



# HULEVESIEN KÄSITTELYN T&K-YMPÄRISTÖ

Aki Mykkänen (toim.)



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

Aki Mykkänen (toim.)

# HULEVESIEN KÄSITTELYN T&K-YMPÄRISTÖ



**MIKSEI** MIKKELI



**Vipuvoimaa**  
**EU:lta**  
2014–2020



**XAMK KEHITTÄÄ 161**

**KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
**MIKKELI 2021**

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Manu Eloaho

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-358-7 (nid.)

ISBN: 978-952-344-359-4 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN: 2489-3102 (verkkajulkaisu)

[julkaisut@xamk.fi](mailto:julkaisut@xamk.fi)

# LUKIJALLE

Huky – Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö (A74988) -hanke on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan sekä Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n yhteishanke. Huky on rinnakkaishanke Mikkelin kaupungin Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö-investointihankkeelle (A74989), jossa itse puhdistusjärjestelmät rakennettiin. Hankkeita rahoittivat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrahastosta, Mikkelin kaupunki ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Hankkeet toteutettiin ajalla 1.1.2019–30.6.2021. Hankkeen projektipäällikkönä oli Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa ins. (AMK) Aki Mykkänen ja tutkimusinsinöörinä ins. (AMK) Lasse Hämäläinen. Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n osion projektipäällikkönä oli ohjelmajohtaja TkT Jussi Heinimö sekä Mikkelin kaupungin osiossa kehitysinsinööri ins. (AMK) Sari Hämäläinen. Huky-hankkeen vastuullisena johtajana toimi tutkimusjohtaja, FT Lasse Pulkkinen, hankkeen yhteyshenkilönä TkT Hanne Soininen ja hankeasiantuntijana Hanna-Maija Penttinen.

Hankkeen etenemistä ohjasi ja valvoi ohjausryhmä, johon kuuluivat Mikkelin kaupungin Infra- ja viheraluepalvelut -yksikön suunnittelupäällikkö Antero Cederström, Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n toimitusjohtaja Juha Kauppinen, projektipäällikkö Iiro Kiukas Ramboll Finland Oy:stä, vesienhoidon asiantuntija Juho Kotanen Etelä-Savon ELY-keskuksesta sekä tutkimuspäällikkö Hanne Soininen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululta. Hankkeen ohjausryhmässä rahoittajan edustajana toimivat ohjelmapäällikkö Jaana Tuhkainen (1.1.2019–29.2.2020) sekä yritysasiantuntija Jarkko Rautio (1.3.2020–30.6.2021). Lisäksi hankkeen työryhmien kokouksiin osallistuivat ympäristösuunnittelija Heikki Tanskanen Mikkelin seudun ympäristöpalvelusta sekä ympäristöinsinööri Jyrki Hämäläinen Etelä-Savon ELY-keskuksesta. Lisäksi hankkeen kohteiden suunnittelussa ja toteutuksessa mukana olivat projektipäällikkö Marjo Valtanen Ramboll Finland Oy, Juha-Pekka Saarelainen Sipti Infra Oy sekä Jukka Pentikäinen Maanrakennus Talpa Oy:stä.

Tekijät kiittävät rahoittajia kehittämistyön mahdollistamisesta sekä muita hankkeen toteutukseen osallistuneita tahoja aktiivisesta osallistumisesta hanketyöhön.

Mikkelissä 10.6.2021



# KIRJOITTAJAT

**JUSSI HEINIMÖ**, TkT, ohjelmajohtaja  
Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy

**LASSE HÄMÄLÄINEN**, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**SARI HÄMÄLÄINEN**, insinööri (AMK), kehitysinsinööri  
Mikkelin kaupunki

**AKI MYKKÄNEN**, insinööri (AMK), projektipäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**JUHA-PEKKA SAARELAINEN**, insinööri (AMK), projektipäällikkö  
Sipti-Infra Oy

**HANNE SOININEN**, TkT, tutkuspäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

# SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
KIRJOITTAJAT .....	4
HULEVEDEN KÄSITTELYN T&K-YMPÄRISTÖ- HUKY-HANKE.....	7
Aki Mykkänen & Hanne Soinen & Jussi Heinimö & Sari Hämäläinen	
HULE- JA SUOTOVESIEN KÄSITTELY JA BIOHIILEN MAHDOLLISUUDET.....	10
Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen	
HUKY-HANKKEEN SUODATINMATERIAALIEN LABORATORIOKOKKEET.....	20
Lasse Hämäläinen & Aki Mykkänen	
PITKÄJÄRVEN HULEVESIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ – KUVAUS SEKