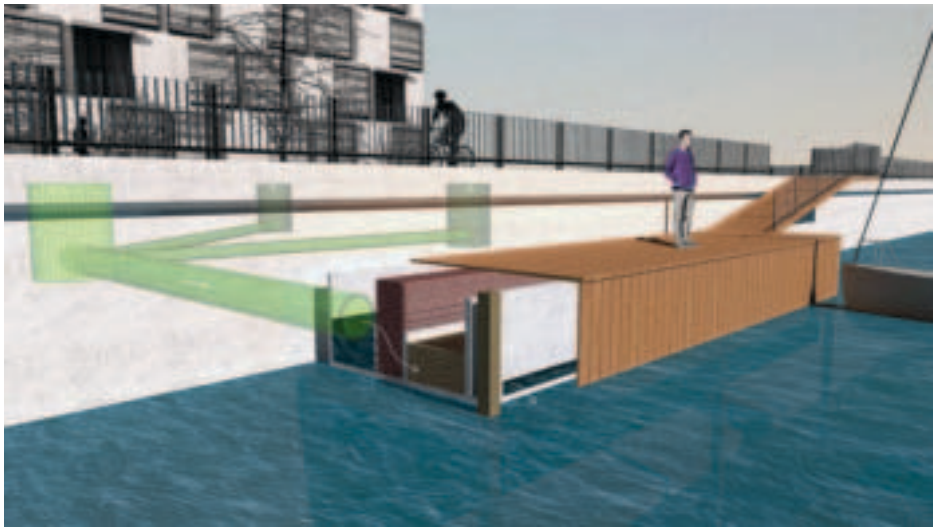
JOEL KERKKÄNEN
Aalto-yliopisto
e-mail: joel.kerkkanen@aalto.fi

KIRSI KUOPPAMÄKI
Helsingin yliopisto
e-mail: kirsi.kuoppamaki@helsinki.fi

PIETU PANKKONEN
Aalto-yliopisto / WSP Finland Oy
e-mail: pietu.pankkonen@wsp.com

NORA SILLANPÄÄ
Aalto-yliopisto
e-mail: nora.sillanpaa@aalto.fi

LEENA SÄNKIAHO
HSY
e-mail: leena.sankiaho@hsy.fi



Kasvavassa ja tiivistyvässä Helsingissä on ilmiselvä tarve hulevesien hallinnalle. Rankkasateiden aiheuttamat hulevesitulvat on tunnistettu yhdeksi merkittävimmistä sää- ja ilmastoriskeistä Helsingissä (Ilmatieteen laitos, 2018). Hulevesien määrän lisäksi on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota hulevesien laatuun. Tärkeä keino vesiensuojelussa on hulevesien laadun parantaminen. Hulevedet halutaan ottaa myös entistä paremmin osaksi viihtyisää kaupunkiympäristöä.

Keskimäärin suomalaiset taajamat tuottavat monikertaisen ravinne- ja kiintoainekuormituksen saman kokoiseen metsäalueeseen verrattuna. Erityisesti tiiviisti rakennetuilla alueilla kuormitus voi olla samaa suuruusluokkaa maatalousalueiden kanssa (Sillanpää, 2013). Vastaanottavan vesistön kannalta keskeisimmät huleveden kuljettamat haitta-aineet ovat kiintoaine, ravinteet, metallit (etenkin raskasmetallit sinkki, lyijy ja kadmium), PAH-yhdisteet ja torjuntaaineet, joita kulkeutuu etenkin liikennealueilta (Ellis & Mitchell 2006). Koska lumi kerää näitä saasteita tehokkaasti katujen varsilla (Kuoppamäki ym. 2014), myös kylmänä vuodenaikana ja lumien sulaessa tapahtuva huleveden hallinta korostuu Suomen olosuhteissa.

Helsingin kantakaupunki on pääosin sekaviemäröityä aluetta, jossa sekä jäte- että hulevedet johdetaan samassa viemärissä Viikinmäen jätevedenpuhdistamolle. Sekaviemäreiden osuus on noin kuusi prosenttia viemäreiden kokonaispituudesta. Sekaviemäreiden ylivuotoja tapahtuu Helsingissä useita kertoja vuodessa. Yhtenä ratkaisuvaihtoehtona ylivuotoihin on sekaviemäreiden eriyttä-

minen, jolla voidaan ehkäistä käsittelemättömien jätevesien päätyminen vastaanottavaan vesistöön. Vaikka huoli jätevesien kulkeutumisesta vesistöihin onkin paikallaan, ylivuotovesissä jätevesien osuus voi olla hyvin pieni. Helsingissä ylivuotovesistä arviolta 95-99 % on hulevettä jätevesien osuuden jäädessä muutamaan prosenttiin (FCG 2018). Eriyttämisen kääntöpuolena voikin olla paikallinen vesistökuormituksen kasvu, mikäli eriyttämisen jälkeen kaikki hulevedet johdetaan ilman puhdistusta lähivesistöön (US EPA 1999). Sekaviemäreistä luopuminen ei välttämättä vähennä hulevesien käsittelytarvetta, joten tiiviissä kaupunkiympäristöön ylivuotojen käsittelyyn tarkoitetut rakenteet parhaimmillaan muuntuvat eriyttämisen yhteydessä hulevesirakenteiksi.

Mikromuovit hulevesissä ja sekavesissä

Mikromuovit ovat tutkimusaiheena verrattain uusi, minkä vuoksi myös niiden määritelmä on vielä muuttuva. Nykyisen käsityksen mukaan mikromuoveiksi luokitellaan kaikki sellaiset synteettiset ja kiinteät muoviyhdisteet (ml. luonnonkumi), joiden koko on 1 µm:n ja 5 mm:n välillä ja jotka eivät liukene veteen.

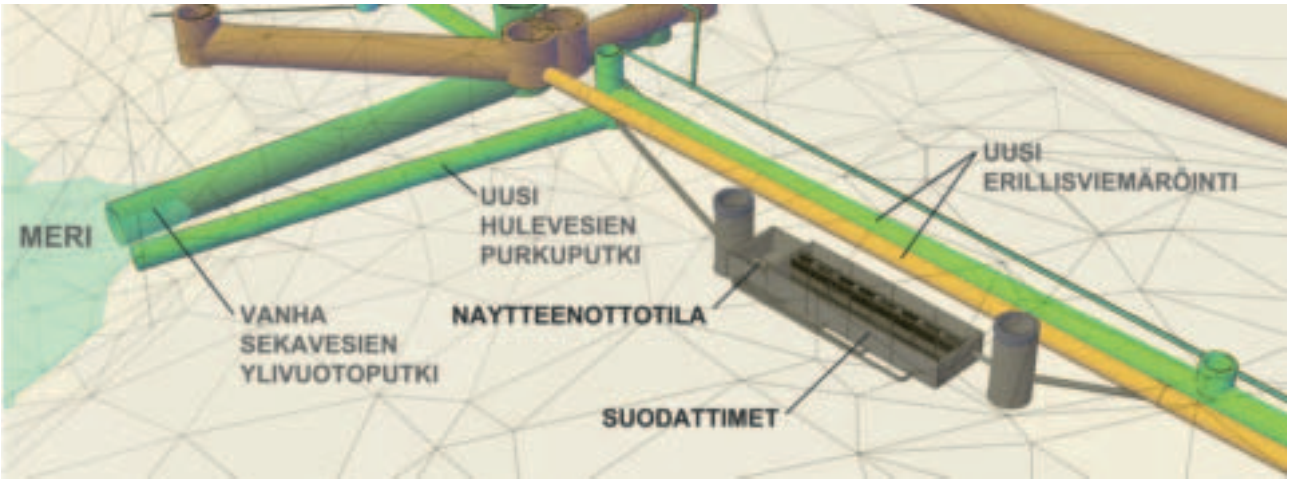
Hulevesien mikromuovit ovat toistaiseksi hyvin vähän tutkittu aihe. Tiedetään kuitenkin, että erityisesti kaupunkiympäristöissä suuri osa mikromuoveista koostuu sekundäärisistä, irtoamis- ja hajoamisprosessin seurauksena muodostuneista partikkeleista. Näihin sisältyvät mm. rengaskumeista irtoavat styreenibutadieeni, polybutadieeni ja luonnonkumi, tiepäällysteistä ja tiemerkinnöistä irtoavat styreenipohjaiset aineet ja tie- ja rengaspölypartikkelit. Sekundääristä hajoamisprosessia edistävät liikenteen määrä, vanhat pinnoitteet ja renkaat sekä talvisin esimerkiksi aurauksen aiheuttama mekaaninen kuluttaminen. On arvioitu, että jopa 20 % renkaan massasta irtoaa sen elinkaaren aikana. Yksittäisellä kaupungin valuma-alueella vesistöön päätyvän mikromuovin määräksi on laskettu jopa 4-7 tonnia vuodessa (Setälä ym. 2017). Kaupunkialueilla siirrytään nykyisin yhä enemmän sekavesiviemäreistä erillisviemäröintiin, jolloin hulevedet päätyvät liki puhdistamattomina vastaanottavaan vesistöön.

Sekavesiin mikromuoveja päätyy muun muassa kosmetiikasta. Pesuveden mukana synteettisistä kankaista irtoaa tyypillisesti muodoltaan kuitumaisia mikromuoveja, verrattuna hulevesien kuljettamiin epäsäännöllisiin ja pyöreisiin muovilaatuihin. Jätevedenpuhdistamoilla jopa 99 % mikromuoveista voi poistua jo primaarikäsittelyvaiheessa.

Hulevesien suodatusarkku

Helsingin kaupunki pilotoi Uudet hulevesien hallinnan Smart & Clean -ratkaisut -hankkeessa Olli Hakalan Aalto-yliopistossa ja WSP Finland Oy:ssa kehittämää hulevesien suodatusarkkua. Suodatusarkku valmistui joulukuussa 2018 ja urakoitsijana toimi VRJ Etelä-Suomi Oy. Kooltaan 8,0 × 2,5 × 1,5 m (p × l × k) suodatusarkku ja siihen liittyvä näytteenottotila rakennettiin Taivallahden rannan purkukohtaan erillisviemäröintiurakoiden yhteydessä, ks. **Kuva 1**.

Suuri osa kuuden hehtaarin valuma-alueen hulevesistä on peräisin Mechelininkadulta, joka on yksi kantakaupungin vilkkaimmin liikennöidyistä kaduista. Toteutettavan ratkaisun tavoitteena on parantaa huleveden laatua ennen purkautumista mereen. Pilotilla saadaan suodatettua vain osa valuma-alueen vesistä. Hakala (2018) on kuitenkin esittänyt diplomityössään Taivallahden rannasta yleissuunnitelman, jossa suodatusratkaisu on mitoitettu koko valuma-alueen vesille.

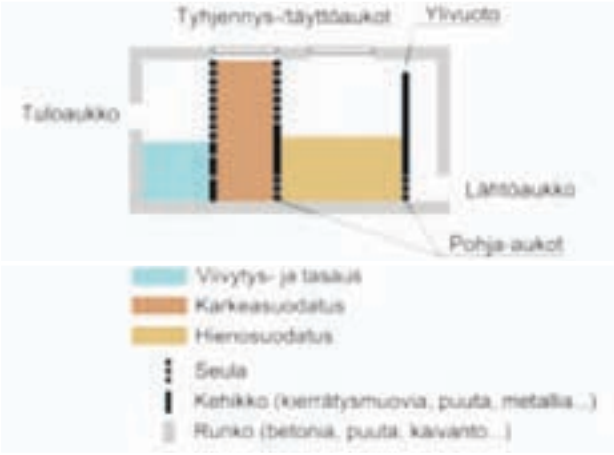


Kuva 1. Suodatusarkkupilotin sijoittuminen Taivallahden rantaan.

Suodatusarkun toiminta

Koska Mechelininkadun alueella ei ole tilaa kasvilliselle biosuodatukselle, päädyttiin maan alle sijoitettavaan hulevesien suodatusarkkuun. Siinä huleveden puhdistus perustuu lähinnä fysikaalisiin ja kemiallisiin prosesseihin. Suodatusarkun karkeasuodatin on 8-20 mm kevytsoraa. Pilotissa päädyttiin testaamaan kahta suodatinmateriaalia, biohiiltä ja suodatushiekkaa. Testattaviksi materiaaleiksi valittiin helposti saatavilla olevia ja edullisia materiaaleja, joista on aikaisempaa kokemusta ja tutkimusta.

Suodattimen puhdistusprosessi on kolmiosainen: viivytys-/laskeutusallas tasaa ja hajauttaa virtaaman (1) ennen karkeasuodatinta (2), mistä vesi ohjautuu hienosuodattimeen (3), ks. **Kuva 2**. Vesi virtaa hienosuodattimen läpi joko horisontaalisesti ja/tai vertikaalisesti painekorkeuden mukaan. (Hakala 2018)



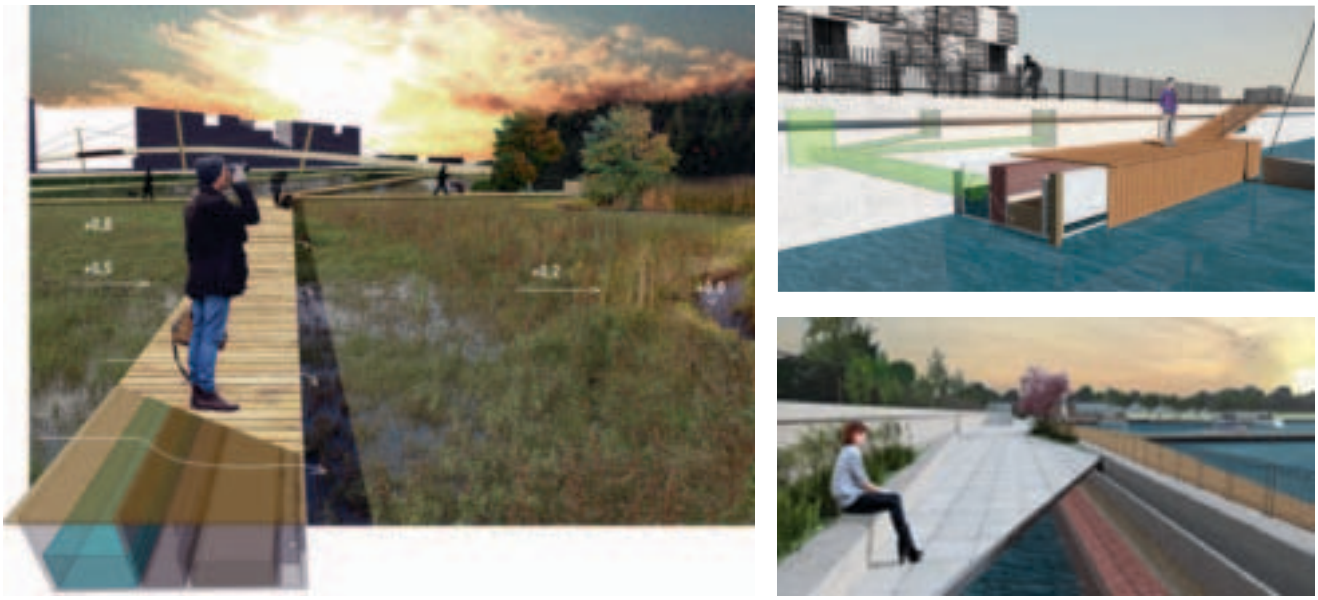
Kuva 2. Hulevesien suodatusarkun tyyppipoikkileikkaus.

Suodatusarkun virtaamaa ohjaavat osastointien väliset padot ja aukotukset. Ne on suunniteltu siten, että hydrauliikka seuraa sadetapahtuman laatua ja määrää: ensihuuhtoumalla on pisin suotomatka, vallitsevalla painekorkeudella monta virtauskanavaa ja huippuvirtaamalla lyhin reitti minimaalisella painehäviöllä.

Taivallahden pilotti on maan alle sijoitettava betoni- ja kierrätysmuovielementeistä kasattava suodatusarkku. Sovelluksia on kuitenkin monia. Konsepti voidaan toteuttaa poikkileikkaukseltaan ja rakennusmateriaaleiltaan eri tavoin, esimerkiksi avoimena biosuodatuspenkereenä, johon on liitetty viherinfraa. Hakala (2018) onkin diplomityössään tuonut esiin hulevesirakenteiden kaupunkikuvallisia mahdollisuuksia ja korostanut sitä, ettei hulevesiä tule nähdä vain ongelmana. Kustannusten kannalta suositeltavaa olisi integroida suodatin ja viivytysaltaat muiden katu- ja rantarakenteiden yhteyteen, jolloin ne voisivat myös kutsua kaupunkilaisia veden äärelle, ks. **Kuva 3** (Hakala 2018). Hankkeessa teetettiin myös selvitys siitä, soveltuisiko suodatusarkun kaltainen rakenne sekavesien käsittelyyn.

Tulevat tutkimukset

Hulevesien suodatusarkun toimintaa monitoroidaan kevään 2019 aikana. Hulevesien käsittelyrakenteiden tutkimuksessa on tärkeää, että sekä rakenteisiin menevän ja rakenteesta lähtevän veden laatua ja virtaamia tutkitaan riittävällä tarkkuudella. Parhaimmillaan tutkimus kattaa useita eri sade- ja sulantatapahtumia, sillä huleveden laatu vaihtelee huomattavasti tapahtumasta toiseen.



Kuva 3. Esimerkkejä suodatusratkaisun sovelluksista jotka sovitettu kaupunkikuvaan: vasemmalla kosteikkoon yhdistetty suodatuskannas, oikealla ylhäällä suodatuslaituri ja alla suodattava rantamuuri. (Hakala 2018)

Suodatusarkussa mitataan huleveden virtaamaa, sameutta, sähkönjohtokykyä, pH:ta ja lämpötilaa jatkuvatoimisesti kahden minuutin välein (**Taulukko 1**). Mittauksia tehdään kolmessa pisteessä: hulevesiarkkuun tulevalle vedelle, hiekan läpi suotautuneelle vedelle ja biohiilen läpi suotautuneelle vedelle. Samoista pisteistä otetaan myös hulevesinäytteitä, joista analysoidaan kiintoaine, ravinteet, PAH-yhdisteet, öljyt ja metallit. Kunkin valuntatapahtuman aikana kerätään käsin useita näytteitä, sillä eri haitta-aineiden pitoisuudet vaihtelevat huomattavasti valuntatapahtuman aikana.

Suodatusarkun mittaustulokset julkaistaan myöhemmin vuonna 2019 kahtena Aalto-yliopiston diplomityönä. Suodatusarkun vaikutuksia huleveden laatuun ja virtaamiin tutkii Joel Kerkkänen ja mikromuovien kulkeutumista ja puhdistumista Pietu Pankkonen.

Taulukko 1. Joel Kerkkäsen diplomityössä tehtävien jatkuvatoimisten mittausten ominaisuudet.

Anturi	Parametri	Mittausalue	Resoluutio	Tarkkuus	Aikaväli
EX02-moniparametrianturi	Sameus	0-4000 FNU	0,1 FNU	2% tai 0,3 FNU	2 min
	Johtokyky	0-200000 µS/cm	0,1 µS/cm	± 0,5%	2 min
	Lämpötila	-5…+50°C	0,001°C	0,01°C	2 min
	pH-arvo	0-14 yksikköä	0,01 yksikköä	± 0,1 yksikköä	2 min
STS-paineanturi	Pinnankorkeus	0-5 m	0,001 m	± 0,1%	2 min
StarFlow -akustinen virtaamamittari	Virtausnopeus	21-4500 mm/s	1 mm/s	2%	2 min
	Pinnankorkeus	0-2000 mm	1mm	± 0,25%	2 min
Vaisala RG13H -sademittari	Sademäärä	Rajoittamaton	0,2 mm	2%	2 min

Suodatusarkun mikromuovitutkimus

Loppuvuodesta 2018 alkaneessa tutkimushankkeessa selvitetään mikromuovien laatua ja määrää vilkkaasti liikennöidyn alueen hulevesissä sekä suodatusarkun eri suodatinmateriaalien tehoa mikromuovien poistamisessa. Mikromuovitutkimuksen tuloksia peilataan samanaikaisesti mitattaviin muihin veden laadullisiin parametreihin ja etsitään korrelaatiota mikromuovien esiintymisestä tietyntyyppisissä olosuhteissa.

Kelluva ylivuotosäiliö

Hankkeessa lähdettiin suunnittelemaan Munkkiniemenrantaan kelluvaa säiliörakennetta, jonne sekaviemärin ylivuotovedet voitaisiin varastoida, kunnes verkoston kapasiteetti antaa myöten. Vastaavia hankkeita on toteutettu esimerkiksi Berliinissä. Säiliön suunnittelusta vastasi Bluet Oy, jolla on kokemusta kelluvista rakenteista. Suunnittelun aikana selvisi, että rakenteen tarvitsemien verkostojärjestelyiden ja ruoppauksen kustannukset olivat huomattavasti ennakoitua suuremmat eikä tarvittavia verkostoja olisi saatu toteutettua hankkeen tiukassa aikataulussa. Kelluvan säiliön todettiin soveltuvan paremmin vesistöihin, joissa vedenpinnan vaihtelu on pienempää kuin merellä.

Hankkeessa opittua

- Aika- ja kustannusarvioissa ei kannata olla optimistinen. Tunnista sopivia pilottikohteita jo ennakkoon. Ennakoi suunnitteluun, lupamenettelyihin ja rakentamiseen kuluva aika. Varaudu kaivunaikaisiin yllätyksiin, kuten pilaantuneisiin maihin. Tutustu alueen olosuhteisiin mahdollisimman hyvin etukäteen.
- Ranta-alueiden kaivannot kannattaa toteuttaa matalan veden aikaan. Suodatusarkun rakentamisen aloitusta hidastivat kaupunkiorganisaation sisäinen järjestäytyminen ja henkilöiden vaihtuminen. Pilottia päästiin rakentamaan vasta myöhään syksyllä, jolloin meriveden pinta oli korkealla. Tämä vaikeutti rakentamista.
- Varmista aina, että kaikilla on sama käsitys siitä, mitä tapahtuu milloinkin ja mitkä ovat deadlinet. Kaupunkiorganisaation ja hankkeen rytmi eivät aina ole helposti yhteen sovitettavissa. Muista, että vaikka itse tunnet hankkeen tarkkaan, kollegasi tai hankkeessa löyhemmin mukana olevat eivät sitä tunne.
- Älä viesti hankkeesta hankkeen takia vaan siitä, mitä siinä tehdään ja miksi se on tärkeää. Mieti tarkkaan, missä vaiheessa eri sidosryhmät tulee ottaa mukaan. Sovi, mitä hankkeen tuotoksille tapahtuu hankkeen jälkeen ja kuka niistä vastaa: esimerkiksi rakenteiden ylläpito, huolto ja seuranta.
- On ratkaisevan tärkeää, että organisaatio on sitoutunut hankkeeseen ja uskoo siihen myös silloin, kun tulee yllättävää takapakkia. Kiitä vaivannäöstä ja anna tunnustusta tekijöille.

Kirjallisuus

Ellis, J.B. & Mitchell, G. 2006. Urban diffuse pollution: key data information approaches for the Water Framework Directive. Water and Environment Journal 20: 19-26.

Hakala, O. 2018. Sateen kaari – Hulevesien suodatusratkaisun virtaustekninen testaus ja soveltaminen Taivallahden ranta-alueiden yleissuunnitelmassa. Aalto-yliopisto, maisema-arkkitehtuuri, diplomityö.

Ilmatieteenlaitos 2018. Sään ja ilmastonmuutoksen aiheuttamat riskit Helsingissä. Pilli-Sihvola K., Haavisto R., Leijala U. Luhtala S., Mäkelä A., Ruuhela R. ja Votsis A. Helsingin kaupunki / kaupunkiympäristön toimiala. Kaupunkiympäristön julkaisuja 2018:6.

Kuoppamäki K., Setälä H., Rantalainen A.-H. & Kotze D.J. 2014. Urban snow indicates pollution originating from road traffic. Env. Poll. 195: 56-63.

FCG 2018. Sekaviemäriverkon ylivuotojen kuormitustarkastelut, yhteenvetoraportti 2017. Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut HSY.

Setälä O., Fjäder P., Hakala O., Kautto P., Lehtiniemi M., Raitanen E., Sillanpää M., Talvitie J. & Äystö L. 2017. Microplastics – a growing environmental risk. SYKE Policy Brief 21.3.2017, Views on Environmental Policy.

Shaheen, S.M., Niazi, N.K., Hassan, N.E.E., Bibi, I., Wang, H., Tsang, D.C.W., Ok, Y.S., Bolan, N. & Rinklebe, J. 2018. Wood-based biochar for the removal of potentially toxic elements in water and wastewater: a critical review. International Materials Reviews, DOI: 10.1080/09506608.2018.1473096.

Sillanpää N. 2013. Effects of suburban development on runoff generation and water quality. Aalto University publication series DOCTORAL DISSERTATION 160/213. 226 s.

US EPA 1999. Combined sewer overflow management fact sheet: Sewer separation. United States Environmental Protection agence, Office of Water, Washington, D.C. EPA 832-F-99-041. Saatavilla: https://www3.epa.gov/npdes/pubs/sepa.pdf.

Hajautettua huleveden hallintaa Espoon Niittykummussa

Hulevesien laadulliseen käsittelyyn tarkoitettujen hajautettujen ratkaisujen laajamittainen soveltaminen kaupunkialueilla edellyttää empiirisesti tutkittua tietoa, jota saadaan mm. mittaamalla pilottirakenteiden toimivuutta. Espoossa asiaan on pureuduttu keräämällä seurantatietoa uusista biosuodatusrakenteista ja kehittämällä innovatiivisia ratkaisuja ja mittausteknologiaa.

JOEL KERKKÄNEN
Aalto-yliopisto
e-mail: joel.kerkkanen@aalto.fi

Kirjoittaja on vesi- ja ympäristötekniikan maisteriohjelman kolmannen vuoden opiskelija Aalto-yliopistossa. Hän tekee diplomityötä huleveden suodatusratkaisuista kaupunkiympäristössä Aalto-yliopistolle sekä Espoon ja Helsingin kaupungeille. Vuonna 2019 valmistuva diplomityö käsittelee Merituulentien biosuodatusrakenteiden lisäksi Helsingin suodatinarkkua

NORA SILLANPÄÄ
TkT, tutkijatohtori,
Aalto-yliopisto
e-mail: nora.sillanpaa@aalto.fi

EMILIA LEHIKOINEN
Espoon kaupunki

TONI LAURILA
Sensmet Oy

KIRSI KUOPPAMÄKI
Helsingin yliopisto

ELINA KALLIALA,
MARJO VALTANEN,
JOHANNA JALONEN
Ramboll Finland Oy

Espoon Niittykumpu on tiivistyvää kaupunkirakennetta, joka rajoittuu lännessä suojeltuun Gräsanojan taimenpuroon. Alueen keskelle sijoittuu vuonna 2018 valmistunut metrokeskus ja sen ohittava vilkasliikenteinen Merituulentie. Gräsanojan valuma-alue on jo nykyisellään tulvaherkkä. Vuosina 2016 ja 2017 Gräsanoja tulvi Niittykummun alueella noin kerran 30 vuodessa tapahtuvassa sadetapahtumassa. Äärevöityneen luonnonuoman ja tiivistyvän kaupunkirakenteen johdosta Niittykummun alueelle tehtiin vuonna 2017 hajautetun hulevesien hallinnan suunnitelma, jonka tavoitteena on vähentää, viivyttää, ohjata ja puhdistaa hulevesiä.

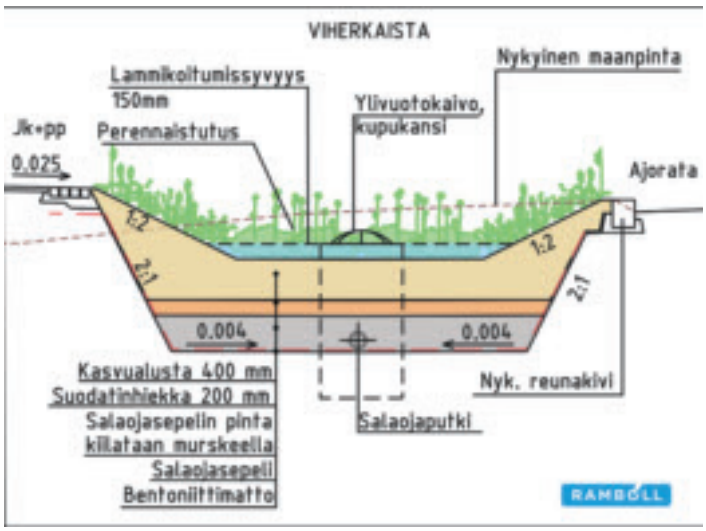
Espoon tarinassa Espoo on vastuullinen edelläkävijä. Tämä tarkoittaa mm. tutkimuksen hyödyntämistä uusissa, kokeilevissa rakenteissa. Kun päätös biosuodatuspainanteiden rakentamisesta tehtiin, päätettiin myös tutkia niiden toimivuutta mm. hulevesien puhdistamisessa. Tutkimustiedolla arvioidaan painanteissa käytettyjen ratkaisujen käyttökelpoisuutta ja monistettavuutta kaupunkirakenteessa. Tutkimustyö voitiin toteuttaa vuoden 2018 aikana *Hule S&C* -hankkeessa. Espoossa tehty hanketyö sisälsi myös suunnitteluosuuden, jonka tavoitteena oli Niittykummun Tonttumuorin kahden koirapuiston välisen hulevesiuoman ja koirapuistojen suunnittelu siten, että kohteeseen löydettäisiin uusia, innovatiivisia ratkaisuja.

Suunnittelun lähtökohdat, tavoitteet ja periaatteet

Biosuodatuksessa hulevesiä ohjataan kasvillisuuden peittämiin rakenteisiin, joissa maarakenteiden läpi suotautuessa epäpuhtauksia pidättyy mekaanisten, kemiallisten ja biologisten prosessien ansiosta. Samalla valumavesien määrä vähenee ja virtaama hidastuu. Etenkin kiintoaine ja siihen sitoutuneet haitta-aineet pidättyvät hyvin biosuodatusrakenteisiin, mutta biosuodatukseen pidättyy myös liuenneita aineita (mm. Valtanen ym. 2017). Biosuodatuksen tehoa voidaan lisäksi parantaa suodatusmateriaalivalinnoilla. Esimerkiksi biohiili voi sitoa fosforia, mutta käytetty lähtömateriaali ja valmistustapa vaikuttavat tähän ominaisuuteen ja ellei asiaa huomioida, biohiilestä voi tulla myös uusi fosforikuormituksen lähde (Kuoppamäki ym. 2016). Kasvillisuuden ansiosta biosuodatusrakenteet tuovat kaupunkeihin vehreyttä, lisäävät biodiversiteettiä ja siten parantavat ympäristön laatua, joten niiden avulla voidaan saavuttaa muitakin ekosysteemipalveluita kuin huleveden hallintaa.

Liikenne on yksi merkittävin kaupunkialueiden haitta-aineiden, kuten ravinteiden ja metallien lähde. Merituulentien arkivuorokausittainen liikenne biosuodatusrakenteiden osuudella on vilkas (arkivuorokaudessa keskimäärin 15 000 ajoneuvoa). Tien hulevedet laskevat Gräsanojan taimenpuroon.

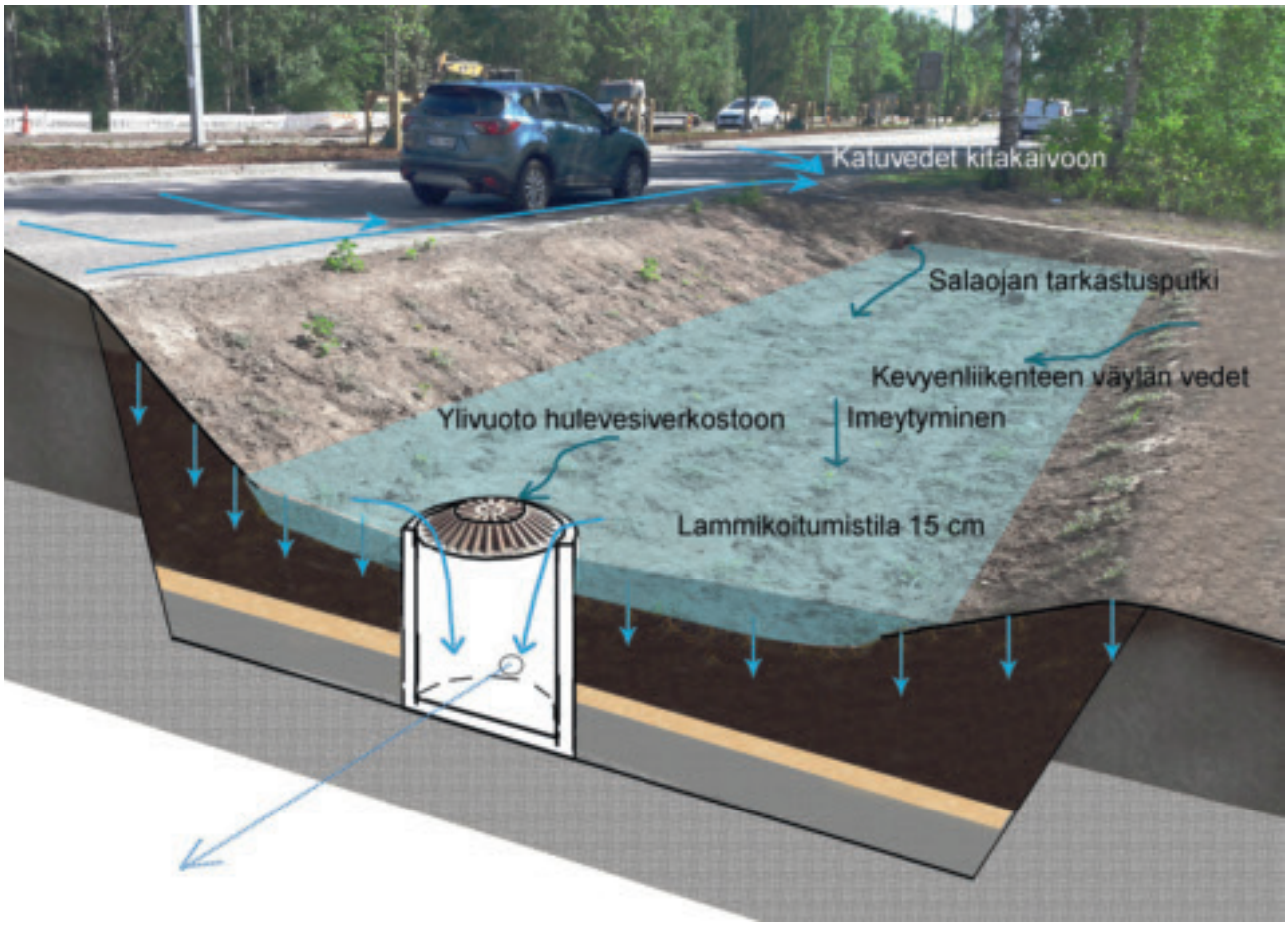
Huomattava osa liikenneperäisestä fosfori-, metalli- ja PAH-kuormituksesta kulkee partikkeleihin sitoutuneena ja kumuloituu aivan tiealueen viereen (Kuoppamäki ym. 2014), missä näin ollen onkin optimaalinen kohde käsitellä hulevesiä biosuodatuksella.



Kuva 1. Periaatepoikkileikkaus Merituulentien biosuodatusrakenteesta. (Kuva: Ramboll)

Merituulentielle laadittiin hulevesitarkastelun aikana kunnallisteknisiä rakennussuunnitelmia, ja katualueelle saatiin suunnittelun yhteydessä sovitettua neljä erilaista biosuodatusrakennetta (**Kuva 1**). Tavoitteena oli hulevesien määrän ja laadun hallinta, jotta vähennetään etenkin ravinne- ja metallikuormitusta läheiseen Gräsanojan taimenpuroon. Tavoitteena oli hallita toistuvuudeltaan kerran kolmeen vuoteen tapahtuvat rankkasadetapahtumat.

Biosuodatusrakenteiden perusmateriaaliksi valikoitui perinteinen suodatushiekka, jota on jo pitkään käytetty hulevesien suodatuksessa, koska sen tiedetään pidättävän hyvin useimpia haitta-aineita ja ravinteita (Eckhart ym. 2017). Kahteen rakenteeseen lisättiin raekooltaan 0-10 mm koivupohjaista biohiiltä (valmistuslämpötila 470°C) 25 tilavuusprosenttia, millä tavoitellaan tehostettua fosforin pidättymistä (**Kuva 2**). Biohiilen odotetaan myös pidättävän kasvualustassa vettä enemmän kuin normaali kasvualusta, ja luovuttavan sitä hitaasti kasvillisuuden käyttöön.



Kuva 2. Merituulentien eteläpuolinen biohiiltä sisältänyt biosuodatusrakenne 30.5.2018. (Kuva: Ramboll)

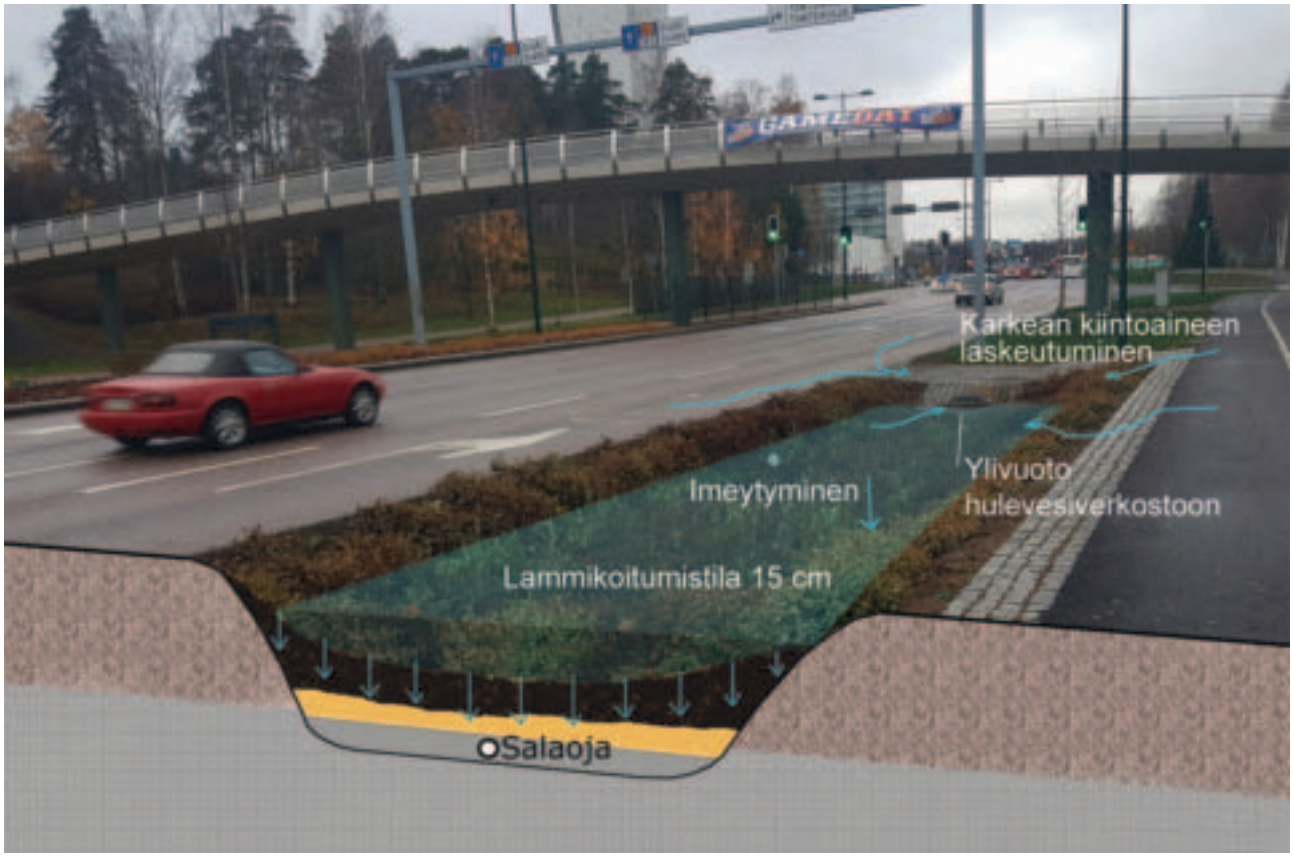
Hiekkasuodatuksesta lupaavia puhdistustuloksia

Merituulentien biosuodatusrakenteiden toimintaa tutkittiin syksyllä 2018. Katualueelta rakenteisiin tulevan ja rakenteista poistuvan veden virtaamaa, sameutta ja sähkönjohtavuutta mitattiin jatkuvatoimisesti minuutin resoluutiolla (**Taulukko 1**). Lisäksi hiekkatäyttöisen biosuodatusrakenteen (**Kuva 3**) tulo- ja poistovesistä kerättiin yhteensä 40 vesinäytettä automaattisilla näytteenottimilla kahden sadetapahtuman aikana marraskuussa.

Taulukko 1. Jatkuvatoimisesti mitatut suureet ja laitteisto.

Suure	Yksikkö	Laite	Tarkkuus
Sameus	FNU	WTW Turb 555 IR	-
pH		Mettler Delta 340	-
Sähkönjohtavuus	mS/m	WTW Cond 300i	n. 1%
Kiintoaines (TSS)	mg/l	Whatman GF/C filter, 1,2 µm koko	12 %
TOC	mg/l	Teledyne-Tekmar Apollo 9000HS TOC -analysaattori	16-21%
Kokonaistyppi	µg/l	Thermo Scientific Gallery Plus	11 %
Kokonaisfosfori	µg/l	Thermo Scientific Gallery Plus	6 %
Nitraatti	µg/l	Thermo Scientific Gallery Plus	6 %
Fosfaatti	µg/l	Thermo Scientific Gallery Plus	15,10 %
Metallit*	µg/l	Perkin-Elmer Elan 6000 ICP-MS	7-26%

* Metallit Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Fe, Zn, Pb, V, As kokonaisina ja liukoisina



Kuva 3. Merituulentien pohjoispuolinen suodatushiekkaa sisältänyt biosuodatusrakenne 03.11.2018. (Kuva: Ramboll)

Näytteistä analysoitiin Helsingin yliopiston AlmaLab laboratoriossa Lahdessa kiintoaineen, ravinteiden sekä kokonais- että liukoisten metallien pitoisuuksia (**Taulukko 2**). Biohiilellisestä rakenteesta ei otettu näytteitä. Lisätietoa tutkimuksessa käytetyistä menetelmistä ja tuloksista julkaistaan myöhemmin keväällä hankkeesta tehdyssä diplomityössä (Kerkkänen, 2019).

Tutkimuksessa myös demonstroitiin Sensmet Oy:n kehittämää uutta jatkuvatoimista alkuaineanalysaattoria. Sensmetin kehittämällä mikroplasmaan pohjautuvalla mittausteknologialla (µDOES™, Micro-discharge Optical Emission Spectroscopy) voidaan hulevedestä ensimmäistä kertaa mitata yhtäaikaisesti jopa 20-30 alkuaineen pitoisuutta. Merituulentien kohteessa Sensmetin vesianalysaattori monitoroi täysin automaattisesti 24/7 kymmenen alkuaineen pitoisuuksia usean kuukauden ajan. Seurattuja alkuaineita olivat mm. natrium, kalsium, magnesium, mangaani, sinkki ja alumiini.

Autoteillä havaitaan korkeitakin pitoisuuksia

Suomessa ei ole olemassa laatukriteereitä hulevesille mutta haitta-ainepitoisuuksien suuruusluokkaa voidaan arvioida vertaamalla ruotsalaisiin raja-arvoihin (Alm et al., 2010). Tutkittujen sadetapahtumien aikana katualueen

Taulukko 2. Hulevesinäytteistä laboratoriossa analysoidut suureet ja laitteisto.

Suure	Yksikkö	Laite	Resoluutio
Sadanta	mm	Nivus RM 200	1 min
Virtaama	l/s	Nivus PCM4	1 min
Sameus	NTU	Thermo Scientific AquaSensors DataStick RT1143	1 min
Sähkönjohtokyky	µS/cm	Thermo Scientific CS10-1-0SS	1 min

Kokemukset ja opit jatkoon

- Biosuodatus soveltuu erinomaisesti etenkin kiintoaineeseen sitoutuneiden haitta-aineiden pidättämiseen
- Ilmastonmuutos lisää poikkeuksellisia ilmasto-olosuhteita, joten rankkasateiden lisäksi pitää varautua myös pitkiin kuiviin jaksoihin, kuten vuonna 2018.
- Biosuodatusrakenteet voivat pidättää erityisesti alkuvaiheessa paljon vettä, jolloin myös kasvillisuus tarvitsee sitä. Kuivana kesänä kastelu on ensimmäisenä vuonna tarpeen, jotta turvataan kasvillisuuden selviytyminen ja kasvuunlähtö.
- Jotta suodatusrakenteen toimivuudesta saadaan hyvä kuva, tarvitaan pitkä mittausjakso erilaisissa sääolosuhteissa, eri vuodenaikoina ja kasvillisuuden kehittyessä rakenteen elinkaaren aikana
- Eteisrakenteet toimivat karkean kiintoaineksen laskeuttamiseen. Hyvä tapa varmistaa, että urakoitsija huomioi nollatasauksen on käyttää ns. miinusreunakivi-termiä. Ylläpidon tarve ja rakenteiden puhdistamistiheys on määritettävä.
- Luiskien eroosiosuojaukseen (verhoilumateriaali, kasvillisuus) on kiinnitettävä huomiota, erityisesti jos painanteessa on korkeat luiskat kadulta.
- Monimuotoinen kasvillisuus hakee paikkansa oikeanlaisiin kosteusolosuhteisiin. Rakenteiden ja kasvillisuuden tulee kestää erilaisia ääriolosuhteita. Luiskiin tarvitaan kuivempien olosuhteiden kasvillisuutta kuin pohjalle.
- Kasvillisuusvalinnoissa pensasistuksien kanssa kannattaa suosia esim. perennaa, joka lähtee alussa nopeasti kasvamaan, eikä ole niin vaatelias. Myöhemmin perenna saa tukahtua pensaiden kasvaessa.
- Riittävän suuren taimikoon korostaminen urakoitsijoille on tärkeää.
- Biohiilen sekoittaminen kasvualustaan, ohjeet, kyllästäminen ja viimeisimmät laatuvaatimukset on korostettava urakoitsijalle.
- Rakenteiden rakentaminen on suositeltavaa syksyllä, jotta ne kyllästyvät vedellä talven aikana ja heti keväällä kasvillisuus pääsee hyvin kasvuun.

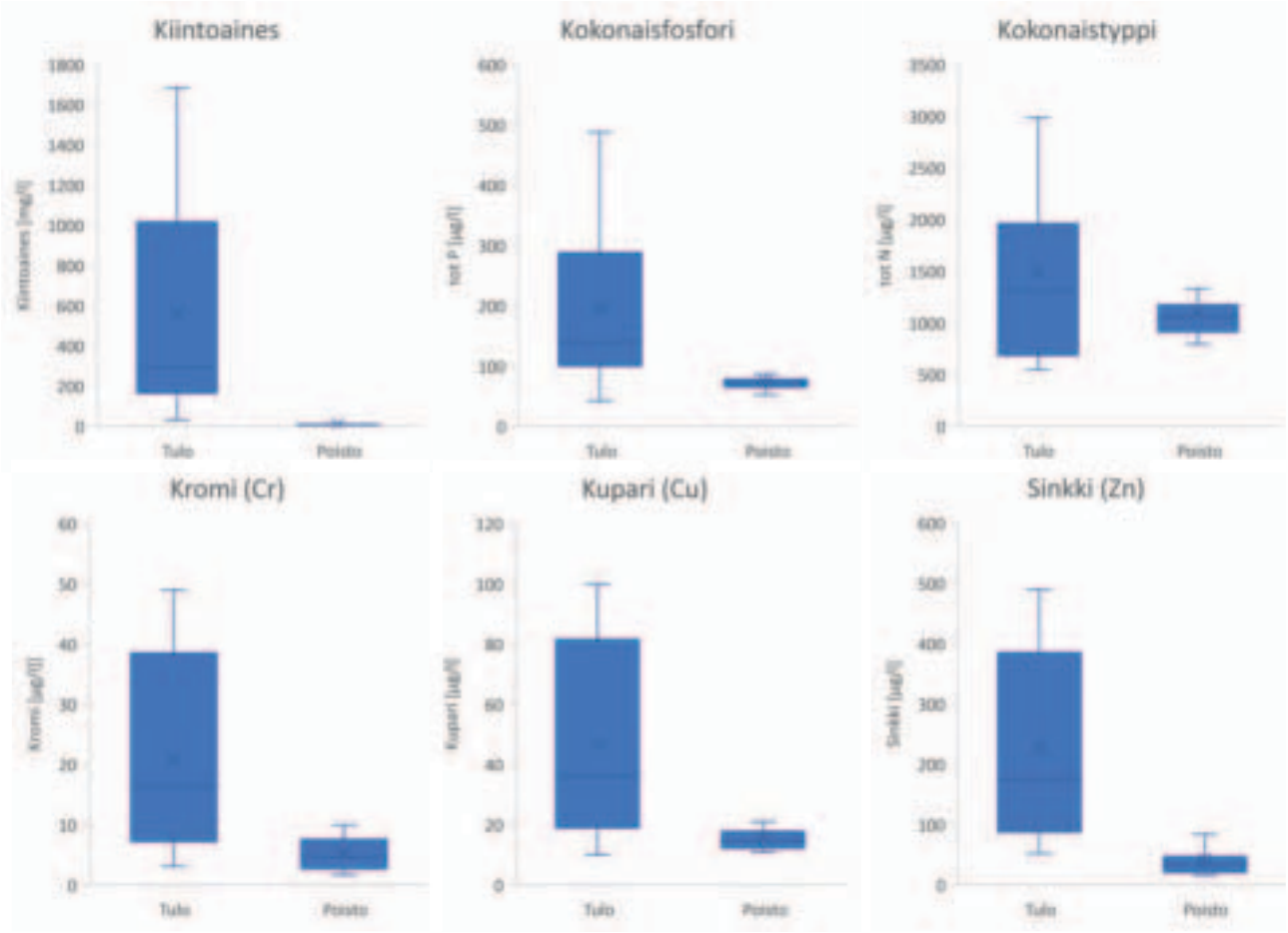
huleveden pitoisuudet ylittivät käsittelytarvetta indikoivia raja-arvoja kiintoaineen sekä kokonaisfosforin, -kromin, -kuparin ja -sinkin osalta (**Taulukko 3**). Toisaalta esimerkiksi kokonaistypen tai -lyijyn keskimääräiset pitoisuudet vaikuttivat maltillisilta raja-arvoihin verrattuna.

Biosuodatus puhdistaa läpisuotautuvaa vettä

Biosuodatusrakenne vähensi merkittävästi usean tutkittavan aineen pitoisuutta. Raja-arvot ylittäneistä aineista esimerkiksi kiintoaineen keskimääräinen pitoisuus pieneni 97% ja kokonaisfosforin 63% (**Kuva 4**).

Taulukko 3. Autotien huleveden pitoisuuksia Merituulentiellä Espoossa marraskuulta verrattuna ruotsalaisiin ohjearvoihin (Alm et al. 2010). Raja-arvot ylittyivät lihavoiduilla aineilla.

Aine	Yksikkö	Minimi	Maksimi	Mediaani	Keskiarvo	Käsittelytarvetta indikoiva raja-arvo (Alm et al, 2010)
Kiintoaine	mg/l	31	1684	298	564	40
Kokonaisfosfori	µg/l	42	488	141	197	160
Kokonaistyppi	µg/l	550	2988	1318	1494	2000
Kadmium (Cd)	µg/l	<0,04	4	<0,04	2	4
Kromi (Cr)	µg/l	3	49	16	21	10
Kupari (Cu)	µg/l	10	100	36	47	18
Lyijy (Pb)	µg/l	<0,13	54	<0,13	4	8
Nikkeli (Ni)	µg/l	<0,14	22	5	7	15
Sinkki (Zn)	µg/l	52	490	175	227	75



Kuva 4. Boxplotit kiintoaineelle sekä kokonaisfosforille, -typelle, -kromille, -kuparille ja -sinkille. Ylin ja alin viiva viittaavat minimi- ja maksimiarvoihin, laatikon ylä- ja alaraja jakauman 25%-75% -arvoihin, ruksi on keskiarvo ja poikkiviiva on mediaani. (Kuva: Sensmed)

Huleveden pitoisuudet pienentyivät rakenteessa myös muiden raja-arvot ylittäneiden aineiden osalta, kuten kokonaiskromilla (76%), -kuparilla (66%) ja -sinkillä (81%) (**Kuva 4**). Metallien kokonaispitoisuudet pienenivät keskimäärin 60% myös muilla tutkituilla metalleilla. Katualueen hulevedessä metalleista n. 90% oli kiintoaineeseen sitoutuneena, kun taas suotautuneessa hulevedessä vastaava määrä oli n. 50%. Tältä osin puhdistustulosta selittää ainakin kiintoaineen mekaaninen pidättyminen rakenteeseen. Liukoisten metallien pitoisuudet kasvoivat rakenteen läpi suotautuessa mutta olivat edelleen selvästi kokonaismetallipitoisuuksia pienempiä.

Huleveden laadun seuranta epäsuorilla mittareilla ei aina onnistu

Huleveden laaduntarkkailussa käytetään usein epäsuoria vedenlaadun mittareita, kuten sameutta ja sähkönjohtokykyä. Epäsuorien mittarien ja haitta-aineiden välisiä korrelaatioita hyödyntämällä voidaan arvioida hulevesien haitta-ainekuormituksia jatkuvatoimisesti ilman kallista ja työlästä näytteenottoa ja laboratorioanalyysejä.

Merituulentien tutkimustulosten perusteella hulevesien käsittelyrakenteen tarkkailu epäsuorien mittauksien avulla ei välttämättä ole mielekästä, sillä hulevedelle todetut korrelaatiot eivät aina päde enää rakenteen läpi suotautuneelle vedelle. Sekä sameuden että sähkönjohtavuuden korrelaatiot eri haitta-aineiden kanssa olivat selvästi pienemmät rakenteen läpi suotautuneessa vedessä kuin katualueen hulevedessä (**Taulukko 4**). Muun muassa huleveden sameuden vahvat korrelaatiot fosforin, sinkin ja kuparin kokonaispitoisuuksien kanssa hävisivät rakenteessa tapahtuneen suodattumisen jälkeen. Ainoastaan sähkönjohtavuuden vahvat korrelaatiot nitriitin/nitraatin (NO_2+NO_3) ja arseenin (As) kanssa havaittiin sekä hulevedessä että suotautuneessa vedessä (**Taulukko 4**).

Innovatiivista teknologiaa jatkuvatoimiseen vedenlaadun seurantaan

Sensmet Oy:n jatkuvatoimisen ja täysin automaattisen alkuaineanalysaattorin avulla saadaan kattavia aikasarjoja (**Kuva 5**) alkuainepitoisuuksille edullisemmin verrattuna perinteiseen näytteenottoon. Analyysitulokset saadaan jopa

Hulevesien hallinnan ratkaisut Tonttumaan koirapuistossa

Tonttumaan alueella toimenpiteet kohdistuvat koirapuiston valumavesien laadunhallintaan, ja koirapuiston viereiseen Gräsanojaan laskevan hulevesiuoman vesien hallintaan. Koirapuiston reunaan suunnitellaan biosuodatusrakenteet ja puiston sora-kivituhka-alueille etsitään suodattavia kevennysmateriaaleja soveltuvista kierrätysmateriaaleista.

Ojavesiä hallitaan muotoilun, kasvillisuuden sekä kasvualustojen avulla: Keskiveden ylittävissä tilanteissa vesi nousee kasvitetuille tulvatasanteille, jotka ovat hyvä keino vedenlaadun parantamiseksi savisilla alueilla (Västilä & Järvelä 2015). Alivesiuomassa vesi viipyy ja kiintoaines laskeutuu lietekuoppien ja suotavien pohjakynnysten avulla sekä ojan sivuhaaraan istutettavan kosteikkokasvillisuuden avulla.

Tulvatasanteilla testataan kolmea kasvualustaa, joissa hyödynnetään paikallisten pintamaiden siemenpankkia:

- nykyinen savimaa
- muokattu nyk. savi sekoitettuna järviruo'on ja mahdollisesti kalkin kanssa,
- suodattava hiekkainen kasvualusta stabiloidulle alueelle tuloputkien päähän.

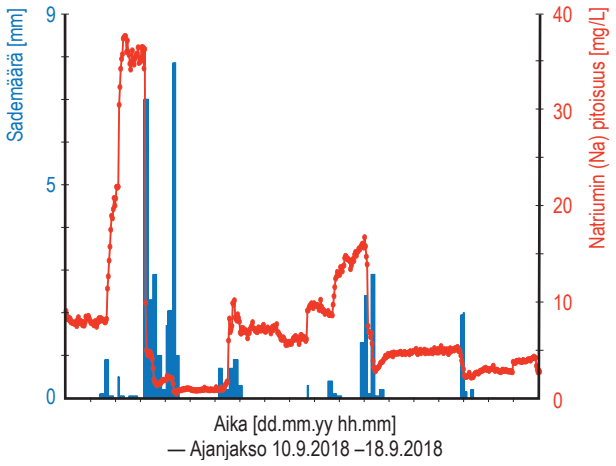
Talvella esim. merenrannoilta hoitotoimenpiteinä leikattu järviruoko lisää savisen kasvualustan huokoisuutta, on vähäravinteinen ja toimii maanparannusaineena. Kalkki toimii maanparannusaineena, ja nostaa pH:ta. Toimenpiteissä huomioidaan vieraslajit, kuten jättipalsamin esiintyminen lähialueilla, ja osmankäämin leviämisen estäminen. Osmankäämi hyötyy ravinteikkuudesta ja happamista vesistä, joissa muut kasvit eivät viihdy.

Tavoitteena on monimuotoinen, kestävä ja itseään ylläpitävä rakenne. Hulevesien laatua pyritään parantamaan luonnonprosesseilla. Alkuvaiheessa tarvitaan kuitenkin tukevia toimenpiteitä, jotka edistävät paikkaan sopivan kasvillisuuden ja sedimentaatioprosessien kehitystä ja estävät alkuvaiheen eroosiota.

Taulukko 4. Sameuden ja sähkönjohtavuuden korrelaatiot (Spearman) tutkittujen haitta-aineiden kannalta katualueen hulevedessä (Tulo, n=20) ja rakenteesta suotautuneessa vedessä (Poisto, n=20). Tilastollisesti merkitsevät (p<0,05) ja vahvat korrelaatiot (korrelaatiokerroin >0,8) on lihavoitu.

	Sameus, tulo	Sameus, poisto	Sähkönjohtavuus, tulo	Sähkönjohtavuus, poisto
Kiintoaines	**0,991****	0,664**	0,625**	170
N/NO_2+NO_3	444	-388	0,792**	**0,814****
tot P	**0,964****	-22	0,647**	-0,590**
tot N	0,672**	-324	0,799**	0,777**
Co	**0,973****	0,477*	0,687**	0,538*
Co liukoinen	0,678**	215	**0,812****	334
Cr	**0,947****	247	0,645**	0,711**
Cr liukoinen	0,483*	-162	0,743**	0,575**
Cu	**0,958****	335	0,622**	431
Cu liukoinen	0,659**	-212	**0,825****	415
Mn	**0,952****	117	0,661**	0,728**
Mn liukoinen	0,692**	-147	**0,899****	0,670**
Ni liukoinen	0,654**	-269	**0,850****	0,720**
Fe	**0,966****	0,684**	0,554*	390
Fe liukoinen	0,698**	-231	0,785**	0,674**
Zn	**0,952****	259	0,684**	0,480*
V	**0,950****	381	0,574**	0,750**
As	**0,846****	-15	**0,853****	**0,884****

Taulukon yksi tähti* viittaa korrelaation olevan merkitsevyystasolla p<0,05 (2-suuntainen) ja kaksi tähteä** korrelaation olevalla merkitsevyystasolla p<0,01 (2-suuntainen).



minuuttitason aikaresoluutiolla. Analysaattorin kehitystyössä on painotettu mittausten luotettavuutta ja mittausten automatisoitu kalibrointi perustuukin kaupallisesti saataviin sertifioituihin alkuainestandardeihin. Analysaattorin avulla säästetään näytteen käsittelystä ja kuljetuksesta syntyvistä kustannuksista. Lisäksi vältetään laboratoriomittaustulosten saamiseen kuluvat aikaviiveet.

Kuva 5. Esimerkki Espoon Merituulentiellä Sensmet Oy:n reaaliaikaisella µDOES™ -alkuaine- analysaattorilla mitatusta pitoisuusaikasarjasta. Kuvassa on esitetty reaaliajassa mitattu natriumin (Na) pitoisuus (mg/L) viikon ajalta kadulta valuvasta hulevedestä ennen biosuodatusta. Sademäärätieto (siniset palkit) on peräisin Ilmatieteen laitoksen läheisen Niittykummun sääaseman avoimesta datasta.

Kirjallisuus

Alm, H., Banach, A. & Larm, T. 2010. Förekomst och rening av prioriterade ämnen, metaller samt vissa övriga ämnen i dagvatten. Svenskt Vatten Utveckling.

Eckart, K., McPhee, Z & Bolisetti, T. 2017. Performance and implementation of low impact development – A review. Sci. Tot. Env. 607-608: 413-432.

Kuoppamäki, K., Hagner, M., Lehvävirta, S. & Setälä, H. 2016. Biochar amendment in the green roof substrate affects runoff quality and quantity. Ecol. Eng. 88: 1-9.

Valtanen, M., Sillanpää, N., Setälä, H. 2017. A large-scale lysimeter study of stormwater biofiltration under cold climatic Conditions. Ecological Engineering 100: 89-98.

Västilä, K., Järvelä, J. 2015 Kaksitasoumien mahdollisuudet pyrittäessä ympäristöystävällisempään maankuivatukseen, Vesitalous 6/2015.

Hulevesien hallinnan monikäyttöiset alueet ja vuorovaikutus

Manttaali- ja Rälssipuiston suunnitteluprojekti tuo esille hulevesien hallinnan mahdollisuuksia, kun rakennetaan uutta kaupunkikeskustaa. Projektissa luotiin uusia innovatiivisia hulevesirakenteita, jossa yhdistyy myös monikäyttöisyys ja sosiaalinen ulottuvuus.

EMMI VESALA
nuorempi suunnittelija
Sitowise Oy, Ympäristö- ja kaupunkikehitys, Vesipalvelut
e-mail: emmi.vesala@sitowise.com

NORA SILLANPÄÄ
tutkijatohtori (TkT)
Aalto-yliopisto
e-mail: nora.sillanpaa@aalto.fi

HARRI KEINÄNEN
Suunnitteluinsinööri
Vantaan kaupunki,
Kuntatekniikan keskus,
Vesihuollon yleissuunnittelu
e-mail: harri.keinanen@vantaa.fi

TIMO NIKULAINEN
apulaisosastopäällikkö
Sitowise Oy, Ympäristö- ja kaupunkikehitys, Vesipalvelut
e-mail: timo.nikulainen@sitowise.com

Vantaan tiivistyvä kaupunkirakenne ja sateiden lisääntyminen ovat kasvattaneet tarvetta hulevesien kokonaisvaltaiseen hallintaan kaupunkialueilla. Vähenevän viheralan myötä viheralueisiin liittyy paljon toiminnallisia paineita hulevesien hallinnan lisäksi. Viheralueet toimivat kohtaamispaikkoina, joissa oleskelu, rentoutuminen, leikki ja liikunta ovat tärkeässä roolissa. Hulevesien hallinnalle omistetut alueet eivät ole kuitenkaan poissuljettuja muilta käyttötarkoituksilta, jos suunnittelussa huomioidaan myös alueiden monikäyttöisyys. Monikäyttöisillä alueilla saadaan hulevesien hallinnalle valjastetut alueet kaupunkilaisten aktiiviseen käyttöön, jolloin heille pystytään tarjoamaan useampia hyötyjä.

Tulevaisuuden hulevesipuisto

Rälssi- ja Manttaalipuiston alue sijaitsee Keski-Vantaalla Veromiehen kaupunginosassa. Puistojen läpi virtaa Palo-oja, johon yhdistyy Manttaalipuistossa pohjoisesta Helsinki-Vantaan lentokenttäalueelta virtaava Pytinoja (**Kuva 1**). Palo-oja laskee Keravanjokeen Helsingin pitäjän kirkonkylässä. Palo- ja Pytinoja ovat keskeisiä koko Veromiehen kaupunginosan hulevesien hallinnan kannalta, mikä entisestään korostaa niiden tärkeyttä, kun aluetta kehitetään tulevaisuudessa keskustamaiseksi asunto- ja työpaikka-alueeksi. Nykyisin Veromiehen kaupunginosa on valtaosin melko harvaan rakennettua toimisto-, teollisuus- ja logistiikka-aluetta.

Kuva 1. Rälssi- ja Manttaalipuiston yleissuunnitelmat.

Monikäyttöisyydestä hyötyä kaikille

Puistojen suunnittelun tavoitteena on uuden sukupolven hulevesipuisto, jossa hulevesien määrällisen ja laadullisen hallinnan lisäksi tuotetaan hulevesitietoa sekä mahdollistetaan vuorovaikutus puiston ja eri käyttäjäryhmien välillä. Vesi toimii puistossa kaupunkikuvallisena elementtinä, ja sitä pyritään hyödyntämään monenlaisissa vesiaiheissa. Molempiin puistoihin sijoitetaan monikäyttöisiä alueita, joihin kuivina kausina liittyy mm. virkistyksellisiä, sosiaalisia ja ekologisia toimintoja. Rankkasateilla alueet toimivat tulvatilavuutena, mikä pidättää vettä ja tasaa virtaamahuippuja. Puistoissa hulevesien monikäyttöisiä hallinta-alueita ovat skeitti- ja koripallokenttä, hulevesikosteikko ja portaikko (**Kuva 1**). Vuorovaikutuksen keinot puistoympäristössä nostetaan uudelle tasolle reaaliaikaisen tiedon hyödyntämisellä ns. älykkäässä valaistuksessa ja ympäristön seurantapalvelussa.

Monialainen suunnittelu rakennettaessa monikäyttöistä hulevesipuistoa

Tärkeää monikäyttöisten hulevesien hallinnan alueiden suunnittelussa on löytää synergioita saman alueen toimijoiden ja toimintojen välille. Monien toimintojen tuottaminen yhteen tilaan vaati suunnittelussa myös monialaista osaamista ja yhteistyötä eri tahojen kanssa. Projektissa oli mukana hulevesi-, maisema-, valaistus-, geo- ja rakennesuunnittelijoita sekä ympäristöviestinnän ja -vuorovaikutuksen asiantuntija.

Rälssipuiston tulvaniitty ja ritiläpolut

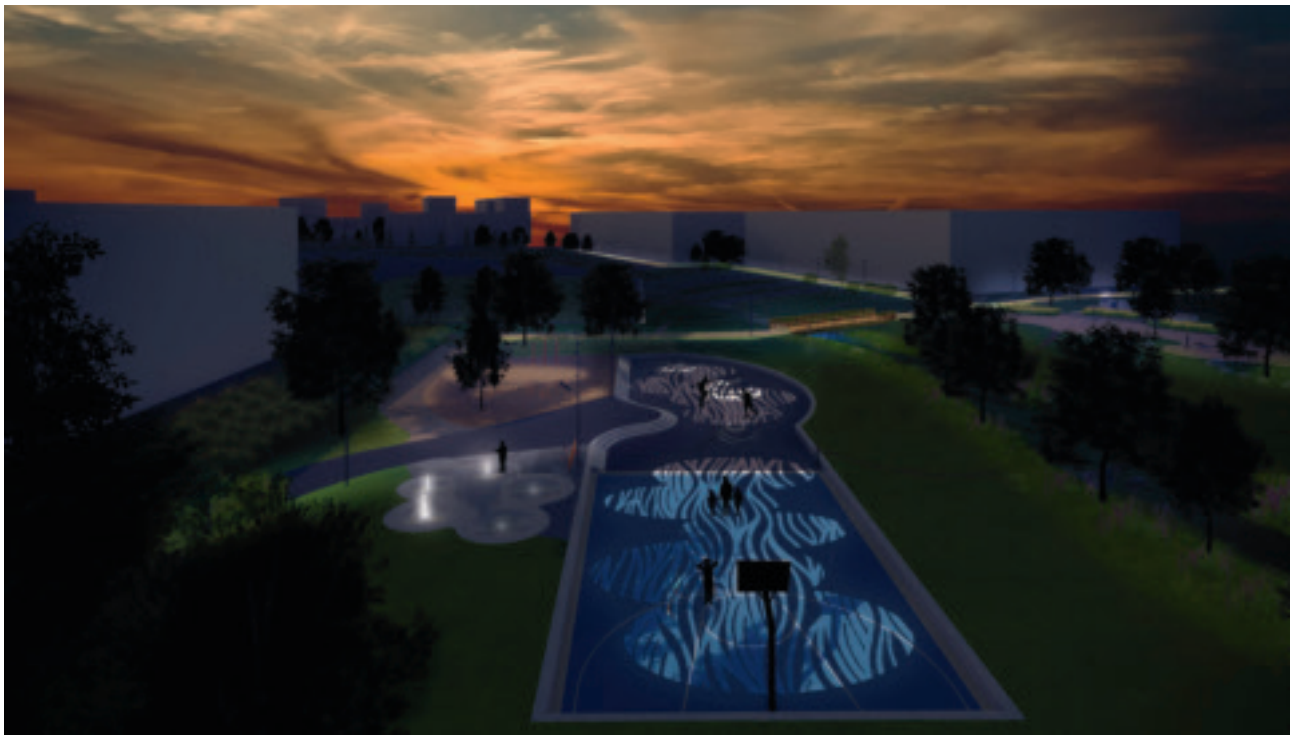
Rälssipuiston läpi virtaavan Palo-ojan uomaa avarretaan voimakkaasti muotoillen luiskat loiviksi, jotta kuivienkin kausien alivesivirtaama näkyy puiston raiteille. Veden näkyvyyttä lisätään myös sijoittamalla puron varrelle kaksi pysyvän vesipinnan syvännettä. Tulvahuippujen tasaamiseksi puistoon muotoillaan tulvaniitty, johon kertyy vettä puiston alajuoksulle suunnitellun viivyttävän padon ansiosta (**Kuva 2**). Pato toimii myös veden pinnankorkeuden seurantapaikkana, sillä siihen maalataan läheiselle pikkupolulle näkyvät korkolukemat.

Tulvaniitty toimii myös suodattavana rakenteena, sillä niityn ja purouoman väliin muotoillaan suodattava pato. Kun vedenpinta nousee tulvaniitylle suodattavan padon ylitse, tulvavesi jää ”vangiksi tulvaniitylle” ja veden laskiessa suotautuu sitten padon läpi hitaasti takaisin Palo-ojaan. Koko tulvaniityn poikki rakennetaan ritiläpolkuja, joilta ohikulkijat ja lähikortteleiden asukkaat voivat havainnoida ympäristössään tapahtuvia ilmiöitä ja hyödyntää aluetta kulkuyhteytenä.

Kuva 2. Rälssipuiston tulvaniitty.

Manttaalipuiston toiminnalliset alueet

Manttaalipuistoon on suunniteltu useita monikäyttöisiä alueita. Kuivina kausina nämä alueet tarjoavat runsaasti kulutusta kestävää nurmipintaa, leikki-, liikunta- ja oleskelumahdollisuuksia sekä kohtaamispaikkoja. Alueelle sijoitetaan monikäyttöinen koripallo- ja skeittikenttä, joka toimii kuivina aikoina virkistyskäytössä ja rankkasateilla kenttää voidaan käyttää hulevesien varastotilana (**Kuva 3**). Purouoman vedenpinnan vaihteluita voidaan seurata oleskeluportailta, joille vesi voi nousta tulvatilanteissa (**Kuva 4**). Palo-ojan uoman luiskat loivennetaan voimakkaasti myös Manttaalipuistossa siten, että se muodostavat ympäröivien talojen, koulun ja päiväkodin pihojen välissä pienimuotoisen laakson.



Kuva 3. Manttaalipuiston monikäyttöinen pelikenttä.

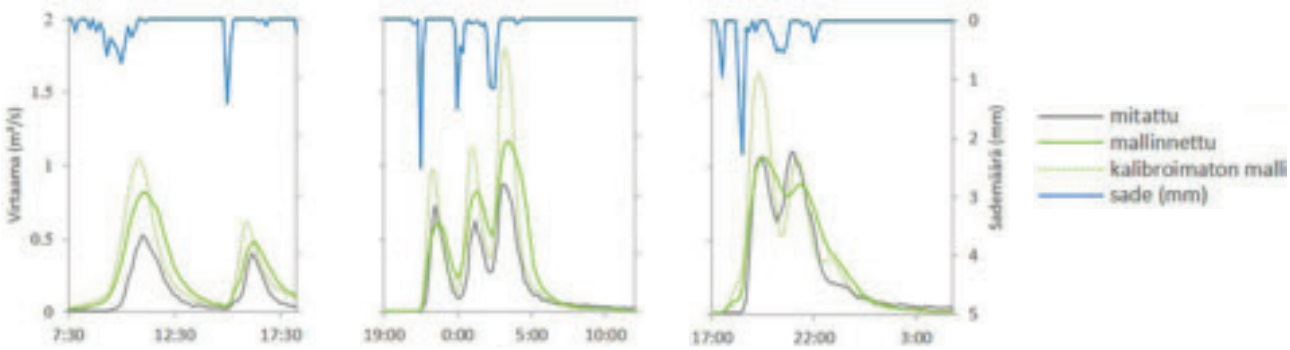
Kuva 4. Manttaalipuiston hulevesiportaat.

Mittaus ja mallinnus suunnittelun tukena

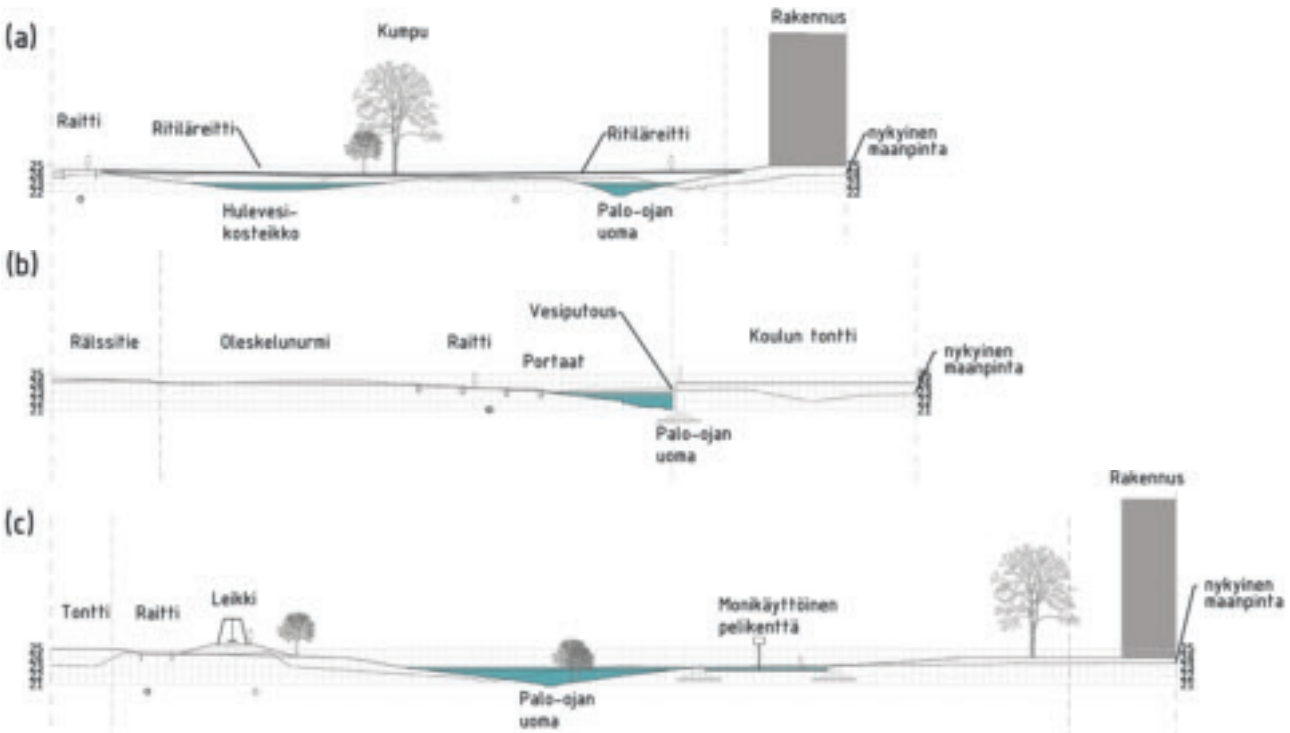
Puiston suunnittelua tuki kaksivaiheinen hydrologinen mallinnus. Ensimmäisessä vaiheessa puistoon tulevien hulevesien virtaamat 385 ha valuma-alueelta mallinnettiin EPA SWMM 5.1 -ohjelmalla (Rossmann, 2010). Ensimmäisen vaiheen tulokset toimivat lähtötietoina toisessa vaiheessa puistoalueen purouoman HEC-RAS-mallinnukselle (Center Hydrologic Engineering, 2016), jonka avulla selvitettiin monikäyttöisten hulevesien hallinnan alueiden täyttymistä erilaisissa mitoitussadetilanteissa.

Valuma-alueen SWMM-mallin kalibroimiseksi kerättiin jatkuvatoimista virtaamatietoa Manttaalipuiston päästä ajanjaksolla 27.6-9.10.2018. Sadetieto kerättiin Ilmatieteen laitoksen havaintojen latauspalvelusta Helsinki-Vantaan lentokentän havaintoasemalta, joka sijaitsee noin 3 km päässä pilottikohteesta. Mittausajanjakso oli hyvin kuiva, mutta jo kolmen kalibrointitapahtuman avulla saavutettiin selvä parannus valuma-aluemallin tarkkuudessa verrattuna alkuperäiseen kalibroimattomaan malliin (**Kuva 5**). Kaikkien kalibrointi- ja validointitapahtumien ylivirtaamat pienenivät 12-36%-yksikköä kalibroitaessa.

Puiston pintamallin ja valuma-alueen simuloitujen virtaamien pohjalta purouoman HEC-RAS-mallinnuksella varmistettiin, että vedenpinta nousi kerran kahdessa vuodessa toistuvan mitoitussateen tilanteessa Rälssipuistossa tulvatasanteelle ja suodattavan padon yli sekä Manttaalipuistossa skeitti- ja koripallokentälle (**Kuva 6a,c**). Manttaalipuiston portaiden kohdalla, kapeikon ansioista, vedenpinnan vaihtelut osoittautuivat tulevan selkeästi esille (**Kuva 6b**).



Kuva 5. Kalibroidulla ja kalibroimattomalla SWMM-mallilla simuloitujen virtaamakäyrien vertailu mitattuun virtaamaan.



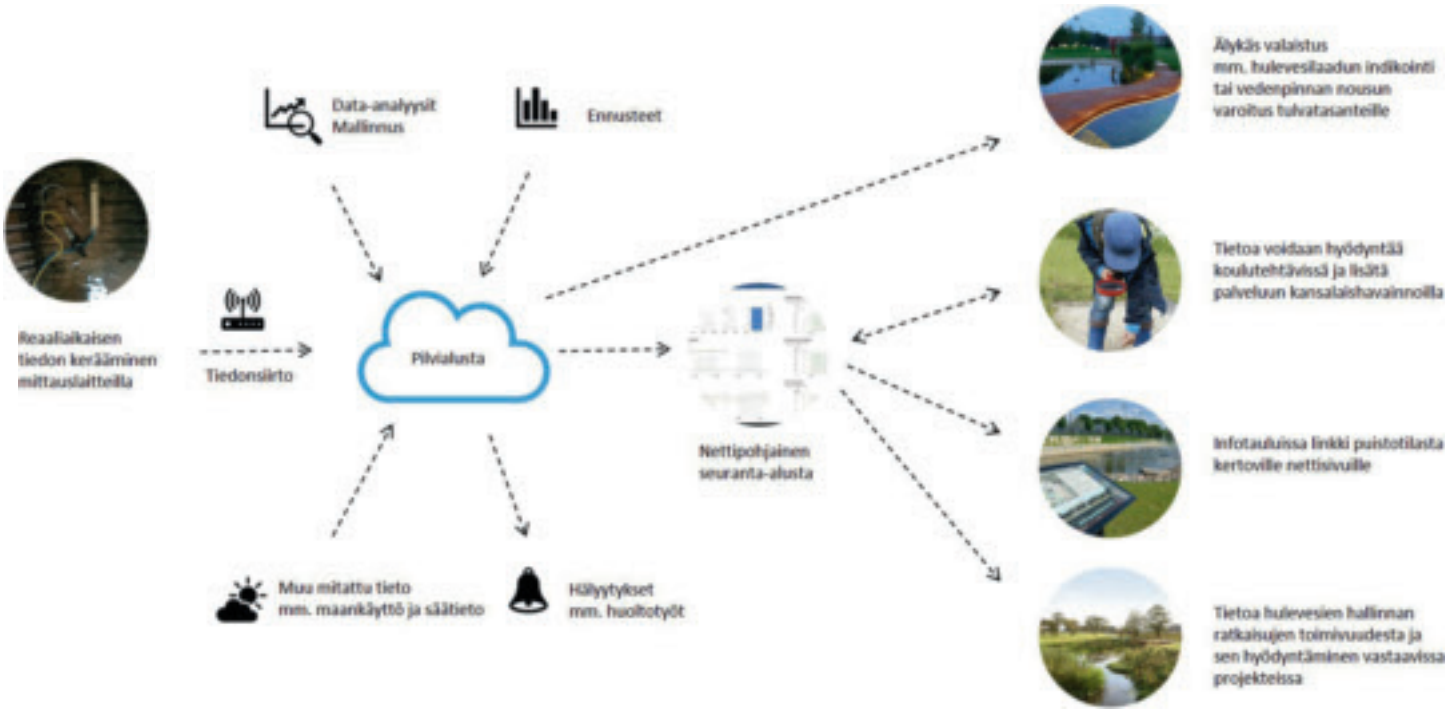
Kuva 6. Monikäyttöisten alueiden tulvatilanteiden poikkileikkaukset: (a) Rälssipuiston maisemallinen tulvaniitty, (b) Manttaalipuiston hulevesiportaat ja (c) monikäyttöinen pelikenttä.

Mallinnuksella voitiin osoittaa, että puiston kapeissa kohdissa vesi pysyi hallitusti uomassa ja veden pinta ei nouse puistoissa alueille, joiden pitää pysyä kuivina.

Hulevesien hallintaan ja hulevesitietoon liittyvä vuorovaikutus

Manttaali- ja Rälssipuiston suunnittelun yhtenä tavoitteena on lisätä puiston käyttäjien tietoisuutta ja ymmärrystä hulevesistä. Samanaikaisesti vahvistetaan alueen toimijoiden yhteistä vastuuta oman lähiympäristön hyvinvoinnista sekä vahvistetaan positiivisia käsityksiä kaupunkipuroista. Esimerkiksi alueelle sijoittuvan koulun toivotaan hyödyntävän puistoa, joka luo hyvät puitteet ympäristö- ja luonnontiedeaineiden opettamiselle. Erilaisilla vuorovaikutuskeinoilla alueen asukkaat, koululaiset ja yritykset saadaan kiinnostumaan ympäristöstään sekä havainnoimaan ympäristöään. Yksi keino on tarjota heille tietolähtöisiä palveluita, joissa hyödynnetään erilaisin keinoin puiston uoman vedestä mitattua reaaliaikaista tietoa esimerkiksi vedenpinnan korkeuksista ja vedenlaadusta, kuten lämpötilasta ja sameudesta (**Kuva 7**).

Vuorovaikutuksen konseptin keskiössä on pilvialusta, jonka avulla voidaan yhdistää puistosta saatuun reaaliaikaiseen tietoon aineistoa muista tietolähteistä, ja tehdä niiden pohjalta erilaisia analyysejä sekä mallinnuksia. Yhdistettävä tieto voi liittyä mm. maankäyttöön, säähän ja sen ennusteisiin, ympäristöön tai rakentamiseen.



Kuva 7. Reaaliaikaisen tiedon hyödyntämisen konsepti

Näiden tietojen pohjalta voidaan kehittää verkkoselain- ja sovelluspohjainen seuranta-alusta, joiden kautta alueen asukkaat voivat seurata ympäristöään ja jota koululaiset voivat käyttää koulutöissään.

Puistoon sijoitetaan hulevesiteemaisia infotauluja, josta on linkki seuranta-alustaan. Tavoitteena on saada ympäristön seurannasta molemminpuolista sekä palvelun tuottajan että sen käyttäjien välillä. Käyttäjillä tulisi olla mahdollisuus lisätä havaintojaan palveluun ja koululaisten täydentää tietoa esimerkiksi ottamiensa vedenlaadun ja vedenkorkeusmittausten tuloksilla. Esimerkiksi Rälssipuiston padon vedenkorkeuden seurantapaikalta havainnointi on helppoa, sillä erillisiä mittavälineitä ei tarvitse olla.

Puistosta saatavaa reaaliaikaista tietoa tullaan hyödyntämään ns. älykkäässä valaistuksessa, jonka avulla voidaan mm. viestiä veden laadusta sekä varoittaa veden pinnan noususta. Älykäs valaistus tekee puistosta visuaalisesti mielenkiintoisen valaisemalla pysyviä vesipintoja sekä veden liikettä, kun virtausnopeus uomassa kasvaa. Monikäyttöisellä skeitti- ja koripalloalueella valojen kuvioinnilla ja väreillä viitataan puolestaan eri toistuvuudella tapahtuviin tulvatilanteisiin (**Kuva 3**).

Seuranta-alustan avulla voidaan myös tukea alueen huleveden laadunhallintaa. Kesällä ja syksyllä 2018 puron sameutta, kiintoainepitoisuutta ja johtokykyä tutkittiin jatkuvatoimisesti Labkonetin laitteistoilla ja vedestä otettiin näytteitä, joista Helsingin yliopiston AlmaLab-laboratoriossa Lahdessa mitattiin em. suureiden lisäksi ravinne- ja metallipitoisuudet. Saatujen vedenlaatutietojen perusteella monien kaupunkiperäisten haitta-aineiden pitoisuudet olivat koholla, etenkin kiintoaineen, ravinteiden, sinkin ja kuparin osalta. Koska Palo-ojassa on korkeita haitta-ainepitoisuuksia jo nykytilassa, kaupunkirakenteen yhä tiivistyessä hulevesien hallinnan kehittämisellä on merkittävä rooli veden laadun heikkenemisen ehkäisyssä. Pilottikohteena mittauksista saadaan arvokasta tietoa hulevesistä, mitä voidaan hyödyntää muissa vastaavissa projekteissa.

Kirjallisuus

Center Hydrologic Engineering. (2016). HEC-RAS River Analysis System. Haettu 19. 10 2018 osoitteesta http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf.

Rossmann, L. (2010). Storm Water Management Model User's Manual - Version 5.0. Noudettu osoitteesta Environmental Protection Agency: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=114231.

Yhdyskuntatekniikka 2019

Näyttely ja seminaareja

YT 19

JYVÄSKYLÄ

15.–16.5.2019

Rekisteröidy näyttelyvieraaksi ennakkoon:

www.yhdyskuntatekniikka.fi

Lentoaseman hulevesiä käsitellään pian maanalaisessa kosteikossa

Lentoaseman hulevesien erityispiirre on talvitoiminnan liukkaudentorjunta- ja jäänestoaineiden aiheuttama kuormitus. Maanalainen kosteikko on lupaava hulevesien käsittelyrakenne kohteissa, joissa turvallisuussyistä joudutaan välttämään avoimia vesipintoja, vesimäärät ovat suuria ja puhdistusprosessissa tarvitaan maaperän mikrobien apua. Laboratoriokokeiden avulla voidaan tunnistaa suodatukseen sopivat materiaalit ja tekniset ratkaisut.

GIOVANNI CHAURAND
tutkimusapulainen, Ins. (AMK)
Aalto-yliopisto
e-mail: giovanni.chaurandmendez@aalto.fi

Kirjoittaja suunnitteli ja toteutti laboratoriokokeet osana maaliskuussa julkaistavaa diplomityötään.

NORA SILLANPÄÄ
tutkijatohtori, TkT
Aalto-yliopisto
e-mail: nora.sillanpaa@aalto.fi

TUIJA HÄNNINEN
ympäristöasiantuntija, FM
Finavia Oyj
e-mail: tuija.hanninen@finavia.fi

ELINA KAUPPILA
vesienhallintapäällikkö, dipl. ins.
Finavia Oyj
e-mail: elina.kauppila@finavia.fi

PERTTU HYÖTY
palvelualuejohtaja, dipl.ins.
Sitowise Oy
e-mail: perttu.hyoty@sitowise.com

HARRI KOIVUSALO
professori
Aalto-yliopisto
e-mail: harri.koivusalo@aalto.fi

Helsinki-Vantaalla hulevesien hallintaa kehitetään haastavissa olosuhteissa

Lentoasemien toiminnassa merkittävimmin vesien laatuun vaikuttavat lentokoneiden jäänpoisto- ja jäänestotoiminnassa sekä kiitoteiden liukkaudentorjunnassa talvikaudella käytettävät aineet. Helsinki-Vantaalla talvikunnossapito on kansainvälistä kärkeä ja liukkaudentorjunnassa käytetään ympäristölle vähiten haittaa aiheuttavia formiaattipohjaisia aineita. Lentokoneiden jäänpoisto- ja jäänestokäsittelyt on keskitetty suurelta osin etäjäänpoistoalueille, mutta osa käsittelyistä tehdään myös terminaalien edustan seisontapaikoilla. Jäänpoistoon ja -estoon käytetään propyleeniglykolipohjaisia aineita. Sekä formiaattien että propyleeniglykolin haittana on biologisesta hajoamisesta aiheutuva hapenkulutus.

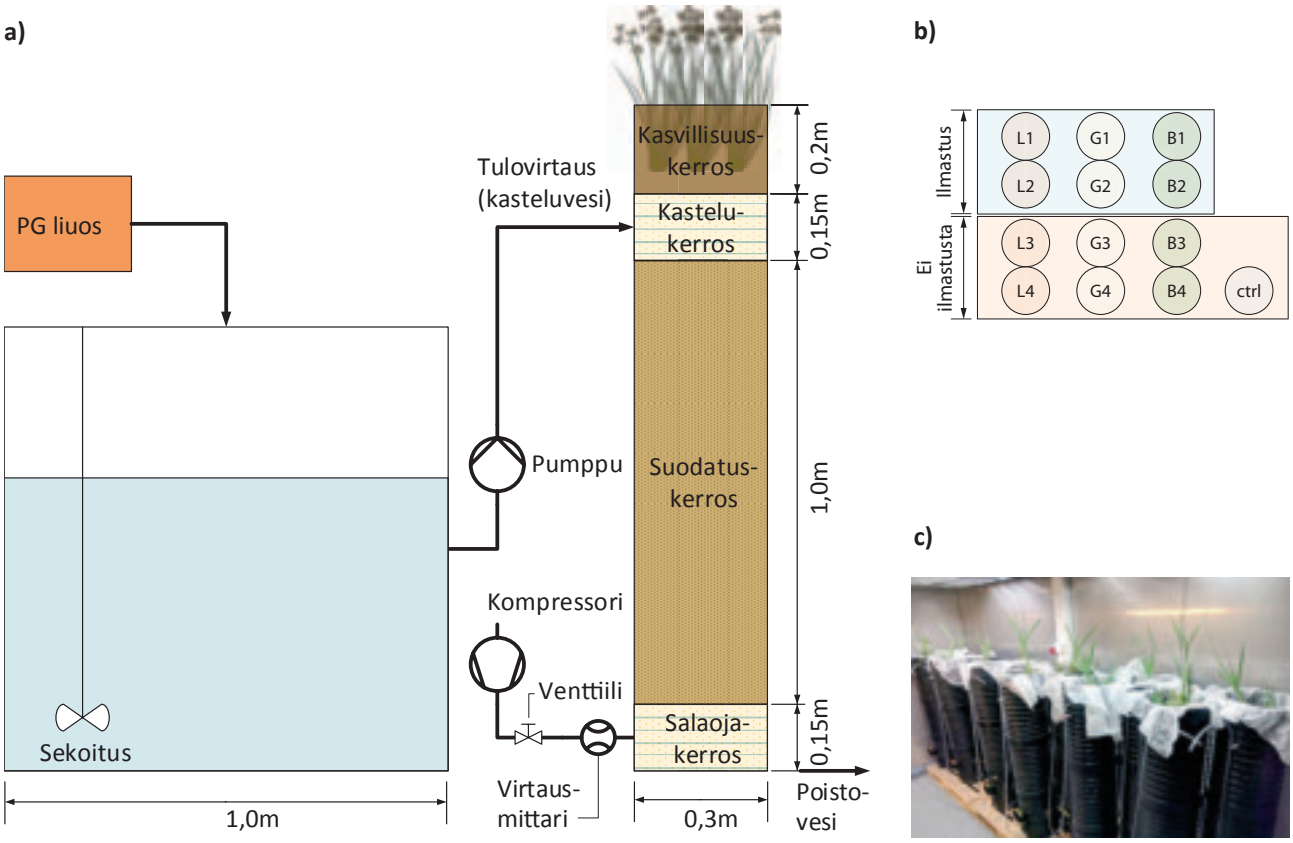
Helsinki-Vantaalla kaikki jäänpoistoalueet on liitetty jätevesiviemäriin, minkä lisäksi propyleeniglykolipitoista vettä kerätään imuriautoilla. Glykolipitoinen lumi kerätään jätevesiviemäriin liitetyille sulamisalueille. Osa jäänpoisto- ja jäänestoaineista kulkeutuu lentokoneen mukana kiitoteille, jossa ne yhdessä liukkaudentorjunta-aineiden kanssa kuormittavat hulevesiä. Kiitotien 3 hulevedet johdetaan maanalaisiin louhetäytteisiin altaisiin, joissa vedet puhdistuvat biologisesti. Kiitoteiden 1 ja 2 hulevesien hallintaan ja käsittelyyn lentoasemayhtiö Finavia suunnittelukonsulttinaan Sitowise on tehnyt laajoja suunnitelmia, joiden toteutus on aloitettu 2016.

Lentoasemaympäristö, Suomen talvi sekä hulevesien määrä ja laatu tuovat omat haasteensa suunnittelulle. Hulevesien

purkupisteiden sijaintiin ja korkeusasemaan ei käytännössä voida vaikuttaa, eivätkä rakenteet saa houkutella lentoturvallisuutta vaarantavia lintuja. Kenttäalueelta tulevat hulevedet sisältävät vaihtelevasti orgaanista kuormitusta, mutta vähän ravinteita. Talviaikana vedet ovat kylmiä ja biologinen toiminta hidasta. Huleveden laadun hallintaan suunnitellut järjestelmät ovat hajautetut biosuodatuskentät sekä keskitetyt maanalaiset kosteikot. Biosuodatusta käytetään lentoasemalta itään, Kylmäojan suuntaan purkavien hulevesien hallinnassa ja niissä hyödynnetään lentoasemaa reunustavia turvealueita. Pilottikohteen, noin 1 hehtaarin kokoisen biosuodatuskentän, rakentaminen Kylmäojan valuma-alueelle alkoi syksyllä 2018. Maanalaista kosteikkorakennetta pilotoidaan Veromiehenkylänpuron valuma-alueella Pakkalan huoltotien itäpuolella, jonne laajan valuma-alueen hulevedet johdetaan keskitetysti. Järjestelmä tulee lopulta koostumaan kahdesta kosteikkosolusta sekä kahdesta avoaltaasta lyhytaikaista virtaamanhallintaa varten. Toinen viivytysaltaista ja ojajärjestelyjä on rakennettu alueelle jo aiemmin. Pilottivaiheessa toteutetaan yksi kosteikkosolu, jonka rakennussuunnittelu on käynnissä ja rakennustyöt aloitetaan vuoden 2019 aikana. Kyseisen kosteikon rakennevaihtoehtoja tutkittiin laboratoriokokein Aalto yliopistossa.

Maanalaisen kosteikkorakenteen tutkimus laboratorio-olosuhteissa

Maanalaisen kosteikon tutkimusta varten Aalto-yliopiston vesilaboratorioon rakennettiin 12 koesylinteriä säädeltyyn vakiolämpöhuoneeseen. Sylinterien rakennekerroksiin kuuluivat kasvillisuus-, kastelu-, suodatus- ja salaojakerrokset **Kuvan 1a** mukaisesti. Kasvillisuuskerros pintamaakerroksineen kerättiin lentokenttäalueelta edesauttamaan paikallisiin olosuhteisiin sopeutuneen mikrobikannan kehittymistä koesylintereihin. Suodatuskerroksessa testattiin kolmea vaihtoehtoista materiaalia: sepeliä (Ø 5–16 mm, Seepsula Oy), Leca-soraa (Ø 3–8 mm, Leca Finland Oy) ja koivubiohiiltä (Ø 0–10 mm, Noireco Oy). Leca-soraa ja biohiiltä käytettiin suodatuskerroksessa sepeliin sekoitettuna (1:1 tilavuussuhde). Kastelukokeiden yhteydessä kuutta koesylinteriä ilmastettiin salaojakerrokseen asennetun järjestelmän avulla (**Kuva 1b**).



Kuva 1. Koeasetelman a) poikkileikkauskaavio, b) koesylinterien sijoittelu tutkimushuoneessa (L1-2 Leca-sora, G1-2 sepeli, B1-2 biohiili) ja c) käyttövalmiit koesylinterit.

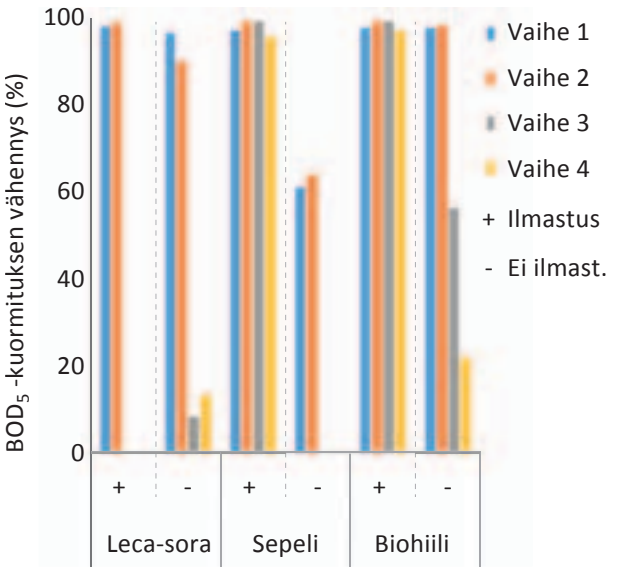
Kastelukoe toteutettiin neljässä viikon pituisessa vaiheessa (vaiheet 1-4), joiden olosuhteet on kuvattu **Taulukossa 1**. Kaikissa vaiheissa seurattiin sylinterien kasteluveden ja ulossuotautuvan veden laatua. Tutkimushuoneen lämpötilaa alennettiin ja kasteluveden ravinnepitoisuuksia pienennettiin kastelukokeiden edetessä. Veden viipymä sylintereissä oli 16 h. Vaiheiden 1-2 tulosten perusteella valittiin neljä rakennevaihtoehtoa jatkotutkimuksiin (vaiheet 3-4): ilmastettu sepeli, ilmastettu ja ilmastamaton biohiili ja ilmastamaton Leca-sora.

Kasteluvetenä käytettiin synteettistä hulevettä, jonka ravinnepitoisuudet vastasivat Helsinki-Vantaan lentoasemalta kerättyä veden laadun seuranta-aineistoa (**Taulukko 1**). Kasteluvedessä käytettiin tyypin 1 propyleeniglykoliliuosta siten, että kasteluveden propyleeniglykolipitoisuus (PG 66 mg/l) vastasi keskimääräistä biologista hapenkulutusta (BHK_5 73 mg/l). Tärkeimmät tutkitut laatuparametrit olivat PG, BHK_5, liuenneen hapen pitoisuus, kokonaistypen ja kokonaisfosforin pitoisuudet, heterotrofisten bakteerien määrä, pH sekä aistinvaraisesti tutkittu haju. Vedenlaatuanalyysit tehtiin Synlab Analytics & Services Finland Oy:n toimesta sekä Aalto-yliopiston vesilaboratoriossa. Lisätietoja kokeiden suorituksesta ja tuloksista on esitellyt Chaurand Mendez (2019).

Ilmastuksesta merkittävää hyötyä orgaanisen kuormituksen pienentämisessä

Kastelukokeissa iImastuksella oli merkittävä rooli rakenteen hyvän puhdistuskyvyn ylläpitämisessä. Ilmastetuissa sylintereissä propyleeniglykolista aiheutuneesta BHK_5-kuormituksesta pidättyi yli 95% (**Kuva 2**). Hyvä puhdistustulos saavutettiin kaikilla testatuilla suodatusmateriaaleilla (sepeli, Leca-sora ja biohiili) eikä hyvä puhdistustulos ollut riippuvainen kasteluveden ravinnepitoisuudesta tai kokeen aikaisesta ilman ja veden lämpötilasta.

Ilmastuksen puuttuminen heikensi koesylinterien puhdistustulosta BHK_5:n osalta erityisesti viimeisissä kastelukokeissa (vaiheet 3-4, **Kuva 2**), joissa kasteluveden ravinnepitoisuutta pienennettiin. Ilmastamattomien sylinterien osalta myös suodatusmateriaalien välillä havaittiin eroavuuksia puhdistusprosessissa. Ilmastamaton biohiilirakenne pidätti enää noin 20% BHK_5-kuormituksesta viimeisessä kastelukoevaiheessa ja Leca-rakenteen kohdalla vastaava puhdistustulos jäi noin 10% tasolle.



Kuva 2. Orgaanisen kuormituksen pienentyminen koesylintereissä biologisessa hapenkulutuksessa (BHK_5) havaittujen muutosten perusteella kastelukokeiden vaiheissa 1-4.

Taulukko 1. Kastelukokeen vaiheiden 1-4 erityispiirteet.

Vaihe	Kokeen suoritustapa	Koesylinterien määrä	Materiaalit ja toistot	Ilmastusmäärä (l/h/m²)	Lämpötila °C	Kasteluveden pitoisuudet
1	Kolumnit kyllästettiin kasteluvedellä, tyhjennys 16 h jälkeen	12	**Kuvan 1b** asetelma	~1360	21 ± 1°C	Pitkän ajan keskiarvot lentoasemalla: N_{kok} = 3,4 P_{kok} = 0,07
2	Sama kuin vaihe 1	12	Sama kuin vaihe 1	~1360	3 ± 1°C	Sama kuin vaihe 1
3	Sama kuin vaihe 1	5	Ilmastetut sylinterit: sepeli (2), biohiili (1) Ilmastamattomat sylinterit: biohiili (1), Leca-sora (1)	~680	2 ± 1°C	Pitkän ajan mediaani lentoasemalla: N_{kok} = 1,5 P_{kok} = 0,03
4	Jatkuvatoiminen kastelu	5	Sama kuin vaihe 3	~180-450	1.4 ± 0.6°C	Sama kuin vaihe 3

Ravinteiden pidättymisen eroja

Tutkimuksen päätavoitteen eli orgaanisen kuormituksen tarkastelun lisäksi saatiin tietoa myös ravinteiden pidättymisestä rakenteisiin. Anaerobiset olosuhteet edistivät typen poistumaa, jolloin kaikilla suodatusmateriaaleilla havaittiin typpipitoisuuden suhteen pääosin yli 90% reduktioita (**Kuva 3a**). Biohiilisylintereissä typpi pidättyi hyvin sekä ilmastetuissa että ilmastamattomissa sylintereissä, mikä vahvistaa esimerkiksi tiealueiden suodatusrakenteista aiemmin saatuja tuloksia biohiilen hyvästä typen reduktiokyvystä (Assmuth, 2018). On kuitenkin huomioitava, että ilmastamattomista biohiili- ja Leca-rakenteista alkoi vapautua fosforia kastelukokeiden viimeisessä vaiheessa (**Kuva 3b**). Ilmastaminen vaikutti yleisesti edistävän fosforin pidättymistä eli typen ja fosforin osalta hyvä puhdistustulos edellytti ainakin osin vastakkaisia olosuhteita.

Muita maanalaisen kosteikon toimivuuteen ja materiaalivalintoihin vaikuttavia havaintoja

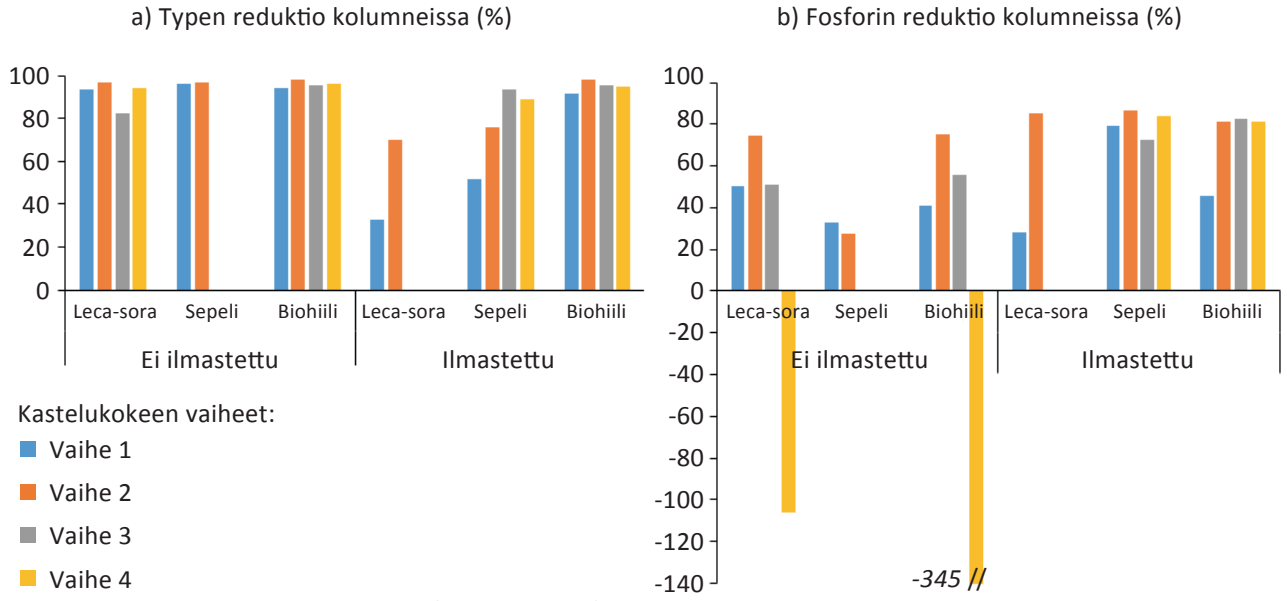
Propyleeniglykolin hajoamiseen anaerobisissa olosuhteissa liittyy hajoamistuotteiden haju. Laboratoriokokeessa hajuhaittoja ei aistittu ilmastetuissa sylintereissä, mutta ilmastamattomissa Leca- ja sepelirakenteissa hajuja esiintyi kaikissa kasteluvaiheissa. Biohiilisylintereissä hajuja ei juurikaan esiintynyt, joten biohiilellä näytti olevan aktiivihiilen kaltaisia hajuja adsorboivia ominaisuuksia.

Laboratoriokokeiden aikana havaittiin eroja testattujen materiaalien käyttäytymisessä, erityisesti rakenteiden pinnan painumisessa. Sepelisylintereissä painumista ei juurikaan havaittu kokeiden aikana. Tutkimusjakson aikana Leca-rakenteet painuivat 6 cm ja biohiilirakenteet n. 12 cm. Painuminen vaikutti puolestaan rakenteiden varastotilavuuteen, mikä kokeiden aikana pieneni Leca-sylintereissä 6% ja biohiilisylintereissä 12%. Vastaavasti myös rakenteeseen johdettava maksimivirtaama oli Leca- ja biohiilisylintereissä pienempi kuin sepelisylintereissä, jotta rakenteissa voitiin ylläpitää sama 16 h viipymä.

Parhaimmat käsittelyratkaisut?

Kylmän ilmaston lentoasemilla hulevesien käsittelytarve liittyy erityisesti orgaanisen aineksen kuormitukseen ja propyleeniglykolin hajoamiseen liittyviin hajuhaittoihin. Kaikki tutkitut materiaalit ylsivät hyviin puhdistustuloksiin myös vaativissa ympäristöolosuhteissa (alhainen lämpötila ja pienet ravinnepitoisuudet), kunhan rakenteita ilmastettiin. Ilmastus ehkäisi myös hajuhaittojen muodostumista. Helsinki-Vantaan lentoasemalla ilmastuksen kannalta edullisin vaihtoehto voi olla ajoittainen ilmastus, joka kytkeytyy automaattisesti päälle veden happipitoisuuden laskiessa liian alhaiseksi (Uggetti et al., 2016). Tarvetta maailmalla maanalaisissa kosteikoissa käytettyihin ravinnelisäyksiin ei havaittu ainakaan laboratoriokokeiden olosuhteissa, sillä Helsinki-Vantaan vesissä orgaanisen aineksen kuormitus on pienempää verrattuna ulkomaiden lentoasemiin (Freeman et al., 2015) johtuen propyleeniglykolin talteen keräyksestä jo jäänpoistoalueilla.

Ilmastusjärjestelmän lisäksi maanalaisen kosteikon kustannuksiin vaikuttaa merkittävästi rakenteeseen valittavan suodatusmateriaalin hinta. Laboratoriokokeiden perusteella optimaalisin ratkaisu on sepelitäyttöinen rakenne, joka oli materiaalikustannuksiltaan muita testattuja materiaaleja



Kuva 3. Kokonaistypen (a) ja kokonaisfosforin (b) reduktiot pitoisuuden suhteen koesylintereissä kastelukokeiden vaiheissa 1-4.

Maveplan

MAA- JA VESI-
RAKENTAMISEN
ASIANTUNTIJA

Maveplan Oy

Kiilakiventie 1
90250 Oulu
Puh. (08) 534 9400

Minna Canthin katu 25
PL 1096
70111 Kuopio
Puh. (017) 288 8130

Pohjustamme unelmia

www.maveplan.fi

edullisempi (**Taulukko 2**). Sepelivaihtoehtoa tukee myös se, ettei muiden rakennevaihtoehtojen puhdistustuloksissa havaittu merkittäviä etuja sepelirakenteeseen verrattuna. Lentoaseman maanalaisen kosteikon erityispiirre on, että tavoiteltu puhdistustulos voidaan saavuttaa lähinnä mikrobien toteuttaman biohajoamisen kautta. Tavanomaisissa kaupunkialueiden suodatusrakenteissa veden puhdistumista edistävät kiintoaineen poistaminen ja erilaiset geokemialliset prosessit. Uudenlaisten tekniikoiden ja vaativien kohteiden kohdalla rakenneratkaisujen testaaminen koemittakaavassa antaa varmuutta suunnittelussa tehtäviin päätöksiin.

Taulukko 2. Erilaisten suodatusmateriaalien kustannuksia (Holt et al. 2018). Hinnat sisältävät materiaalien yksikkökustannukset, testattujen suodatuskerrosten kustannukset (sepeli 100%, sepeli ja Leca 1:1 ja sepeli ja biohiili 1:1) sekä esimerkin rakennevaihtoehdosta, jossa sepelin joukkoon sekoitetaan kokeissa käytettyä pienempi määrä biohiiltä.

Materiaalivaihtoehto	Hinta €/m^3	Kustannukset € / suodatuskerros
Leca-sora 100%	40-75	
Biohiili 100%	200	
Sepeli 100%	20(*	130 000
Leca-sora + sepeli 1:1	38.75	251 875
Biohiili + sepeli 1:1	110	715 000
Sepeli + biohiili (7,5 cm krs)	33.5	217 750

*) Lähteen *Holt et al. (2018)* yksikköhinta vastaa pesemättömän sepelin hintaa. Kokeissa käytetyn pestyn sepelin hinta olisi n. 45 % korkeampi.

Kirjallisuus

Assmuth, E. 2017. Performance of roadside filtration systems in the treatment of stormwater. Master's thesis. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennetun ympäristön laitos. Espoo. Saatavilla: https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/30076?show=full

Chaurand Mendez, G. 2019. Performance of sub-surface flow wetlands for the treatment of airport runoff. Master's thesis. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennetun ympäristön laitos. Espoo. Saatavilla maaliskuusta 2019 alkaen: https://aaltodoc.aalto.fi/

Freeman, A.I., Surridge, B.W., Matthews, M., Stewart, M., Haygarth, P.M. 2015. Understanding and managing de-icer contamination of airport surface waters: A synthesis and future perspectives. Environmental Technology & Innovation, 3:46-62.

Holt, E., Koivusalo, H., Korkealaakso, J., Sillanpää, N., Wendling, L. 2018. Filtration Systems for Stormwater Quantity and Quality Management: Guideline for Finnish Implementation. VTT Technology, no. 338, VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.

Uggetti, E., Hughes-Riley, T., Morris, R.H., Newton, M.I., Trabi, C.L., Hawes, P., Puigagut, J., García, J. 2016. Intermittent aeration to improve wastewater treatment efficiency in pilot-scale constructed wetland. Science of the Total Environment, 559:212-217.

Rakennustyömaiden vesienhallinnan keinoja savimailla

Rakennustyömaiden valumavedet voivat olla merkittävä riski läheisten pintavesien laadulle. Erityisesti savimailla kiintoainekuormitus voi olla erittäin suurta ja imeytysratkaisujen toteutus vaikeaa. Kaarinan Rauhalinnassa testattiin suodatuspatojen ja eroosion hallinnan toimivuutta työmaavesien hallinnassa. Tutkimuksen perusteella huomattiin, että teknisesti yksinkertaisilla, kustannuksiltaan edullisilla ratkaisuilla voidaan huomattavasti vähentää kuormitusta.

PIIA LESKINEN
DI, FT, tutkimusvastaava
Turun ammattikorkeakoulu,
Vesi- ja ympäristötekniikan
tutkimusryhmä
piia.leskinen@turkuamk.fi

HEIDI VILMINKO
suunnittelija
Turun ammattikorkeakoulu,
Vesi- ja ympäristötekniikan
tutkimusryhmä
heidi.vilminko@turkuamk.fi

Rakennustyömaiden hulevesien aiheuttamaan kuormitukseen on Suomessakin viime vuosina alettu kiinnittää huomiota. Vaikka yksittäinen rakennustyömaa on kestoltaan rajallinen, voidaan rakennustyömaiden aiheuttamaa kuormitusta pitää jatkuvana, sillä kaupunkiympäristössä on käytännössä jatkuvasti meneillään lukuisia rakennushankkeita. Rakennustyömaalta tulevan hulevesikuormituksen määrä ja laatu vaihtelevat suuresti, riippuen mm. alueen maaperästä, kaltevuudesta, sääolosuhteista ja siitä, mitä rakennetaan. Tyypillisesti rakennustyömaalta tuleva kiintoainekuormitus on moninkertaista verrattuna valmiiseen kaupunkialueeseen, minkä lisäksi tapauskohtaisesti myös ravinne- ja haitta-ainepitoisuudet saattavat olla korkeita (Sillanpää ja Koivunen 2015).

Varsinais-Suomessa maaperä koostuu pääosin savesta ja kalliosta. Taajamissa maaperältään rakentamiseen sopivimman alueet on yleensä jo otettu käyttöön ja yhä enenevässä määrin on alettu rakentaa myös alueille, joissa maaperä on pehmeää savea. Savimaille rakennettaessa maaperä tavallisesti avataan koko rakennettavalta alueelta, jolloin sateiden aikana suuret määrät savea valuu alapuolisiin vesistöihin. Turun alueen ilmastolle on tänä päivänä tyypillistä, että talviaikana ei saada pysyvää lumipeitettä, vaan sulamisen ja jäätymisen jaksot vaihtelevat ja vettä sataa usein. Tällaisten ilmasto- ja maaperäolosuhteiden yhdistelmä asettaa hulevesien hallintaan erityisiä haasteita, jotka ilmastonmuutoksen edetessä tulevat lisääntymään.

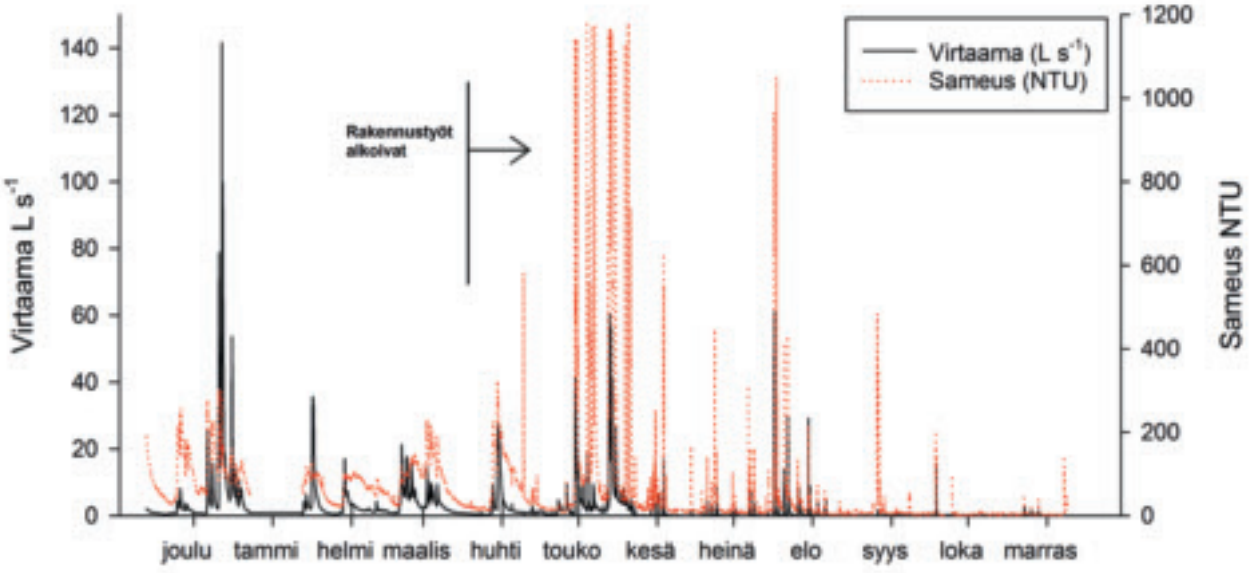
Turun ammattikorkeakoulun hankkeessa tutkittiin savimaalle rakennettavan asuinalueen infratyömaalta tulevaa kuormitusta ja erilaisten kuormituksen hallinnan ratkaisujen toimivuutta. Tutkimushankkeen aikana Kaarinan Rauhalinnaan rakennettiin uutta asuinaluetta kahdessa vaiheessa (**Kuva 1**). Rakennusalue on entisen jalostussikalan läheistä savipeltoa, joka viettää kohti suojeluarvoiltaan merkittävää Ladjakoskenojaa. Estääkseen fosforipitoisuuksiltaan korkean savimaan valumisen Ladjakoskenojaan ja sieltä mereen, Kaarinan kaupunki halusi kiinnittää erityistä huomiota alueen hulevesien hallintaan.

Kuormitus ensimmäiseltä alueelta

Ensimmäisen rakennusalueen vedenlaatua ja virtaamaa seurattiin jatkuvatoimisilla mittalaitteilla lähes vuoden mittaisen jakson ajan, josta ensimmäiset kolme kuukautta sijoittuivat aikaan ennen rakennustöiden aloitusta. Vesinäytteitä otettiin sadetapahtumien yhteydessä.

Rakennustöiden aloituksen jälkeen veden samentuminen suhteessa virtaamatilanteen intensiteettiin nousi huomattavasti, verrattaessa mittaustuloksiin ennen rakennustöiden aloitusta. Pienempienkin sateiden seurauksena veden mukana lähti liikkeelle paljon kiintoainesta nostaen sameuden keskimääräisiä pitoisuuksia sekä huippuarvoja (kts. kuvaaja seuraavalla sivulla). Lisäksi uoman vesi pysyi sameana pidempään myös sadetapahtumien jälkeen.

Mittausjaksolla ennen rakennustöiden aloitusta sameusarvot ylittivät 300 NTU yhden mittauksen aikana. Rakennustöiden aloituksen jälkeen, vastaavan pituisella jaksolla, yli 300 NTU sameusarvoista tehtiin 270 havaintoa. Mittauksista 92 ylitti 1 000 NTU, joka merkitsee erittäin suurta kiintoainemäärää vedessä, aiheuttaen haittaa vesiympäristölle (Bilotta ja Brazier 2008). Kokonaiskuormitus laskettiin virtaamapainotteisesti kokonaisfosforin ja kiintoaineen osalta. Laskennallinen kokonaisfosforikuormitus tutkittavan uoman valumaalueelta oli noin 150 kg/km²/a ja kiintoainekuormitus 100 000 kg/km²/a.



Kuva 1. Kaarinan Rauhalinnan rakennusalueet ja mitta-asemat. Sisältää Maanmittauslaitoksen Ortokuva ja Laserkeilaus 2017 -aineistoa.

Suodatuspadot

Ensimmäisen rakennusalueen työmaa-aikaisen kuormituksen hallintaan rakennettiin suodatuspatoketju, jonka tarkoituksena oli suodattaa ja laskeuttaa työmaa-alueen valunnasta pois kiintoainesta ja siihen sitoutuneita ravinteita. Padot rakennettiin kuormituksen ehkäisemisen kannalta myöhään, vasta elokuussa 2015. Patojen toiminnassa todettiin ongelmia jo ensimmäisten sateiden aikana. Työmaalta virtaavan veden mukana kulkeutuva savi tukki pääpadon sisällä olleen suodatinkankaan ja vesi söi itselleen ohivirtausreittejä pienempien patojen sivuille, saviselle pellolle (**Kuva 2**). Seuraavien sateiden aikana vesi kuljetti myös padon päällystykseen käytettyä hiekkaista soraa alavirtaan (**Kuva 3**). Vesinäytteiden tulosten perusteella veden fosfori- ja kiintoainepitoisuudet nousivat veden kulkiessa patojen ohi alajuoksulle.

Kuva 2. Patojen tukkeutumisen vuoksi uoman vesi on siirtynyt kulkemaan pellolle.

Kuva 3. Padon takaluiskan täytössä käytetty hiekkainen sora kulkeutuu veden mukana alajuoksulle.

Se, että patoketju ei toiminut suunnitellusti missään vaiheessa, johtui ongelmista niin suunnittelussa, kuin toteutuksessakin. Suunnitelmissa ei ollut otettu huomioon, että suodatinkangas tukkeutuu helposti ja padon yli virtaavan veden ohjaamiseksi olisi pitänyt olla ylivuotoaukkoja. Lisäksi rakenteiden toteutuksessa oli tehty selkeitä poikkeamia suunnitelmiin nähden. Esimerkiksi patoa ympäröivien maavallien ja patorakenteiden väliin oli jätetty väli, josta vesi pääsi helposti virtaamaan padon ohi ja padon alapuolen täytössä oli kiven lisäksi käytetty hyvin hienorakeista mursketta, jota suunnitelmassa ei ollut. Urakoitsija, suunnittelija (ulkopuolinen konsultti) ja kunnan valvoja eivät missään vaiheessa käyneet yhdessä työmaalla, minkä vuoksi tiedonkulku ei toiminut osapuolten välillä ja valvonta oli riittämätöntä. Patojen suunnittelija laati jälkeenpäin patojen korjaamiseksi ja toimintakuntoon saattamiseksi suunnitelman, jota ei kuitenkaan toteutettu rakenteiden väliaikaisuuden vuoksi.

On kuitenkin todennäköistä, että patoketjulla ei oltaisi saatu hallittua suuria kiintoainemääriä ja virtaamavaihteluita, vaikka se olisikin suunniteltu ja toteutettu ilman yllämainittuja ongelmia.

Toisen alueen eroosionhallintakeinot

Toisella rakennusalueella työmaavesien haitallisten vaikutusten ehkäisemiseksi urakoitsijalle annettiin ohjeistukset eroosion hallintatoimista, joita työmaalla tulisi noudattaa. Ohjeistukset koskivat maamassojen läjitystä, olemassa olevan kasvillisuuden säästämistä ja työmaa-ajoneuvojen kulkua rakennettavalla alueella. Ohjeiden mukaan maamassoja ei saisi läjittää puron varsille niin, että sateiden aikana savi pääsisi valumaan vesistöön. Ylimääräisiä maamassoja ei saisi varastoida alueella, vaan ne tulisi siirtää mahdollisimman pian pois. Työmaan alueella ennestään kasvavaa matalaa heinikkoa olisi säästettävä mahdollisimman paljon ja maaperän pinnan rikkominen ja kasvillisuuden poistaminen olisi sallittua vain infrarakennustöiden kannalta välttämättömiltä alueilta. Maan tiivistymisen välttämiseksi työajoneuvoliikenne oli rajattava vain töiden kannalta pakollisille reiteille. Näillä toimintatavoilla oli tarkoitus säilyttää mahdollisimman paljon veden luonnollista kiertoa ja minimoida suoran pintavalunnan syntymistä. Lisäksi, kun työkoneet eivät tiivistä koko alueen maaperää, pystytään ylläpitämään luonnollisia olosuhteita veden pidättymiselle.

Työmaalta tulevan mahdollisen kuormituksen määrää seurattiin jatkuvatoimisella vedenlaadun mittalaitteella, vesinäytteillä sekä viikoittaisilla havaintokäynneillä. Kohteeseen asennettiin myös sademittari, jotta alueen sadetapahtumien ajankohtaa ja intensiteettiä pystyttäisiin paremmin seuraamaan. Jatkuvatoimisen vedenlaadun seurannan ja vesinäytteiden tulosten perusteella toisen alueen rakennustyöt eivät aiheuttaneet havaittavaa kuormitusta alapuoliseen Ladjakoskenojaan. Koska mittaukset tehtiin Ladjakoskenojassa, jonka valuma-alue on suuri ja varsinainen tutkimusalue on vain pieni osa sitä, ei ensimmäisen ja toisen rakennusvaiheen aikana tehtyjen vedenlaatumittausten tiedot ole kvantitatiivisesti

Kuva 4. Toisen rakennusalueen työt käynnissä.

vertailtavissa. Havaintokäynnit kuitenkin tukivat mittaustuloksia. Niiden aikana huomattiin, että runsaasti kiintoainesta sisältävää pintavaluntaa ei toisen rakennusvaiheen aikana päätynyt käytännössä lainkaan vastaanottavaan vesistöön, sillä kaikki valunta imeytyi alueen kasvillisuuskaistoihin. Tutkimuksen perusteella voidaankin todeta urakoitsijoille annettujen ohjeiden vaikuttaneen merkittävästi työmaan haittavaikutuksien ehkäisyssä.

Keinojen käytännön toimivuus

Ohjeistukset toisen rakennusalueen hallintakeinoihin annettiin vasta urakkasopimuksen hyväksymisen jälkeen. Tästä huolimatta urakoitsijan suhtautuminen esitettyihin toimiin oli erittäin positiivinen ja niiden toteutuksen ei katsottu aiheuttaneen merkittävää lisätyötä. Säännöllisen seurannan ansiosta ohjeiden vastaisiin toimintatapoihin pystyttiin puuttumaan ajoissa ja tilanne saatiin korjattua. Kommunikaatio tilaajan, urakoitsijan ja lukuisten aliurakoitsijoiden välillä onkin ensiarvoisen tärkeää, jotta ohjeistetut toimintatavat toteutuvat työmaalla. Suurin hyöty saavutetaan, kun kaikki työmaan toimijat ymmärtävät pientenkin toimien, esimerkiksi maamassojen läjityspaikkojen ja ajoreittien, tarkoituksen ja tärkeyden.

Jotta rakennusurakoiden tilaajat, esimerkiksi kunnat, pystyisivät vaikuttamaan mahdollisimman paljon työmaavesien hallintakeinojen toteuttamiseen, tulisi ne ottaa huomioon jo kilpailutusvaiheessa ja liittää osaksi urakkasopimusta. Tällöin hallintakeinojen toteutus kuuluisi kiinteänä osana urakkaan eikä aiheuttaisi lisäkuluja tilaajalle.

Työmaavesien hallintarakenteiden toteutuksessa kommunikaatio suunnitteluketjun eri vaiheissa mahdollistaa parhaimman lopputuloksen. Toimiva suunnitelma tarvitsee taustakseen kattavat tiedot kohteen ominaispiirteistä ja mahdollisista ongelmista, eikä paraskaan suunnitelma ole riittävä, mikäli sitä ei toteuteta oikein. Tilaajan aktiivinen osallistuminen niin suunnittelu- kuin rakennusprosessiin edesauttaa tavoitteiden toteutumista.

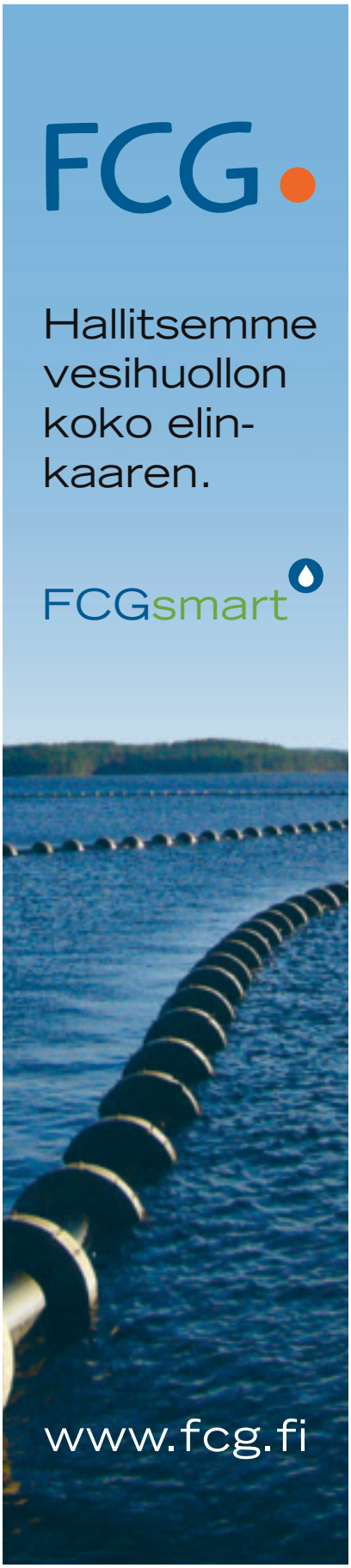
Loppupäätelmät

Tutkimukset osoittavat, että jo pelkästään työmaan suunnitelmallinen toteutus, alueen alkuperäisen kasvillisuuden hyödyntäminen ja maaperän suojelu ovat tehokkaita ja kustannuksiltaan edullisia keinoja hallita työmaavesistä aiheutuvaa kuormitusta. Tiivis vuoropuhelu tilaajan, suunnittelijan ja rakentajien välillä on ratkaisevan tärkeää työmaavesien hallinnan onnistumisen kannalta. Ratkaisut eivät teknisesti ole monimutkaisia, mutta yksinkertaistenkin keinojen toteutuminen vaatii sitä, että kaikki ymmärtävät mitä on tarkoitus tehdä ja miksi.

Kirjallisuus

Sillanpää Nora, Koivusalo Harri 2015. Rakennustyömaiden hajakuormitus haltuun hulevesien hallintaa kehittämällä. Vesitalous 4/2015.

G.S. Bilotta, R.E. Brazier 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. Water Research 42 (2008) 2849-2861.



Hulevesitaksasta alennusta jätevesimaksuihin

Vesihuoltolain (VHL) ja Maankäyttö- ja rakennuslain (MRL) uudistuksen myötä kokonaisvastuu hulevesien hallinnasta asemakaava-alueilla siirtyi kunnille. Kunnilla on MRL:n mukaan oikeus periä julkisoikeudellista hulevesimaksua kiinteistöiltä, jotka sijaitsevat kunnan hulevesijärjestelmän vaikutusalueella. Kunnan hulevesijärjestelmä käsittää kunnan hulevesien hallintaan liittyvät rakenteet ja laitteet, joita voivat olla esimerkiksi avo-ojat, erilaiset viivytys- ja imeytysrakenteet sekä sellaiset hulevesiviemärit, jotka ovat kunnan omistuksessa.

Kiinteistöliiton viimesyksyisen Indeksitaloselvityksen perusteella 51:stä kaupungista 19 kaupungissa oli käytössä tällainen julkisoikeudellinen hulevesimaksu. Lisäksi 13 kaupungissa oli hulevesimaksu suunnitteilla tai selvityksessä.

Hulevesimaksuissa on ollut suuria kaupunkikohtaisia eroja, joista nostamme tässä muutamia esille. Osassa kaupunkeja on hulevesimaksun käyttöönoton yhteydessä hieman leikattu jätevesitaksaa. Osassa hulevesimaksu on taas tullut muiden taksojen päälle. Osassa kaupungeissa kaupunki laskuttaa hulevesimaksut itse, toisissa taas vesilaitos. Tästä syntyy se huomattava ero, että vesilaitoksilla on laskussa mukana arvonlisävero, kun kaupungilla taas ei.

Voidaan kysyä, kohteleeko julkisoikeudellinen hulevesimaksu kiinteistönomistajia tasaisesti ja oikeudenmukaisesti. Esimerkiksi kiinteistönomistaja, joka on liittynyt hulevesijärjestelmään, maksaa hulevesimaksua saman verran kuin naapuri, joka ei ole halunnut liittyä järjestelmään. Vastaavalla tavalla esitetty maksu ei kohtele oikeudenmukaisesti kiinteistöomistajaa, joka on esimerkiksi huolehtinut tontilla tapahtuvasta hulevesien imeytyksestä omatoimisesti. Maksun suuruutta tulisi lisäksi mielestämme arvioida kiinteistön ominaisuuksien ja aiheuttamisperiaatteen mukaisesti.

Kiinteistöliitto on jo vuosien ajan tuonut esille asumisen nopeaa kustannuskehitystä. Kaupunkikohtaiset kiinteistökustannukset ovat vuosina 2009–2018 nousseet Kiinteistöliiton vertailussa keskimäärin 39 prosenttia. Samalla jaksolla on elinkustannusindeksi noussut ainoastaan noin 13 prosenttia. Asuminen haukkaa siis entistä suuremman osan käytettävissä olevista tuloista. Asukkaiden maksurasitteen nousu on taitettava. Kun kaupungit ottavat käyttöön julkisoikeudellisen hulevesimaksun, olisi mielestämme loogista, että jätevesimaksut laskisivat vastaavalla tavalla, koska huolehtimisvelvoite poistuu vesihuoltoyhtiöltä.

Hulevesimaksut ovat aiheuttaneet kiinteistönomistajille hämmennystä. Kysymyksiä olisi paljon, mutta vastauksia on meille tulleen palautteen perusteella ollut vaikeata saada. Hulevesimaksuista ei ole viestitetty, eikä vastauksia esitettyihin kysymyksiin ole jälkikäteenkään löydetty. Kiinteistönomistajat toivovat, että kaupungit arvioisivat hulevesimaksuja uudelleen ja lisäksi kiinnittäisivät tähänastista enemmän huomiota tiedonkulkuun kiinteistönomistajille ja kuntalaisille.

KRISTEL PYNNÖNEN
apulaispäälakimies, Kiinteistöliitto

JUKKA KERO
pääekonomisti Kiinteistöliitto
e-mail: etunimi.sukunimi@kiinteistoliitto.fi

Metallimalmikaivostoiminnan vesistö- ja terveysvaikutusten kokonaisvaltainen riskinarviointi

ANNA K. KARJALAINEN
FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy

JOHANNA SALMELIN,
JAANA WALLIN,
HANNA AROLA,
JUSSI VK KUKKONEN
Jyväskylän yliopisto

MARJO NIITTYNEN,
PÄIVI MERILÄINEN,
TARJA PITKÄNEN,
ILKKA T. MIETTINEN
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

MATTI T. LEPPÄNEN,
MARIE KORPPOO,
MARKUS HUTTUNEN
Suomen ympäristökeskus

Kaivostoiminnasta aiheutuu päästöjä, joita rajoitetaan lupamenettelyillä. Ympäristöluvissa määritellään kuormitusrajojen lisäksi pitoisuusraja-arvot vesistöön päästettäville jäännösmetalleille. Kokonaisvaltainen kuva kaivostoiminnan haitallisista vaikutuksista saadaan, kun ekologisten vaikutusten arvioinnissa hyödynnetään myös biotestejä ja tietoja eliöyhteisössä tapahtuvista muutoksista, sekä kuvataan terveysriskin suuruutta tunnuslukujen avulla.

Riskinarviointi on prosessi, jossa arvioidaan haitallisten vaikutusten ilmenemisen todennäköisyyttä seurauksena altistumisesta yhdelle tai useammalle kuormitustekijälle. Integroivassa, kokonaisvaltaisessa riskinarvioinnissa yhdistetään ympäristölle aiheutuvien riskien ja ihmisille aiheutuvien terveysriskien arviointi. Ensin muodostetaan koko riskinarviointiprosessin, arviointikriteerit ja analyysisuunnitelman kattava käsitteellinen malli (**Kuva 1**). Seuraavaksi arvioidaan eliöyhteisöjen ja ihmisten altistuminen ja siitä seuraavat ympäristö- ja terveysvaikutukset. Lopuksi tiedot yhdistetään riskin luonnehtimiseksi. Jos altistumista ei ole, ei haittavaikutuksiakaan voi muodostua; pelkkä vaaran havaitseminen ei aiheuta riskiä. Ympäristö- ja terveysriskejä arvioitaessa tulee altisteen pitoisuutta ensin verrata raja- ja ohjearvoihin. Raja-arvojen ylittyessä riskien suuruutta kuvataan tunnuslukujen, kuten **vaaraosamäärän** (*hazard quotient*, HQ), ja terveysriskien osalta lisäksi **turvamarginaalin** (*margin of safety*, MOS), avulla (**Kuva 2**).

Kokonaisvaltaisessa riskinarvioinnissa paikkakohtaisten ympäristö- ja terveysriskien suuruusluokkaa arvioidaan rinnakkain ja tulos ilmoitetaan sekä erillisinä että yhdistettynä riskiluokkana. Kokonaisvaltainen riskinarviointi muodostaa vahvan perustan ympäristövaikutusten hallinnalle ja päätöksenteolle, ja siten ympäristön ja ihmisten suojelemiselle.

Tapaustutkimus – esimerkkinä Terrafamen ja Pyhäsalmen kaivokset

Kokonaisvaltaisessa riskinarvioinnissa sovellettiin monimuuttujallista menetelmää (Leppänen ym. 2015, SETAC 2018), jossa yhdistetään kemialliset, ekotoksikologiset ja toksikologiset tiedot paikkakohtaisen kokonaisriskin luonnehtimiseksi. Selvityksessä keskityttiin vesistövaikutuksiin ja pintaveden kautta tapahtuvan altistumisen terveysvaikutuksiin ihmisillä, joten tarkastelun ulkopuolelle rajautuivat muut mahdolliset kaivostoiminnan ympäristö- ja terveysriskit. Selvitykseen valittiin kaksi erityyppistä kaivosta: Pyhäsalmen (päämalmit kupari, Cu; sinkki, Zn ja pyriitti, FeS2) ja Terrafamen (päämalmit nikkeli, Ni; Zn, Cu ja koboltti, Co) kaivokset. Terrafamen kaivos sijaitsee vedenjakaja-alueella, ja kaivoksen käsiteltyjä jätevesiä on johdettu sekä Oulujoen että Vuoksen vesistöihin. Pyhäsalmen tutkimusalue sijaitsee Pyhäjoen valuma-alueella.

Vertailualueiksi valittiin sekä lähellä kuormituskohteita sijaitsevia että Kymijoen valuma-alueella olevia järviä ja jokia, jotka eivät vastaanota käsiteltyjä päästövesiä.

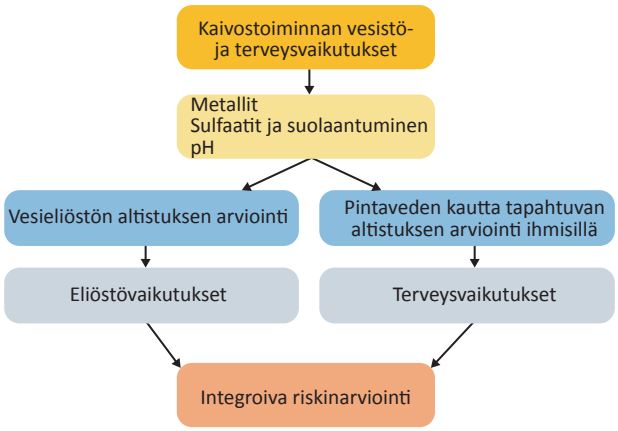
Ekologisessa riskinarvioinnissa arvioitiin vesieliöstön altistumista metalleille ja sulfaatille (SO4) vertaamalla näiden aineiden pitoisuuksia sedimentissä ja vedessä vesieliöstön suojelemiseksi asetettujen pitoisuuksien raja-arvoihin (YM 2015, BC 2013). Pintavesien metallipitoisuuksia (Ni, lyijy, Pb; kadmium, Cd; Zn, Cu) verrattiin asetettuihin biosaataviin ympäristölaatunormeihin ottaen huomioon paikalliset taustapitoisuudet haitatonta pitoisuutta määritettäessä. Sinkkiin ja kupariin sovellettiin ruotsalaisia laatunormeja. Sulfaatin osalta huomioitiin myös raja-arvon ylityksen suuruus. Pintavesien pH huomioitiin siten, että happamuuden lisääntyessä arvioitu riski vesieliöstölle kasvoi.

Ekologiseen riskinarviointiin sisältyvillä laboratoriobiotesteillä ja maastokokeilla selvitettiin sedimenttien ja veden haitallisuutta pohjaeläimille ja kaloille. Biotesteillä selvitettiin tutkimuskohteiden sedimenttien vaikutusta pohjaeläimiin kuuluvien harvasukamatojen kasvuun ja lisääntymiseen. Siian lisääntymismenestykseen vaikuttavia mangaanisulfaatin (MnSO4) pitoisuuksia (Arola ym. 2017) verrattiin tutkimuspaikkojen vuosikeskiarvoihin, ja ahvenkoiraiden lisääntymispotentiaalia ja kuntoa kuvaavia muuttujia vertailualueiden vastaaviin muuttujiin. Lisäksi verrattiin mikrobiyhteisön koostumusta käsiteltyjä kaivosjätevesiä vastaanottavien ja vertailujärvien välillä.

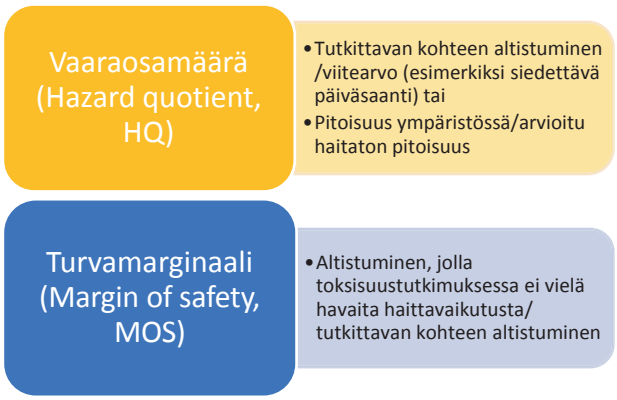
Terveysriskiä arvioitiin elohopean (Hg), mangaanin (Mn), nikkelin ja sulfaatin osalta. Sulfaatti on määrällisesti merkittävä päästö kummallakin kaivoksella, Terrafamessa sama koskee myös mangaania ja nikkeliä. Elohopea taas on erittäin myrkyllinen aine, jonka pitoisuus Suomen sisävesien petokaloissa on yleisesti sellaisella tasolla, että turvallinen altistus voi ylittyä kalaa ravinnoksi käytettäessä. Terveysriskiä arvioitiin sen perusteella, ylittyvätkö juomavedelle tai syötävälle kalalle asetetut pitoisuusarvot. Jos raja-arvo(t) ylittyivät, terveysriskin suuruutta kuvattiin vaaraosamäärän ja turvamarginaalin avulla (**Kuva 2**), jotka laskettiin Kaivosvesien riskinarviointimallilla (KAVERI-malli. Linkki artikkelin lopussa).

Kokonaisnäkemyksen saamiseksi todellisista terveysriskeistä on vaaranarvioinnin lisäksi olennaista arvioida todennäköisyys altistumiselle. Osaa järvistä (Kallio- ja Kivijärveä sekä Kolmisoppea) koskevat rajoitukset, joiden mukaan järviveden talous- tai virkistyskäyttöä tai järvestä pyydetyn kalan käyttöä ravinnoksi ei suositella. Tällöin altistumista tapahtuu vain, jos viranomaisten ohjeita ei noudateta. Tiedossamme ei ole, että muille tutkituille järville olisi asetettu käyttörajoituksia. Tällöinkin elohopeaa kerryttävien kalalajien, erityisesti hauen, käyttöä ravinnoksi koskevat Ruokaviraston antamat poikkeukset Valtion ravitsemusneuvottelukunnan yleisiin kalan syöntisuosituksiin.

Muuttujat luokiteltiin neliportaisella asteikolla siten, että arvioitu riskiluokka kasvoi mitä useamman muuttujan arvo poikkesi vastaavasta vertailualueen arvosta, tai mitä useampia pitoisuuksien raja-arvoja ylittyi. Lopullista kokonaisvaltaista paikkakohtaista riskinarviointia varten ympäristö- ja terveysriskeistä laskettiin keskiarvo, numeeriset arvot pyöristettiin lähimpään tasalukuun ja riskiluokka esitettiin seuraavasti: ei riskiä (+/–), sekä pieni (+), kohtalainen (++) ja suuri (+++) riski. Terveysriskinarvion riskiluokka (+/–) tarkoittaa, ettei riski ole kohonnut verrattuna vastaavaan vesistöön, jossa tutkittujen aineiden pitoisuudet ovat raja-arvojen alapuolella, kun taas riskiluokka (+++) tarkoittaa, että 66–100% käytetyistä raja-arvoista tai terveysriskiä kuvaavista tunnusluvuista poikkeaa hyväksyttävästä/terveydelle turvalliseksi arvioidusta tasosta ja näin ollen viittaa selvästi kohonneeseen terveysriskiin altistustilanteessa. Riskiluokat (+) ja (++) vastaavat tilannetta, jossa 11–34% ja 34–66% käytetyistä raja-arvoista/



Kuva 1. Kokonaisvaltaisen, integroivan riskinarvioinnin yksinkertaistettu käsitteellinen malli.



Kuva 2. Vaaraosamäärän ja turvamarginaalin määritelmät.

tunnusluvuista ylittyy tai viittaa terveysriskiin. Vastaavasti ekologisen riskinarvioinnin vesien metallipitoisuuksien raja-arvotarkastelussa luokat ovat 20% (+), 40–60% (++) ja 80–100% (+++), ja muissa muuttujissa riskiluokkien merkitys muodostuu vastaavantyyppisesti huomioiden muutoksen suuruus suhteessa vertailualueisiin.

Ympäristö- ja terveysriskit samansuuntaisia

Arvioitujen ympäristö- ja terveysriskien suuruus oli monilla paikoilla samansuuntainen (**Taulukko 1**). Vain Pyhäsalmella arviot poikkesivat siten, että vaikka terveysriskejä ei havaittu, vesieliöstölle riskejä arvioitiin aiheutuvan. Järvien sedimenttipitoisuudet heijastelivat yläpuo-

Taulukko 1. Paikkakohtaisen kokonaisvaltaisen riskiarvioinnin ympäristö- ja terveysriskimuuttujat, ja lopullinen riskiluokka: ei riskiä (+/–), sekä pieni (+), kohtalainen (++) ja suuri (+++) riski. Tutkimusaika 2015–2016. Tyhjä solu: tietoa ei saatavilla tai ei sovellettavissa tälle paikalle.

Vaikutusalue/ vesistöalue	Paikka	Ekologinen riskinarviointi									Terveysriskin arviointi			Kokonaisvaltainen riskinarviointi
		Sed. pit[a]	HQ AA-EQS[b]	HQ SO_4[c]	Min-pH	Mikrobiyhteisö[d]	Biotestit sed.[e]	Siian lisääntymismenestys ($MnSO_4$)[f]	Ahvenen lisääntymispotentiaali ja kunto (koiraat)[g]	Ympäristöriskit	Mn, Ni, SO_4[h]	Hg[i]	Terveysriskit	
Terrafame/ Oulujoki	Kalliojärvi	+	+	++	+/–	+++	++	++		++	++(+)	+++	+++	+++
	Kolmisoppi	+	+	+	+/–	++	+	+		+	++(+)	+++	+++	++
	Jormasjärvi keskiosa	+	++	+/–	+/–	+	+	+	++	+	+/–	+	+	+
	Jormasjärvi pohjoinen	+	++	+/–	+/–	+	++	+	++	+	+(+)	+	+	+
Terrafame/ Vuoksi	Ylälumijärvi	++	++	+	+		+++	+		++	++(+)		++	++
	Kivijärvi	+	+	++	+/–	+++	++	++	++	++	++(+)	++	++	++
	Laakajärvi pohjoinen	+/–	+/–	+	+	+	+	+	++	+	+/–	++	+	+
	Laakajärvi etelä	+/–	+/–	+/–	+/–	+	++	+	++	+	+/–	++	+	+
Pyhäsalmi/ Pyhäjoki	Kirkkoselkä	++	+/–	+/–	+/–	+	+	+/–		+	+/–	+/–	+/–	+
	Junttiselkä etelä	+	+/–	+/–	++	+++	+++	+		+	+/–	+/–	+/–	+
	Junttiselkä pohjoinen	+	+/–	+	+/–	+++	++	+		+	+/–	+/–	+/–	+

a Pintasedimenttien orgaanisen aineen ja saven määrään normalisoituja metallipitoisuuksia verrattiin Ympäristöministeriön ruoppaus- ja läjitysohjeen (YM 2015) raja-arvoihin
b Järviveden Cd-, Ni-, Pb-, Cu- ja Zn-pitoisuuksia verrattu näille asetettuihin vuosikeskiarvoisiin ympäristölaatunormeihin; HQ (Hazard Quotient)=aineen arvioitu pitoisuus ympäristössä)/aineen arvioitu haitaton pitoisuus
c Järvien päällys- ja alusveden sulfaattipitoisuuksia (SO_4^{2-}) verrattu Kanadassa pehmeälle vedelle asetettuun raja-arvoon 128 mg l^{-1} (BC Ministry of Environment 2013)
d Niittynen ym. 2018
e Lumbriculus variegatus-harvasukamadon kasvu ja lisääntyminen
f Arola ym. 2017
g Koiraiden ruhon, maksan ja sukurauhasten tuoremassa suhteessa kalan kokonaispituuteen sekä siittiöiden määrä ja liikkuvuus
h Ylittyykö juomaveden suosituspitoisuus? Kevään 2015 päällysvesinäytteet. Mangaanin osalta on erikseen huomioitu, ylittyykö löylyveden suosituspitoisuus. Nikkelin osalta ylitykset on merkitty sulkuihin, koska ne olivat vähäisiä eivätkä lisänneet terveysriskiä vaaraosamäärän tai turvamarginaalin perusteella.
i Ylittyykö raja-arvo syötävälle kalalle (huomioitu hauki ja ahven: EVIRA 2015, AHMA 2016) ja/tai HQ (Hazard quotient, vaaraosamäärä); onko MOS (Margin of safety, turvamarginaali) riittävä

lisen kaivoksen metallituotantoa siten, että Terrafamen lähimmissä järvissä sedimentin Ni-pitoisuudet olivat yleisesti vesieliöstölle haittaa aiheuttavalla tasolla, ja vastaavasti Cu-pitoisuudet Pyhäsalmen kaivoksen päästövesiä vastaanottavassa Pyhäjärvessä. Myös Zn- ja Cd-pitoisuudet olivat monin paikoin haitallisen korkealla tasolla, kun taas vertailupaikoilla sedimentin metallipitoisuudet eivät ylittäneet haitallisena pidettyjä tasoja. Vesien Ni-, Zn- ja Cd-pitoisuudet ylittivät vuosikeskiarvoiset ympäristölaatunormit usealla järvellä Terrafamen alueella (**Taulukko 1**). Pyhäjärvellä ei veden metallipitoisuuksien laatunormien ylityksiä havaittu.

Metallien biosaatava osuus vedessä arvioitiin bioligandimallilla. Yhdistettynä VEMALA-kulkeutumismalliin metallien pitoisuuksia ja haitallisuutta voitaisiin jatkossa ennustaa reaaliajassa kaivoksen normaalin kuormituksen ja poikkeuksellisen päästön aikana.

Veden SO_4-pitoisuudet alittivat vesieliöstölle haitalliselle pitoisuudelle asetetun raja-arvon kaikilla vertailupaikoilla. Kallio- ja Kivijärvellä SO_4-pitoisuudet olivat erittäin korkeat, mutta raja-arvon ylityksiä ei havaittu enää Jormasjärvessä. Vuoksen vesistöalueella SO_4-pitoisuudet ylittivät raja-arvon aina Laakajärven pohjoisosiin saakka, Pyhäjärvellä ainoastaan Junttiselän pohjoisosassa.

Mikrobiyhteisö oli muuttunut kuormituspaikoilla verrattuna vertailualueisiin, ja sedimenteillä havaittiin olevan haitallisia vaikutuksia pohjaeläimille. Veden metalli- ja sulfaattipitoisuudet olivat paikoin tasolla, joka voi haitata kalojen lisääntymistä. Raja-arvojen ylitykset juomavedelle (Mn, Ni, SO_4) ja löylyvedelle (Mn) on esitetty **Taulukossa 1**. Syötävälle kalalle asetettujen Hg-pitoisuuksien raja-arvot (hauki 1 mg/kg; ahven 0,5 mg/kg) ylittyivät Kalliojärvellä ja Kolmisopella, ahvenella lisäksi Kivi-, Jormas- ja Laakajärvellä. Terveysriskien osalta on tärkeää huomata, että viranomaisten suosituksia (kalan syöntirajoitukset ja veden talous- ja virkistyskäytön rajoitukset koskien Kallio- ja Kivijärveä sekä Kolmisoppea, suositus olla juomatta pintavettä sellaisenaan, Valtion ravitsemusneuvottelukunnan kalan syöntisuositukset ja niihin annetut poikkeukset) noudatettaessa altistuminen tutkituille haitta-aineille tutkimuskohteena olleiden vesistöjen kautta on useimmissa tapauksissa vähäistä. Toisaalta arviointi osoittaa em. järviä koskevien rajoitusten sekä kalan syöntisuosituksiin elohopean vuoksi annettujen poikkeusten olevan perusteltuja.

Riskinarviointiin liittyy aina epävarmuuksia, jotka tässä työssä liittyvät mm. altistumisen arviointiin. Emme esimerkiksi tiedä, miten paljon tutkituista järvistä pyydettyä kalaa käytetään ravinnoksi. Pienet näytemäärät aiheuttavat epävarmuutta ympäristön haitta-ainepitoisuuksia, ja siten altistumista, arvioitaessa. Tämä on kuitenkin hyvin tyypillinen tilanne useimmissa vastaavanlaisissa riskinarvioinneissa.

Kokonaisvaltaisen riskinarvioinnin lähestymistavalla saadaan paikkakohtainen käsitys ympäristö- ja terveysriskeistä sekä niiden suuruudesta. Lisäksi menetelmällä saadaan tiivistettyä paljon merkityksellistä tietoa yhteismitalliseen muotoon hyödynnettäväksi ympäristövaikutusten hallinnassa ja päätöksenteossa.

Kirjallisuus

AHMA. 2016. Pyhäjoen yhteistarkkailu osa III: Kalataloustarkkailu 2016. https://www.vapo.com/filebank/3002-Pyhajoki_yhteistarkkailu_2016%2C_osa_III_kalataloustarkkailu.pdf

Arola HE, Karjalainen J, Vehniäinen E-R, Väisänen A, Kukkonen JVK, Karjalainen AK. 2017. Tolerance of whitefish (*Coregonus lavaretus*) early life stages to manganese sulfate is affected by the parents. Environmental Toxicology and Chemistry 36 (5): 1343–1353.

BC Ministry of Environment 2013. Ambient water quality guidelines for sulfate. Technical appendix, update April 2013, prepared by Meays C & Nordin R. Water Protection and Sustainability Branch. Environmental Sustainability and Strategic Policy Division, BC Ministry of Environment, 55 s. https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/water/water-quality/water-quality-guidelines/approved-water-quality-guidelines

EVIRA. 2015. Yhteenveto Evirassa tehdyistä Talvivaaran kaivoksen vaikutusalueen vesistöjen ja vertailujärvien kalastustutkimuksista.

Kaivosvesien riskinarviointimalli. http://fi.opasnet.org/fi/Kaivosvesien_riskit_(KAVERI-malli).

Leppänen M, Akkanen J, Karjalainen AK, Lehtonen K, Mäenpää K. 2015. Vesien sedimentit haitta-aineiden arkistoina. Ympäristö ja Terveys-lehti 4: 48–55.

Niittynen M, Balamuralikrishna J, Karjalainen AK, Wallin J, Miettinen IT, Pitkänen T. 2018. Sulfate- and metal-rich effluents of the Finnish Pyhäsalmi and Talvivaara mines affect microbial communities of the nearby lakes. The Abstract Book of the Water JPI 2018 Conference: Emerging pollutants in freshwater ecosystems. Helsinki, Finland, June 6–7. p. 26. http://www.aka.fi/globalassets/30tiedepoliittinen-toiminta/kv-toiminta/water-jpi/water-jpi-2018-abstract-book.pdf

SETAC Society of Environmental Toxicology and Chemistry. 2018. Technical Issue Paper: Weight-of-Evidence in Environmental Risk Assessment of Chemicals. Pensacola (FL): SETAC. 8 pp.

VN 2016. Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annetun valtioneuvoston asetuksen (1022/2006) muuttamisesta, 1090/2016. https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161090

YM. 2015. Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2015, Ympäristöministeriö, Edita Publishing Oy, 72 s.

Verkkomäärät koekalastusseurannassa – Esimerkki koekalastussuunnitelmasta Talvivaaran kaivoksen alapuolisessa vesistössä Sotkamon reitillä

Verkkokoekalastus vaatii huolellista suunnittelua, jotta tutkimustulokset ovat käyttökelpoisia. Useimmat tutkimussuunnittelussa tarvittavat tiedot ovat kalatalouspäättäjän ja tutkijan etukäteen päätettävissä: vain tutkimuksen epävarmuudesta tarvitaan ennakkoarvio, mikä on saatavissa esimerkiksi esitutkimuksesta tai Syken ja Luken ylläpitämästä Hertta-koekalastusrekisteristä. Verkkokoekalastuksen onnistunut suunnittelu vaatii tilastotieteilijän apua. Otoskokolaskennassa tilastollisena mallina voidaan käyttää lineaarista sekamallia, jossa selittäjinä ovat tutkimusjärvet, tutkimusvuodet sekä ennen-jälkeen-kontrolli-vaikutus –luokittelu (*before-after-control-impact*).

MIKA KURKILAHTI,
MIKKO OLIN,
JUKKA RUUHIJÄRVI,
KATJA KULO
Luonnonvarakeskus
etunimi.sukunimi@luke.fi

MARTTI RASK
Helsingin yliopisto

Verkkokoekalastusta voidaan käyttää kalakannan suhteellisen koon, kalayhteisön rakenteen ja eri lajien populaatiorakenteen muutosten arviointiin. Mitattavia muuttujia ovat esimerkiksi yksikkösaalis, tärkeimpien lajien osuudet ja kokorakenne. Verkkokoekalastuksen tulosten perusteella tehdään järvien kalastoon perustuva ekologisen tilan luokittelu. Lisäksi koekalastussaaliista saadaan näytteitä esimerkiksi kalojen ikä- ja kasvututkimuksiin ja vierasainepitoisuuksien määrittämiseen. Kalataloustarkkailujen koekalastusten tavoitteena on seurata esimerkiksi teollisuuden tai yhdyskuntajätevesipäästöjen, turvetuotannon, ruoppausten ja kunnostusten vaikutuksia kalakantoihin tietyllä alueella.

Verkkokoelastukseen liittyy epävarmuutta ja virhettä, koska verkoilla voidaan saada luotettavaa tietoa vain aktiivisesti liikkuvista ja hyvin verkkoon tarttuvista lajeista. Muista lajeista saadaan vain havaintotietoa. Verkkosaalis ei siis kuvaa suoraan todellista kalamäärää tai lajisuhteita tutkimusalueella, vaan tuloksia on tulkittava epävarmuus ja virhelähteet huomioon ottaen.

Epävarmuutta voidaan hallita hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella. Virhettä voidaan vähentää käyttämällä standardoitua pyyntivälinettä (mm. Nordic-yleiskatsausverkko) ja syvyysvyöhykkeisiin perustuvaa koekalastuspaikkojen valintaa (ositettu satunnaisotanta, RKTL-tutkimusraportti 2014). RKTL:n tutkimusraportissa on julkaistu erikokoisille

Kuva 1. RKTL:n vuoden Rehja-Nuasjärven koekalastusasetelma vuonna 2011. Koekalastuspisteet on merkitty punaisilla palloilla ja purkuputken pää mustalla kolmiolla.

ja syvyisille järville ohjeelliset verkkoyömäärät, joita seuraamalla voidaan ensimmäiset koekalastukset hyvin toteuttaa.

Tutkimussuunnittelun ensimmäinen asia on miettiä, mikä tutkittavassa asiassa tosiasiassa on tärkeää: mikä esimerkiksi on biologisesti/kalataloudellisesti pienin **merkityksellinen** muutos (vaikutuksen koko, effect size) yksikkösaaliissa kahden ajankohdan tai paikan välillä. Tätä pienemmillä eroilla ei ole käytännön merkitystä. Päätös on subjektiivinen, ja siihen ei tilastotiede pysty auttamaan, vaan se pohjautuu tutkijan tai kalatalouspäättäjän ammattitaitoon, ja on pystyttävä perustelemaan hyvin. Yleensä tämä muutos ajatellaan muutoskertoimen kautta kuten 1,5-kertaisena muutoksena keskiarvossa ylöspäin tai 0,67-kertaisena (1/1,5) alaspäin.

Tilastollisen tutkimussuunnittelun periaatteet

Ennen kuin tutkimusta voidaan suunnitella, pitää useita asioita päättää tai arvioida suuntaa-antavasti:

1) Tutkimuksen päämuuttuja eli tärkein tutkittava asia: esim. biomassan tai kappalemäärän yksikkösaaliin keskiarvo (→ **päätös**)
2) Biologinen ennakkokäsitys eli tutkimushypoteesi siitä mitä tulee tapahtumaan: esim. ravinnepäästöjen seurauksena järvi rehevöityy ja särkikalojen määrä kasvaa (→ **päätös**)
3) Biologinen **merkittävyys** - minkälainen muutos on käytännön kannalta tärkeä. Esim. särkikalojen määrä on kasvanut kaksinkertaiseksi kahden tutkimuskerran välillä (→ **päätös**)
4) Tilastollisen testin ja ns. nollahypoteesin valinta - tämä riippuu tutkimuskysymyksestä: jos oletuksena on, että särkikalojen määrä eli yksikkösaalis ei muutu vuosien välillä, niin vaihtoehtoinen oletus on, että yksikkösaalis muuttuu. Tähän tilanteeseen sopii t-testi (nollahypoteesi: keskiarvot pysyvät samana, muutos = 0, → **päätös**)
5) Tilastollisen testin riskitaso (p-arvo): esim. pienempi kuin 0,05 (yleisin valinta → **päätös**), mikä tarkoittaa kahden keskiarvon vertailussa alle 5% riskiä sille, että mahdollinen ero keskiarvojen välillä havaitaan sattumalta, mutta todellisuudessa keskiarvot eivät eroa toisistaan
6) Tilastollisen testin voimakkuus (power): millä todennäköisyydellä havaitaan keskiarvojen erotus, kun se todellisuudessa on olemassa? Yleinen valinta on 80% tai 90% voimakkuus, jolloin esim. erot, joiden riskitaso on alle 5%, jäävät havaitsematta 20-10% tapauksista (→ **päätös**)
7) Tutkimuksen epävarmuuden suuruus: esim. yksikkösaaliskeskiarvojen hajonta, esitutkimuksesta tms. tietoa epävarmuudesta mm. varianssi, keskivirhe, variaatiokerroin (→ **arvio**)
8) Tutkimusasetelma: tutkimuksen voimakkuuteen vaikuttaa näytemäärän lisäksi tutkimuksen rakenne: kontrollipaikkojen (järvien) käyttö, joihin ei kohdistu tutkimuksen kohteena olevaa vaikutusta, lisää tutkimuksen voimakkuutta. Näitä kontrollijärviä voi olla useita ja näitä verrataan yhtä kohdejärveä vastaan. Tutkimusvuosien lisääminen kasvattaa myös voimakkuutta. Kerätäänkö aineistoa joka vuosi, joka toinen vuosi vai harvemmin? Onko käytössä vertailujärviä ja aineistoa? (→ **päätös**)

Esimerkkitapaus

Vuonna 2012 Talvivaaran kaivokselta pääsi suuria määriä jätevesiä kaivoksen alapuolisiin vesistöihin ja kaivosjätevesien hallinta on edelleen ympäristökuormituksen kannalta keskeinen kysymys. Kun kaivosalueen vesiongelmien ratkaisemiseksi päätettiin rakentaa puhdistettujen kaivosjätevesien purkuputki Rehja-Nuakseen, päädyttiin järveä varten suunnittelemaan RKTL/Luke ohjeistuksen ja otoskokolaskennan keinoin koekalastussuunnitelmaa, joka olisi riittävän tehokas osoittamaan kaivosvesistä mahdollisesti aiheutuvat kalastomuutokset. Tässä kirjoituksessa esitellään otoskokolaskentaan perustuvan koekalastussuunnittelun periaatteet. Kirjoituksessa tilastotieteen käsitteitä ja kuvauksia on yksinkertaistettu ja todellisuudessa käsitteet ja analyysit ovat monimutkaisempia. Todellisuudessa Rehja-Nuaksella toteutettava seuranta on yksityiskohdiltaan erilainen, mutta noudattaa tässä esiteltyjä periaatteita.

Tutkimussuunnittelun käytännön toteutus

Tutkimuskysymys on: vaikuttiko jätevesipäästö kalastoon ja kuinka paljon? Verkkokoekalastuksen suunnittelun pääkysymys on: montako verkkoyötä tarvitaan, jotta ympäristömuutoksen vaikutus kalastoon voidaan osoittaa uskottavasti?

Esitutkimuksen analyysi

1) Esitutkimusaineistona käytettiin Nuasjärven 2011 koekalastuksen tuloksia (raakadata, RKTL:n standardin mukainen koekalastus osana Suomen järvien ekologisen tilan seurantaa).
2) Päämuuttuja oli kokonaisbiomassan yksikkösaalis (kg/verkko) eli kaikki lajit yhteensä.
3) 2011 datasta analysoitiin yksikkösaaliin kokonaiskeskiarvo ja hajonta (varianssianalyysin virhetermi). Tilastollinen malli oletti aineiston olevan normaalisti jakautunut, jonka vuoksi aineistolle tehtiin luonnollinen logaritmi -muunnos (nollahavaintojen vuoksi alkuperäisiin arvoihin lisättiin 1 ennen muunnosta). Mallissa oli mukana koekalastuksen kaikki syvyys- ja vertikaalivyöhykkeet kiinteinä muuttujina. Koekalastuspaikkojen välinen vaihtelu oli 2,051.

Testin voimakkuuksien arvioinnin prosessi (power-analyysi) noudattaa tilastotieteessä yleisesti noudatettuja käytäntöjä. Menetelmät on kuvannut yksityiskohtaisesti mm. Stroup (2012).

Power-analyysi

1) **Päämuuttuja** on kokonaisbiomassan yksikkösaalis (kg/verkko) eli kaikki lajit yhteensä
2) **Tutkimushypoteesi**: jätevesipäästö vaikuttaa haitallisesti (kuolleisuutta lisäävästi tai kaloja karkottavasti) kalakantaan ja tulee laskemaan yksikkösaalista (yksisuuntainen hypoteesi).
3) **Biologinen merkittävyys**: biomassakeskiarvo laskee puoleen aikaisemmasta **(muutos –50,0%**). Vaihtoehtoiset skenaariot ovat –33,3% ja –60,0%.
4) **Tilastollinen testi ja nollahypoteesi**: yksisuuntainen t-testi, koeverkkokalastusten ensimmäisen kalastuskerran yksikkösaaliskeskiarvo on suurempi kuin toisen kalastuskerran keskiarvo
5) **Riskitaso**, keskiarvojen erotuksen P-arvo <0,05
6) **Testin voimakkuus (power**): 80%, tn. että havaitaan p-arvoa 0,05 pienempi riskitaso
7) Varianssianalyysin virhetermi, **hajonta-arvio** vuoden 2011 koekalastustutkimuksesta on 2,051.
8) **Tutkimusasetelma**: toistetaan koekalastus vuosittain kahdessa tai useammassa järvessä ja oletetaan, että puolessa välissä tutkimusta yhdessä järvessä tapahtuu ulkopuolisista syistä muutos (impact), joka näkyy verkkokoekalastuksen yksikkösaaliissa. Vertailujärvissä (control) tätä muutosta ei tapahdu. Tämä on ns. BACI-asetelma (before-after-control-impact). Tutkimuksessa käytetään vuosittain samoja koekalastuspisteitä noudattaen RKTL:n koekalastusohjetta (2011). Tämän mukaan Nuasjärven kokoisella vesialueella minimipyyntiponnistus on 34 verkkoyötä ja otoskokoa arvioidaan luvun 34 monikertoina. Koska tutkimusasetelma on toistettuja mittauksia (koekalastuksia) samoissa pisteissä, niin vuosien välisestä riippuvuudesta (korrelaatiosta) on oletettava jotain: otoskokolaskennassa **korrelaatio** oletetaan pieneksi (0,01). Tämä on turvallinen oletus, koska se on todennäköisesti jonkin verran aliarvio todellisesta korrelaatiosta. Jos korrelaatio on suurempi, niin testin voimakkuus kasvaa. Otoskokolaskennassa tilastollisena mallina käytetään lineaarista sekamallia (Stroup 2012, SAS 9.4), jossa selittäjinä ovat tutkimusjärvet, tutkimusvuodet ja BACI-asetelma.
9) **Skenaarioita** tehtiin kolmea tyyppiä:

a. Biologisen merkittävyyden vaikutus: kahdessa järvessä kahden koekalastuksen välillä havaitaan yli 80% todennäköisyydellä yksikkösaaliin alenema (keskiarvojen erotus), joka on –33%, –50% tai –60%Lisäksi käytettiin kuutta eri otoskokoa 34, **68**, 102, 136, 170, 204 / vuosi (0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, ja 3,0 x 2011 verkkoyömäärä). Verkot on jaettu samassa suhteessa eri syvyys- ja vertikaalivyöhykkeisiin kuin vuoden 2011 tutkimuksessa (koekalastusohje).
b. Koekalastusjärvien lukumäärän vaikutus: tutkimusjärvien määrä on 2, 4 ja 8 kpl: näistä yksi on muutoskohde ja loput verrokkijärviä. Otoskoot samat kuin yllä ja alenema 50%.
c. Tutkimusvuosien määrän vaikutus: tutkimusvuosien määrä on 2, 4 ja 6 vuotta. 2 järveä, otoskoot samat kuin yllä, alenema 50%.

Tulokset ja tulkinta

Tutkimusvuosien ja -järvien määrä sekä vaikutuksen suuruus vaikuttavat kaikki tilastollisen testin voimakkuuteen ja tarvittavaan otoskokoon, jotta voidaan saavuttaa haluttu 80% voimakkuustaso. Mitä enemmän tutkimusvuosia tai –järviä on, sitä suurempi testin voimakkuus on.

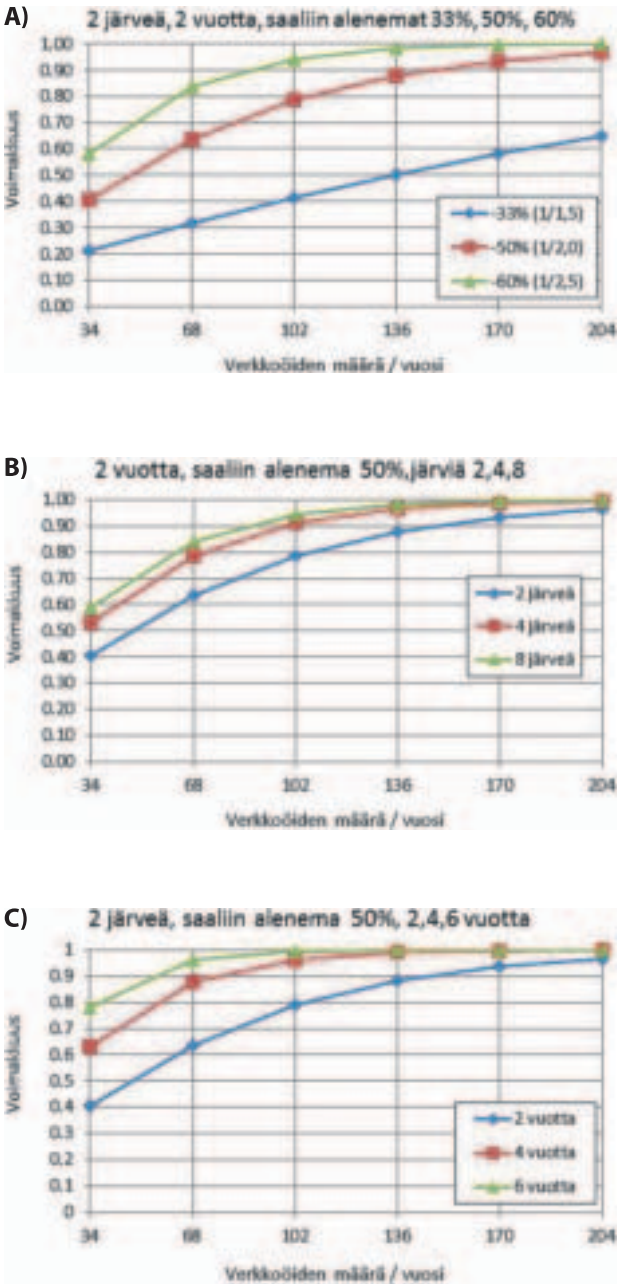
Vaikutuksen koon muuttaminen vaikuttaa testin voimakkuuteen: mitä pienempää biologisesti merkittävää asiaa yritetään havaita, sitä suurempi otoskoko tarvitaan ja päinvastoin. Kahden järven tilanteessa tilastollisen testin voimakkuus on pienellä yksikkösaaliin alenemalla (33%) ja nykyisellä otoskoolla (68 verkkoyötä/vuosi, **kuva 2a**) matala (0,32). Vasta suuri 66% alenema yksikkösaaliin keskiarvojen välillä havaitaan noin 80% tapauksista nykyotoskoolla. 1,5 -kertainen ero keskiarvoissa havaitaan 80% tapauksissa vasta kun pyyntiponnistus on 306 verkkoyötä (ei kuvissa). Jos koekalastuksessa vähennetään verkkovuorokausia 34:än, niin testin voimakkuus on välillä 0,21-0,58 riippuen keskiarvojen eron suuruudesta: edes suurella, 2,5-kertaisella erolla ei 80% testin voimakkuutta ylitetä tässä kohtaa.

Jos tutkimusjärvien määrää voidaan kasvattaa, kasvaa testin voimakkuus (**kuva 2b**). Samoin käy kun tutkimusvuosien määrää kasvatetaan (**kuva 2c**). Voimakkuus ei kasva kuitenkaan samassa suhteessa järvien tai tutkimusvuosien määrän kanssa, vaan yleensä saavutetaan nopeasti taso, jonka jälkeen tutkimuksen kasvattaminen ei kannata. Usean järven ja yli kahden vuoden tutkimusasetelmat ovat voimakkuudeltaan parhaimmat tutkimusasetelmat.

Johtopäätökset

Päätöksen teon kannalta on oleellista **ensimmäiseksi** miettiä, mikä on biologisesti/kalataloudellisesti **pienin merkityksellinen ero** tai muutos yksikkösaaliissa kahden ajankohdan välillä. Tämän jälkeen katsotaan minkä suuruinen verkkoyömäärä tarvitaan ko. eron havaitsemiseen suurella (usein >80% tai >90%, **Kuva 2**) todennäköisyydellä.

Koekalastustutkimuksen suunnittelu on aina tapaus- ja vesistökohtaista, vaikka periaatteet, menetelmät ja laskenta ovat samat. Tässä esimerkkijutussa on oletettu, että eri järvissä vaihtelu on samansuuruista. Järvien kalakannoissa esiintyy jatkuvasti luontaista vaihtelua mm. vuosiluokkien voimakkuudessa. Vaihtelun oletetaan olevaan samaa suuruusluokkaa kaikissa tutkimusjärvissä ja tätä vaihtelua yritetään power-analyysissä huomioida. Laskentaa voidaan tarkentaa käyttämällä järvikohtaisia arvoja, jolloin voimakkuus voi kasvaa tai laskea riippuen mukana olevista järvistä ja hajonnoista. Jos tutkimuksen kohteena olisi biomassayksikkösaaliin sijasta esimerkiksi kappalemäärät, pitäisi laskenta tehdä uudestaan ja tulokset olisivat toisenlaiset. Lähes kaikki tutkimussuunnitteluun vaikuttavat tekijät ovat ennakoitavissa ja päätettävissä: vain epävarmuus eli hajonta on etukäteen arvioitava (suunnitteluprosessin kohta 7).



Kuva 2. Tarvittavien verkkoöiden määrä suhteessa yksikkösaaliiden keskiarvojen erotukseen. Verkkoöiden määrä on 68 monikertoja 0,5:n välein.

Koeverkkokalastuksen onnistunut suunnittelu vaatii tilastotieteilijän apua. Ylimitoitettua tutkimusta harvoin näkee, mutta se on rahan tuhlausta samalla tavoin kuin alimitoitettu tutkimuskin. Ensimmäisellä koekalastuskerralla kannattaa kalastaa koekalastusohjeen mukaisella asetelmalla, jos ei ole muuta ennakkotietoa. Seuraavia kertoja varten, hajonnan ollessa tiedossa, on mahdollista tehdä tarkennettu otoskokoarvio.

Koekalastukset tulee suunnitella ennakoiden ja järkevästi. Suunnittelussa ja toteutuksessa on mahdollista käyttää Luonnonvarakeskuksen (LUKE) ja Suomen Ympäristökeskuksen (SYKE) seurantoja ja niiden aineistoja hyödyksi. Jo olemassa olevaa tutkimusjärviverkostoa kannattaa hyödyntää vertailujärvinä. Tähän sopinevat 50–100 km säteellä tutkimusjärvestä olevat saman tyyppiset kohteet, joissa voidaan olettaa vaikuttavan samat vuosittaisen vaihtelun lähteet (esim. lämpötila).

Rehja-Nuasjärven verkkokoekalastukset toteutetaan kummallakin järven selällä 68 verkkoyön (vy) panostuksella per koekalastusvuosi. Ensimmäinen koekalastus tehtiin vuonna 2011 (Nuasjärvi) ja seuraavat 2016 ja 2018 (sekä Rehja että Nuasjärvi). Jatkossa kalastetaan vuonna 2020 ja sen jälkeen viiden vuoden välein 2 × 68 vy/vuosi. Tämä ei ole BACI-asetelma, koska ennen ympäristövaikutusta ei tutkittu ns. kontrollijärveä. Koska koekalastuksia tehdään kahdessa järvessä, tarvitaan neljä koekalastusvuotta, jotta 50% yksikkösaaliin alenema (1,5-kerroin) voidaan olettaa havaittavan 80% todennäköisyydellä BACI-asetelmassa. Liki samaan päästään neljällä järvellä ja kahdella vuodella. Jos halutaan tarkempaa tutkimusta (33% alenema), on lisättävä sekä järvien että vuosien määrää ainakin neljään.

Kirjallisuus

Lapin ELY-keskuksen 18.12.2015 antama päätös dnro 1147/5723-2015 Terrafame Oy:n kaivoksen tarkkailusuunnitelman hyväksyminen tarkkailuohjelmaksi.

Olin, M., Lappalainen, A., Sutela, T., Vehanen, T., Ruuhijärvi, J, Saura, A, Sairanen, S. 2014: Ohjeet standardinmukaisiin koekalastuksiin. RKTL:n työraportteja , 21/2014, 22 s.

Stroup, W., 2013. Generalized linear mixed models, modern concepts, method and applications. Chapman & Hall/CRC, London.

Jokiuoman geometrian ja virtauskentän mittaamisen haasteet ja uudet menetelmät

Virtaava vesi on voimakkain ympäristöä muokkaava luonnonvoima, mutta aikaisemmin sen tutkiminen on ollut hidasta, epävarmaa ja työlästä. Teknologian kehitys on kuitenkin mahdollistanut jokiympäristön yhä tarkemman ja yksityiskohtaisemman havainnoinnin. Testasimme miten akustiseen Doppler-ilmiöön perustuva menetelmä soveltuu jokiuoman laaja-alaiseen syvyyskartoitukseen ja virtausprosessien mittauksiin.

LINNEA BLÅFIELD
e-mail: linnea.m.blafield@utu.fi

Kirjoittaja on maisterivaiheen opiskelija Turun yliopiston maantieteen ja geologian laitoksella. Hän on toiminut tutkimusavustajana virtavesien tutkimusryhmässä vuodesta 2017. Hän on työskennellyt tutkimusavustajana Aalto-yliopiston, Maanmittauslaitoksen ja Paikkatietokeskuksen yhteisessä Rakennetun ympäristön mittauksen ja mallinnuksen instituutissa, sekä Pyhäjärvi-instituuttisäätiössä vuonna 2017. Hän tekee Pro Gradu – tutkielmaa tulvariskeistä ja tulvamallinnuksesta.

PETTERI ALHO
professori, Turun yliopiston maantieteen ja geologian laitos
e-mail: petteri.alho@utu.fi

HANNU HYYPPÄ
professori, Aalto-yliopisto
e-mail: hannu.hyyppa@aalto.fi

ELINA KASVI
dosentti, tutkijatohtori, Turun yliopiston Maantieteen ja geologian laitos
e-mail: elina.kasvi@utu.fi

Jokiympäristöjä on pitkään tutkittu laboratorioissa ja kenttämittauksin luonnonuomissa. Tutkimukset ovat kattaneet niin laajamittaiset, suuria muutoksia käsittelevät tutkimukset kuin yksittäisten pienempien geomorfologisten yksiköiden tarkastelun. Uoman virtausolosuhteita tarkasteltaessa virtauskentän lisäksi keskeistä on uoman geometria. Luonnonuomassa geometria vaihtelee ajassa ja paikassa. Tämä vaihtelu taas vaikuttaa virtauksen suuntaan ja nopeuteen sekä niiden alueelliseen vaihteluun. Tästä syystä ihanteellista olisi kartoittaa koko uoman geometria ja virtauskenttä. Kenttämittausten haasteena ovat kautta aikain olleet mittausten hitaus ja edelleen alueellinen rajallisuus: mittaukset on toteutettu yleensä poikkileikkauslinjoittain, jolloin suuri osa uomaa on jäänyt kartoittamatta.

Viimeaikainen teknologian kehitys on vauhdittanut jokiympäristön tutkimusta: lähikaukokartoitusmenetelmin voidaan nopeuttaa ja helpottaa kenttämittauksia huomattavasti, mikä mahdollistaa laajojen alueiden entistä tarkemman kartoituksen. Yksi tällainen menetelmä on akustiseen Doppler-ilmiöön perus-

Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0)

Läntisessä Suomessa sijaitseva Eurajoki saa alkunsa Säkylän Pyhäjärvestä, josta se laskee Selkämereen Eurajoensalmi nimiseen lahteen. Tämä savipohjainen joki on noin 52 km pitkä ja keskimäärin noin 10 m leveä, lisäksi sen varrella on useita koskialueita. Eurajoki on historiassaan toiminut tärkeänä kulkureittinä, virkistyspaikkana ja maatalouden veden lähteenä. Nykyään Eurajoen vedenlaatu on heikko ja sen kunnostamiseksi on suunnitteilla ruoppaus.

tuva ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) mittalaite, jolla on mahdollista mitata yhtäaikaisesti sekä uoman geometria että virtauskenttä. Tämä menetelmä mahdollistaa entistä tarkemman jokiympäristön mittausaineiston keräämisen ja sitä kautta paremman ymmärryksen jokiympäristössä tapahtuvista prosesseista. Tässä kirjoituksessa esitämme uusien mittausmenetelmien soveltamista Eurajoen virtaus- ja syvyyskartoituksiin.

Turun yliopiston Virtavesien tutkimusryhmä toteutti kesällä 2017 yhdessä Pyhäjärvi-Instituutin kanssa Eurajoessa mittauskampanjan osana tieteellistä tutkimusta, jolla haluttiin selvittää, millaiset geomorfologiset- ja virtausolosuhteet joessa tällä hetkellä vallitsevat. Mittaukset toteutettiin hyödyntämällä uusia lähikaukokartoitusmenetelmiä, samalla tarkasteltiin niiden soveltuvuutta kyseisen kaltaisiin mittauksiin. Mittaukset toteutettiin kajakilla meloen, sillä joki on matala ja sen ympäristö paikoin vaikeakulkuista.

Vedenpinnan alapuolisen geometrian mittaamiseen käytettiin akustista virtausprofiilimittaria (*Acoustic Doppler Current profiler*, ADCP), joka mittaa sekä veden virtaussuunnan ja nopeuden kolmiulotteisesti että veden syvyyden ja geometrian. Sen toiminta perustuu sensorin lähettämiin akustisiin pulsseihin ja niiden takaisinheijastukseen pohjasta sekä veden sedimenttipartikkeleista. ADCP:ssä on integroitu GPS, jolla se tallentaa sijaintitietoaan reaaliajassa. Näin jokainen sen mittaama piste saa tarkan sijaintitiedon. Mittaukset tehtiin 14 km matkalta matalan virtaaman aikaan heinäkuussa 2017 Kauttuankoskelta Eurakosken padolle asti. Koko alueen mittaukseen käytettiin yhteensä kolme viikkoa, jonka aikana kerättiin yli 1,2 miljoonaa raakamittapistettä, keskimäärin 3,4 pistettä/m^2.

Lähikaukokartoitusmenetelmät tositoimissa

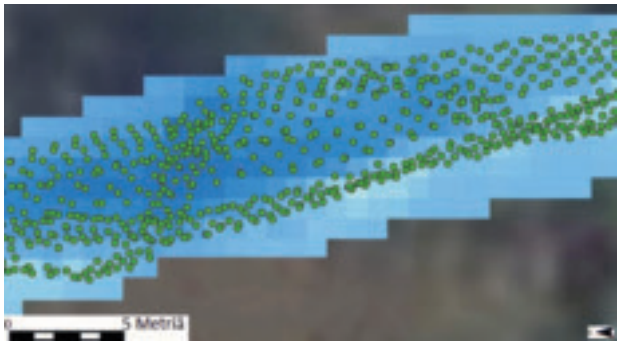
Geometriatietoa syvyysmallia varten kerätessä mittauskampanjassa hyödynnettiin samanaikaisesti kahta ADCP-sensoria, SonTek RiverSurveyor M9 ja S5 - sensoreita. Ohjelmistona käytettiin HydroSurveyor Softwarea, joka sopii hyvin syvyyskartoituksen tekoon. Toinen sensoreista oli kiinnitettynä kajakin keulaan ja toinen liikkui kajakin mukana omalla kelluvalla alustallaan 7 m pitkällä köydellä kiinnitettynä kajakin perään ”zigzag”-kuviota tehdessä ja vierelle noin 1m päähän suoria linjoja melottaessa. Kahdella mittarilla saatiin kattavampi ja peittävämpi pistepilvi yhdellä kertaa ja näin säästettiin aikaa. Matalassa vedessä ja sensoreiden ollessa vaihtelevasti noin 4-7 metrin etäisyydellä toisistaan, niiden ei oleteta ottaneen häiriötä toistensa kaikuluotaussignaaleista. Kajakilla

Kuva 1. ADCP-sensorit ovat kajakin keulassa sekä kelluvassa alustassa. Sensori lähettää akustisenpulssin sekunnin välein ja syvyystiedon sekä esimerkiksi melotun reitin ja lämpötilan näkee reaaliajassa tietokoneelta.

melottiin tiheää “zigzag”-kuviota yläjuoksulta alajuoksulle. Lisäksi mitattiin kuusi suoraa yläjuoksulta alajuoksulle ulottuvaa pitkittäistä linjaa siten, että ne kattoivat joen uoman leveyden mahdollisimman hyvin. Näin ADCP:n kaikuluotaimen mittaamasta pistepilvestä saatiin mahdollisimman peittävä ja geometrian pienetkin vaihtelut ovat helpommin havaittavissa. Syvyysmittauksessa kajakin keulan ja siihen kiinnitetyn sensorin mahdollisesti aiheuttamat häiriöt virtauskentässä eivät ole oleellisia, sillä ne eivät vaikuta syvyysdataan.

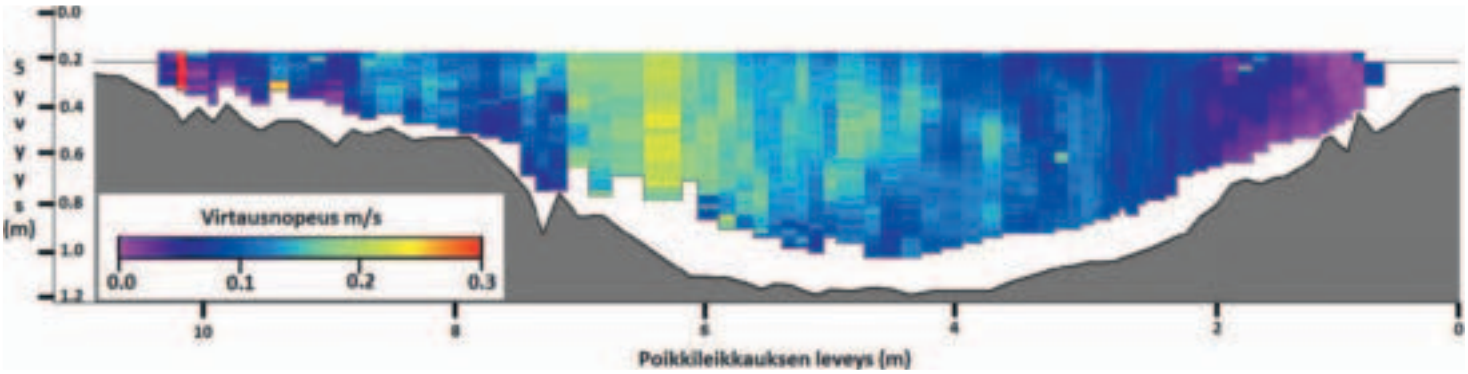
Virtasolosuhteiden mittaukseen käytettiin samaa virtausprofiilimittaria (ADCP) kuin geometriaa mitatessa, ohjelmistona *RiverSurveyor Live*. Mittaukset suoritettiin kiinnittämällä köysi ADCP-laitteen kelluvaan alustaan ja vetämällä alustaa mahdollisimman suoraa linjaa pitkin joen poikki pingottamalla köysi kireälle. Laitetta operoitiin kummaltakin rannalta vetäen laitetta köyden avulla rauhallisesti poikkileikkauslinjaa pitkin joen törmästä toiseen. Tuloksena saatiin reaaliaikaisesti virtausnopeuksien ja -suuntien jakauma kussakin poikkileikkauksessa sekä joen virtaama kussakin poikkileikkauksessa, eli poikkileikkauksen läpi kulkeva vesimäärä sekuntia kohden. Virtausprofiilitietoa käytetään virtausmallin kalibroinnissa. ADCP-sensori ei kuitenkaan mittaa aivan pohjan- sekä pinnanläheistä virtauskenttää ja rantojen lähellä saattaa esiintyä häiriökaikuja. Vedenpinnan korkeuden vaihtelua tarkkailtiin päivittäin mittaamalla vedenpinnan korkeus RTK-GPS:llä, jolla saadaan +/– 5 cm:n tarkkuudella tieto pisteen horisontaalista ja vertikaalista sijainnista.

ADCP-sensorin pistepilveä ja tallentamaa aineistoa voidaan hyödyntää erilaisten mallien tekoon kuten syvyys-, virtausnopeus- ja virtaussuuntamalleihin eri virtausolosuhteissa. Näitä tietoja yhdistelemällä saadaan laaja ja monipuolinen käsitys joen prosesseista kolmiulotteisesti. Tässä kirjoituksessa esitetyssä tapauksessa toteutettiin syvyysmalli, jossa 127 erillistä pistepilveä yhdis-



Kuva 2. Tiheä pistepilvi takaa tarkan syvyysmallin, vaikka uoman reunoja ei aina pystytty saavuttamaan kasvillisuuden takia.

Kuva 3. Poikkileikkausmittausta tehtäessä ADCP on kiinnitettynä kelluvaan alustaan, jota operoidaan naruin rannoilta. Mittaus näkyy reaaliaikaisesti tietokoneen näytöltä. Kuvasta näkee myös uoman reunan tiheän kasvillisuuden, joka esti uoman reunan saavuttamisen.



Kuva 4. Poikkileikkauslinja ja virtausnopeutta kuvaavat solut, suurimmat virtausnopeudet ovat noin 0,25 m/s ja uoman reunoilla vesi ei juurikaan liiku. Matalassa ja loivasti laskevassa joessa alhaiset virtaamat ovat yleisiä. Seisova vesi uoman reunoilla ylläpitää kasvillisuutta.

tettiin yhdeksi pistepilveksi ja uoman reunat digitoitiin paikkatieto-ohjelmassa ilmakuvaa hyödyntäen. Pistepilvi interpoloitiin jatkuvaksi pinnaksi TIN-menetelmällä, joka muodostaa pisteiden välille kolmioita. TIN-malli muutettiin kahdeksi erilliseksi rasteripinnaksi 1 metrin ja 0,2 metrin resoluutioilla. Näin saatiin joen pinnan alapuolista geometriaa kuvaava syvyysmalli. Suurin ADCP:llä mitattu virtaama heinäkuussa 2017 Eurajoessa oli 1,7 m^3/s ja syvyysmallin perusteella Eurajoen yläjuoksun keskisyvyys oli mittaushetkellä 1,23 metriä. Vedenpinnan korkeus ei vaihdellut merkittävästi mittausjakson aikana ja uoman kaltevuus yläjuoksulta alajuoksulle oli 0,0001 %.

Kuva 5. Valmis syvyysmalli joen yläjuoksulta. Joki on matala ja sen pohjassa on savipohjaiselle joelle tyypillisiä pitkittäisiä painaumia. Suurimmat syvyydet saavutettiin alajuoksulla lähellä Eurakosken patoa.

Teknologian kehitys avaa uusia ovia jokitutkimuksessa

Mittausten perusteella voidaan todeta, että uoman geometrian tarkka mallintaminen onnistuu lähikaukokartoitusmenetelmin. Kattavalla kaikuluotauksella saadaan pienetkin syvyyden vaihtelut mitattua ja poikkileikkauksista saadaan luotettavaa tietoa virtauskentästä nopeasti. ADCP-sensorilla saadaan kiinni myös mahdollinen pohjan liike. Täysin haasteeton ei tämäkään menetelmä ole. Ongelmia aiheuttavat jokiuoman kasvillisuus ja paikoin myös mataluus etenkin uoman reunojen lähellä. Tiheän kasvillisuuden osuuksilla voidaan olettaa ainakin osan kaikuluotaussignaaleista palanneen takaisin kasvillisuudesta saavuttamatta joen pohjaa. Kajakilla ei paikoin saavutettu uoman todellista reunaa, sillä tiheä kasvillisuus esti melomisen todellisia reunoja myöten. Katveeseen jäävät myös aivan pohjan- ja pinnanläheinen virtauskenttä -nopeus, joita ADCP:llä ei pystytä mittaamaan. Uoman reunojen lähellä ADCP saattaa myös rekisteröidä häiriökaikuja, jotka voivat vaikuttaa mittaustulokseen virtaamaa mitatessa. Tässä tutkimuksessa pohjan- ja pinnanläheisellä virtauksella ei ole suurta merkitystä. ADCP-dataa voi halutessaan täydentää esimerkiksi käsikäyttöisellä ADV FlowTrackerilla.

Kyseiset ADCP-sensorit vaativat laitevalmistajan mukaan toimiakseen vähintään 20 cm vesisyvyyden, mitä ei paikoin ollut tutkimusalueella. Lisäksi ADCP tarvitsee tarkan sijaintitiedon, sillä se tallentaa sijaintitietoa reaaliaikaisesti. Ongelmia aiheutti paikoin hyvin tiheä latvusto sekä useat sillat, jotka johtivat välillä GPS signaalin menetykseen tai pätkimiseen. Tästä syystä muutamat pistepilven pisteistä (x,y sijainti) olivat kuivalla maalla tai uomassa oleva pistepilvi oli paikoin katkonainen. Jälkikäteen pisteiden sijainti on kuitenkin korjattavissa manuaalisesti ja paikoin katkeillut ja harvempi pistepilvi ei ole ongelma, sillä mittauksia on useita melkein päällekkäisiä ja pisteitä yhteensä miljoonia. Aivan kirkkaassa vedessä ADCP:n toiminta voi heiketä, sillä se tarvitsee sedimenttikulkeumaa virtaaman mittaukseen.

Akustiseen Doppler-ilmiöön perustuvien sensoreiden hyödyntäminen jokiympäristön mittauksessa avaa entistä monipuolisempia mahdollisuuksia jokien prosessien tutkimiseen ja niiden parempaan ymmärrykseen. Tässä kirjoituksessa esiteltiin vain vedenpinnan alapuolisen geometrian ja virtauskentän mittaamista, mutta yhdistämällä siihen muita lähikaukokartoitusmenetelmiä kuten laserkeilaus- tai UAV-dataa, saadaan kiinni koko uomassa tapahtuvat prosessit, myös vedenpinnan yläpuolisilla törmillä. Näin voidaan tarkastella entistä laajemmassa mittakaavassa jokiympäristön prosesseja. Tarkka ja nopeasti kerättävä data helpottaa ja mahdollistaa esimerkiksi pidempien aikasarjojen keräämisen ja ajallisen muutostutkimuksen, se toimii apuna vesirakentamisessa, kunnostuksissa ja luonnollisten prosessien selvittämisessä. Myös muutosten ja esimerkiksi tulvien ennustaminen helpottuu.

Eurajoen tapauksessa tarkkojen mittausten ja ruoppaussuunnitelman avulla myös ruopattava uoma voidaan mallintaa laskennallisella virtausmallilla. Tarkat kenttämittaukset mahdollistavat uoman tämänhetkisten prosessien mallintamisen. Muokkaamalla aineistoja ruoppaussuunnitelman mukaisiksi, mallia voidaan käyttää mahdollisten ruoppaustoimien vaikutusten havainnollistamiseen ja tutkimiseen ennen varsinaisen työn aloittamista. Lisäksi mallin tuloksia voidaan verrata nykyisiin virtausolosuhteisiin, minkä perusteella ruoppauksen hyötyjä voidaan tarkastella.

Uudella ohjelmalla tehoa vesiensuojeluun

Ympäristöministeriö on käynnistänyt uuden vesiensuojelun tehostamisohjelman. Eduskunta myönsi vesiensuojelun tehostamiseen 15 miljoonaa euroa vuodelle 2019, ja vuosille 2019–2021 rahoitus on yhteensä 45 miljoonaa euroa. Ohjelma täydentää muuta vesiensuojelun rahoitusta.

Viime kesän helteet toivat lisääntyneiden sinileväkukintojen myötä Itämeren ja muidenkin vesien suojelun vilkkaan julkisen keskustelun kohteeksi. Ympäristöministeriö alkoi kesällä suunnitella toimenpiteitä tilanteen parantamiseksi, ja päätettiin lähteä valmistelemaan uutta ohjelmaa, jossa esimerkiksi kärkihankkeissa kehitetyt menetelmät ja saadut kokemukset siirretään käytännön toteutukseen.

Ohjelman tavoitteena on parantaa sekä Itämeren että sisävesien tilaa. Perustana ovat alueelliset vesiensuojeluohjelmat.

”Viime kesän sinilevätilanne herätti tarpeellisen keskustelun, josta syntyi yhteisymmärrys vesiensuojelun tärkeydestä. Vesiensuojelun tehostamisohjelman avulla voidaan lähivuosina saada tärkeitä edistysaskeleita vesien tilassa”, asunto-, energia- ja ympäristöministeri **Kimmo Tiilikainen** toteaa.

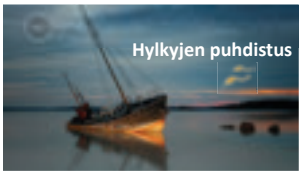
”Kun vesiensuojelussa on kuluvan hallituskauden kärkihankerahoituksella saatu rohkaisevia tuloksia uusista menetelmistä, on tehostamisohjelman tarkoituksena viedä niitä eteenpäin konkreettisina toimina, joilla on mahdollisimman suuri vaikuttavuus”, ympäristöministeriön ylijohtaja **Ari Niiranen** sanoo.

Ympäristöministeriö julkisti tarkemmat suunnitelmat ohjelman sisällöstä keskustelutilaisuudessa 11.3. Panostukset kohdistetaan toimiin, joissa vaikuttavuus on paras mahdollinen. Lähtökohtana on merialue- ja valumaaluekohtainen lähestymistapa, ja hankkeissa tehdään tiivistä yhteistyötä eri osapuolten kuten maanomistajien, asukkaiden, kuntien ja yritysten kesken.

Uudet tekniikat ja menetelmät laajasti käyttöön

Rahoitus jakaantuu viiteen alueeseen; maatalouden innovatiiviset menetelmät, vesistökunnostushankkeet, kaupunkien vesien hallinta, Itämeren hylkyjen puhdistus sekä tutkimukset ja selvitykset.

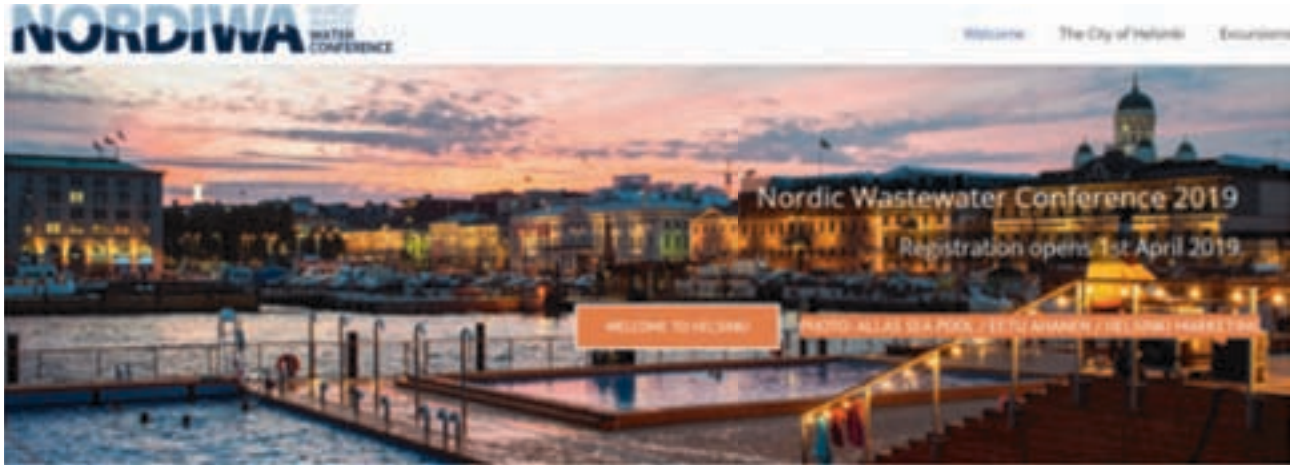
Maatalouden vesiensuojeluun kohdistetaan ohjelman rahoituksesta yli puolet eli 25 miljoonaa euroa. Ilmastonmuutoksen aiheuttama peltojen suurempi altistuminen huuhtoutumiselle tulee ottaa huomioon ja edistää mm. kosteikkojen ja suojavyöhykkeiden tehokasta hyödyntämistä. Uusista menetelmistä kipsin, rakennekalkin ja kuitulietteiden toimivuutta käytännön vesiensuojelussa testataan isommassa mittakaavassa. Alueellisesti merkittävin panostus kohdistuu Saaristomerelle.



Vesistökunnostusten avustusten haku alkaa huhtikuussa ely-keskusten kautta. Painopisteinä ovat vesien tilan parantaminen ja virkistyskäytön kehittäminen sekä asukkaiden oman toiminnan korostaminen, verkostoituminen ja yhteistyö paikallistasolla.

Kaupunkivesien osalta pyritään esimerkiksi vähentämään vesistöä pilaavia aineita kuten lääkeaineita ja mikromuoveja. Hulevesien luonnonmukaisen hallinnan imeyttäviä ja pidättäviä rakenteita kehitetään ja otetaan käyttöön yhä enemmän.

”Tavoitteeksi on otettu, että Suomesta tulee maailman paras vesiensuojelija”, ministeri Tiilikainen sanoo.



Pohjoismainen jätevesikonferenssi syksyllä Helsingissä

Pohjoismainen jätevesikonferenssi, NORDIWA 2019, järjestetään Helsingissä 23.–25. syyskuuta 2019. Joka toinen vuosi järjestettävän konferenssin pääteemoja ovat jäteveden käsittelyyn liittyvien aiheiden ohella viemäriverkostot sekä ilmastonmuutokseen sopeutuminen.

Kansainvälisessä NORDIWA 2019 jätevesikonferenssissa kuulet alan tuoreet tutkimustulokset ja perehdyt uutta tietämystä edistäviin hankkeisiin. Samalla on oiva tilaisuus verkostoitua pohjoismaisten kollegoiden ja asiantuntijoiden kanssa. Esitelmät kattavat ajankohtaisia aiheita, kuten haitalliset aineet, ravinteiden talteenotto ja kierrätys, verkostojen hallinta ja ylivuotojen vähentäminen, hulevesien kestävät hallintamenetelmät, kasvihuonekaasupäästöt ja digitalisaatio.

Suomeen odotetaan runsasta kuulijajoukkoa, sillä Tanskassa järjestettyyn edelliseen konferenssiin vuonna 2017 osallistui yli 400 ammattilaista. Konferenssi kokoaa yhteen vesihuoltoalan ammattilaisia, asiantuntijoita ja käytännön toteuttajia: vesihuoltolaitosten työntekijöitä, kaupungin suunnittelijoita, tutkijoita, insinöörejä ja konsultteja. Konferenssi pidetään kokonaisuudessaan englanniksi, joten konferenssiin toivotetaan tervetulleeksi kuulijoita myös pohjoismaiden ulkopuolelta.

Suomeen odotetaan runsasta kuulijajoukkoa, sillä Tanskassa järjestettyyn edelliseen konferenssiin vuonna 2017 osallistui yli 400 ammattilaista. Konferenssi kokoaa yhteen vesihuoltoalan ammattilaisia, asiantuntijoita ja käytännön toteuttajia: vesihuoltolaitosten työntekijöitä, kaupungin suunnittelijoita, tutkijoita, insinöörejä ja konsultteja. Konferenssi pidetään kokonaisuudessaan englanniksi, joten konferenssiin toivotetaan tervetulleeksi kuulijoita myös pohjoismaiden ulkopuolelta.

Tapahtumapaikkana on Clarion Hotel Helsinki, Jätkäsaaren kaupunginosassa Helsingin Länsisatamassa. Konferenssiohjelmassa on myös Helsingin kaupungintalolla järjestettävä Helsingin kaupungin vastaanotto.

Vesilaitosyhdistys vastaa konferenssin toteuttamisesta. Lisäksi ohjelmatoimikunnassa ovat mukana Danva, Samorka, Svenskt Vatten, Norsk Vann sekä kansallisten IWA-komiteoiden edustajat.

Lisätietoja konferenssista www.nordiwa.org

AJANKOHTAISTA VESIYHDISTYKSELTÄ

SUOMEN VESIYHDISTYS RY
Water Association Finland

Hulevesijaoston vuosikokous järjestetään ke 10.4. klo 17:00 Tieteiden talolla (Sali 505, Kirkkokatu 6, Helsinki). Kokouksen päätteeksi järjestetään keskustelutilaisuus hulevesien mikromuoveista, tilaisuudessa alustuksia mm. Sykeltä, Lukelta ja WSP Finlandilta. Liitythän jaoston sähköpostilistalle (maija.taka@aalto.fi) saadaksesi tarkemmat ilmoittautumisohjeet.

VESITALOUS-LEHDEN LIIKEHAKEMISTO

Valitse osastosi ja nosta yrityksesi tunnettavuutta.
Toista tai vaihda ilmoitusta numeroittain.

Palstan leveys liikehakemistossa 80 mm,

kaksi palstaa 170 mm.

Kysy tarjousta!

ilmoitus.vesitalous@mvtt.fi

Tuomo Häyrynen 050 585 7996

Photo by xandtor on Unsplash

AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT

JÄTEVESIEN- JA LIETTEENKÄSITTELY

HUBER TECHNOLOGY
WASTE WATER Solutions

Ympäristötekniikkaa - Maailmanlaajuisesti

Hydropress Huber AB
Puh 0207 120 620
info@huber.fi
www.huber.fi

VEDENKÄSITTELYLAITTEET JA -LAITOKSET

70 VUOTTA VESIHUOLTOA

Kaiko

- Vuodonetsintälaitteet
- Vesimittarit
- Annostelupumput
- Venttiilit
- Vedenkäsittelylaitteet

Kaiko Oy
Henry Fordin katu 5 C
00150 Helsinki

Puhelin (09) 684 1010
kaiko@kaiko.fi
www.kaiko.fi

RICTOR® PYÖRREFLOTAATIO

- Maailman tehokkain veden- ja jäteveden puhdistusmenetelmä
- Flotaatiolaitossuunnittelua ja toimituksia yli 50 vuotta

INSINÖÖRITOIMISTO OY RICTOR AB

SIBELIUKSENKATU 9 B
00250 HELSINKI

PUH. 09-440 164
www.rictor.fi

VESIHUOLLON KONEET JA LAITTEET

FENNO WATER

Ruuvipuristin FW250/750/0.5, Q= 60kgTS/h hydraulinen kapasiteetti 4m³/h

Lastausväylä 9, 60100 Seinäjoki
Karjalankatu 2 A 17, 00520 Helsinki
Puh. 06 – 420 9500, Fax. 06 – 420 9555

www.fennowater.fi

TUOTTEITAMME:

- Välppäysyksiköt
- Hiekanerotus- ja kuivausyksiköt
- Lietekaapimet
- Sekoittimet
- Lietteentiivistys- ja kuivausyksiköt
- Kemikaalinannostelulaitteet
- Flotaatioyksiköt
- Lamelliselkeyttimet
- Biologiset puhdistamot

PA-VE
YHDYSKUNTATEKNIIKKA

KESTÄVÄN **VESIHUOLLON** KUMPPANI

Kotimaiset laitekaivot, pumppaamot, sekä vesi- ja palopostit nopeasti ja luotettavasti.

ISO 9001
ISO 14001

VESIKEMIKAALIT

Sovelluksia juoma- ja jätevedenkäsittelyyn

Tarjoamme asiakkaillemme sovelluksia aina kemiallisesta saostamisesta biologisen käsittelyn tukemiseen, hajun- ja korroosiontorjuntaan, desinfiointiin ja lietteenkäsittelyyn Ratkaisemme ongelmat yhteistyössä asiakkaidemme kanssa.
Lue lisää: **www.kemira.com/fi**

kemira

SUUNNITTELU JA TUTKIMUS

VESIHUOLLON SUUNNITTELUN YKKÖNEN (LÄHTÖKOHTANA LOPPUKÄYTTÄJÄ)

www.ramboll.fi

RAMBOLL

Puhtaan veden ratkaisumme

- pohjavesi ja vedenhankinta
- jätevedenpuhdistus
- vesihuoltoverkostot
- hulevedet
- vesihuoltostrategiat

PÖYRY
The connected company

www.poyry.fi
vaihde 010 3311

VESIHUOLTO VERKOSTOT LAITOKSET
PUMPPAAMOT PUHDISTAMOT LINJAT
SANEERAUS HULEVESI SUUNNITTELU
VARAUTUMINEN TALOUS KARTAT
RAKENNUTTAMINEN VALVONTA

WWW.SWECO.FI / 040 8241 841

SWECO

I ♥ WATER ENGINEERING

wsp

wsp.com

johanlundbergoy

Kaivamattoman (no-dig) tekniikan asiantuntijakonsultit

Kaikki uudisasennus- ja saneerausmenetelmät

www.johanlundberg.fi info@johanlundberg.fi

Olisiko tässä paikka sinun ilmoituksellesi?

Pyydä tarjous ilmoituksesta ja suunnittelusta:

ilmoitus.vesitalous@mvtt.fi
Tuomo Häyrynen 050 585 7996

Vedenkäsittelyn asiantuntija – ideoinnista laitosratkaisuihin

Vesiprosessien selvitys- ja suunnittelutyöt
Ongelmanratkaisu ja optimointi
Prosessi- ja vesimikrobiologia
Vuokra- ja koelaitteet
Prosessien käyttö ja huolto

+358 50 321 9131
www.teollisuudenvesi.fi

Teollisuuden Vesi

Max Okhrimenko / Unsplash

FINNISH JOURNAL FOR PROFESSIONALS IN THE WATER SECTOR
Published six times annually | Editor-in-chief: Timo Maasilta | Address: Annankatu 29 A 18, 00100 Helsinki, Finland

Juhani Järveläinen, Kirsi Kuoppamäki and Mikko Pöysti: Storm water redirection, biofiltration and comparison of filtration materials in Lahti

Lahti aims to reduce discharges of storm water into the nearby Lake Vesijärvi from urban areas by redirecting part of the downtown storm waters to a treatment system constructed in the Hennala district as part of the Hule S&C project. This unit combines old and new storm water treatment philosophies and applies a new type of biofiltration. The ability of vegetation, biocarbon, crushed gravel, crushed concrete and sand to withhold solids, nutrients and metals in storm waters was studied with the help of laboratory testing.

Sonja-Maria Ignatius, Leena Sänkiaho, Olli Hakala, Joel Kerkkänen, Kirsi Kuoppamäki, Pietu Pankkonen and Nora Sillanpää: New solutions for storm water in dense urban environments

In a dense urban environment, new kinds of solutions are needed for storm water management. The City of Helsinki piloted a filtration chest in the Taivallahti district for treating harmful substances such as microplastics in storm water. The question was also studied, together with the Helsinki Region Environmental Services Authority (HSY), whether a floating overflow tank would be suitable for delaying mixed waters on the shore of Munkkiniemi.

Joel Kerkkänen, Nora Sillanpää, Emilia Lehikoinen, Toni Laurila, Kirsi Kuoppamäki, Elina Kalliala, Marjo Valtanen and Johanna Jalonen: Distributed storm water management in the Niittykumpu district of Espoo

The wide-scale application of distributed solutions intended for qualitative treatment of storm waters in urban areas demands empirically studied data obtained, for example, by measuring the functionality of pilot structures. In Espoo, this has been tackled by collection monitoring data from new biofiltration structures and by developing innovative solutions and measurement technology.

Emmi Vesala, Nora Sillanpää, Harri Keinänen and Timo Nikulainen: Multi-use areas for storm water management and interaction

The Manttaali- and Rälssi Park design project opens up possibilities for storm water management when a new town centre is built. The project created new, innovative storm water structures also combining multiple use and a social dimension.

Giovanni Chaurand, Nora Sillanpää, Tuija Hänninen, Elina Kauppila, Perttu Hyöty and Harri Koivusalo: Airport storm water will soon be treated in an underground wetland

A special feature of airport storm water is the contamination caused by wintertime de-icing and antifreeze substances. An underground wetland is a promising storm water treatment structure in locations where open water has to be avoided for security reasons, water quantities are large and soil microbes are needed to help in the treatment process. Laboratory testing can be used to identify suitable materials and technical solutions for filtration.

Piia Leskinen and Heidi Vilminko: Building site water management methods with clay soils

Runoff waters from building sites can be a significant risk to the quality of nearby surface waters. Particularly on clay soils, the solids content can be extremely high and absorption solutions are difficult to implement. In Rauhalinna, Kaarina, the functionality of filtration weirs and erosion management was tested in the management of worksite runoff. On the basis of the study, it was noted that technically simple, low-cost solutions can considerably reduce contamination.

Anna Karjalainen, Johanna Salmelin, Jaana Wallin, Hanna Arola, Jussi Kukkonen, Marjo Niittynen, Päivi Meriläinen, Tarja Pitkänen, Ilkka Miettinen, Matti Leppänen, Marie Korppoo and Markus Huttunen: Overall risk assessment of metal ore mining on waterways and health

Mining results in emissions that are restricted by means of permits. Environmental permits specify, in addition to loading limits, content thresholds for the residual metals released into waterways. An overall picture of the harmful effects of mining is obtained when bio tests and information on changes in the biome are also used in the assessment of ecological impacts and the extent of the health risk is indicated by means of key figures.

Other articles

Juhani Järveläinen: The importance of qualitative management will be emphasised in future storm water construction (Editorial)

Mika Kurkilahti, Mikko Olin, Jukka Ruuhijärvi, Katja Kuloja and Martti Rask: Quantity of nets in monitoring of test fishing – for example, from a test fishing plan in the waterway below the Talvivaara mine on the Sotkamo route

Linnea Blåfield, Petteri Alho, Hannu Hyyppä and Elina Kasvi: Challenges of measuring riverbed geometry and flow field and new techniques

Tuulia Innala: Storm water - from burden to resource

Hulevedet - rasitteesta resurssiksi?

Hulevedet, nuo rakennetuilla alueilla maan pinnalle, rakennuksen katolle tai muulle pinnalle kertyvät sade- tai sulamisvedet, ovat nousseet viime vuosina voimakkaasti keskusteluun. Sanotaan, että rakkaalla lapsella on monia nimiä. Englanniksi hulevedet ovat myrskyvesiä, stormwater ja ruotsiksi päivävesiä, dagvatten (oikeasti termi on peräisin vanhasta kantasanasta, jolla ei ole tekemistä päivän kanssa). Viime aikojen lehtijutuissa niitä on kutsuttu jopa hulavesiksi tai sadevesiksi, joista joutuu maksamaan. Etymologisen sanakirjan mukaan hulasvesi tai hulevesi tarkoittaa tulvavettä, lumesta sulanutta tai jään päälle noussutta vettä. Hulaallaan, huleillaan tarkoittaa kokonaan veden peitossa. Joka tapauksessa virallinen termi *hulevesi* ei ole ihan tuttu kadunmiehen jokapäiväisessä kielenkäytössä, mutta toivottavasti tunnettuus paranee sitä mukaa, kun aiheesta keskustellaan. Viestinnällisenä haasteena on saada kuntalaiset ymmärtämään, että hulevesien hallinnassa ja maksuissa on kyse tärkeän palvelun hoitamisesta ja rahoittamisesta. Tarkoitus on muun muassa estää kiinteistöille koituvia haittoja normaali- ja tulvatilanteissa.

Maankäyttö- ja rakennuslain sekä vesihuoltolain muutoksilla syksyllä 2014 hulevedet asemoitiin lainsäädännöllisesti uudella tavalla. Lakimuutosten tavoitteena oli edistää entistä kokonaisvaltaisempaa hulevesien hallintaa sekä tuoda putkiviemäröinnin rinnalle muitakin hulevesien hallinnan keinoja, kuten imeytystä ja viivytystä syntypaikoilla sekä kosteikkoja, tasausaltaita ja suodatusrakenteita. Peruskunnille säädettiin entistä suurempi vastuu kokonaisvaltaisesta hulevesien hallinnasta, mutta vastuu rajattiin koskemaan asemakaava-alueita. Tosin kunta saa huolehtia hulevesien hallinnasta muillakin alueilla, jos sitä pidetään tarpeellisena. Samalla päätettiin, että hulevesien viemäröinti ei ole enää vesihuoltoa kuten aiemmin. Vesihuoltolaitos saa edelleenkin huolehtia viemäröinnistä, mikäli kunta niin päättää, mutta hulevedet tulee erotella mm. kirjanpidossa erikseen muusta vesihuollosta.

Hulevesien hallintaa on uudelleenorganisoitu Suomen kunnissa ja lain mahdollistamia julkisoikeudellisia hulevesimaksuja otettu käyttöön paikoin. Huomio on kiinnittynyt kunnissa paljolti hulevesien määrän hallintaan. Hulevedet liittyvät aina rakennettuun alueeseen. Ne ovat vesiä, joille on etenkin tiiviisti rakennetuilla alueilla useimmiten tarve tehdä jotakin, joko imeyttää tai viivyttää tontilla, kerätä kasteluvedeksi tai johtaa muualle.

Vaatimus siitä, että hulevesiä tulisi hallita yhä paremmin tonteilla, on noussut esiin kaupunkien tiivistymisen myötä. Kiinteistö vastaa kiinteistönsä hulevesien hallinnasta. Mitä enemmän rakennetaan vettä läpäisemätöntä asvaltti-, kiveys- ja kattopintaa, sitä helpommin hulevesi voi aiheuttaa haittoja. Kiinteistöt voisivat suunnitella viihtyisiä hulevesirakenteita ja lisätä vihreää ympärillämme. Hulevesien kulkua hallitusti viivyttämällä on mahdollisuus rakentaa myös kiinnostavaa asuinympäristöä. Pihaalueille voi lisätä läpäiseviä pintoja kuten esimerkiksi kivituhkaa, soraa, mursketta, kasvillisuutta ja nurmea. Hulevedet tulisikin nähdä rasitteen sijasta resurssina, jota ei haluta hukata. Vihreässä kaupungissa viihdytään.

Viime aikoina on alettu kiinnittää huomiota myös hulevesien laatuun, mikä on hieno asia. Kunnissa etsitään ratkaisuja, joiden avulla voitaisiin poistaa vesistöön johtuvista hulevesistä erilaisia haitta-aineita. Olen itsekin saanut kunnian olla erään laatuhankkeen, Uudet hulevesien hallinnan Smart & Clean –ratkaisut, ohjausryhmässä mukana. Hanketta seuranneena voin todeta, että laadun hallintaa koskevat tutkimukset ja selvitykset ovat tarpeellisia kuten myös erilaiset ohjeistukset kunnille. Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksen keskusteluissa on väläytelty myös, että hulevesien laatuvaatimuksista tulisi säätää. Itse totean, että toimintaympäristömme ei ole vielä valmis säädöksille. Ei ole järkeä säätää vaatimuksia, joiden toteutukseen ja seurantaan ei ole olemassa kustannustehokkaita keinoja.

TUULIA INNALA
Erityisasiantuntija,
kuntatekniikan kehittäminen
Suomen Kuntaliitto ry

Kirjoittajan työtehtäviin kuuluvat vesihuolto- ja hulevesiasiat sekä jätehuolto.

uponor
Vanhat hulevesikeinot eivät enää riitä
Hulevesisäiliöt – ylivertainen ratkaisu
Kun yhdyskuntatekniikan vaatimukset ja ympäristötietoisuus kasvavat, parhaiden hulevesijärjestelmien valinta edellyttää huolellista harkintaa. Alan johtavana toimittajana tiedämme, että putki- ja säiliöpohjaiset ratkaisut tarjoavat ylivoimaisia etuja kaikissa suuren mittakaavan projekteissa, kun perusteina ovat laatu, toiminta ja kokonaiskustannukset. Tutustu kattavaan hulevesikonseptiimme osoitteessa www.uponor.fi/hulevesiratkaisut
Tehty käyttöön. Tehty toimimaan. Tehty kestämään.
www.uponor.fi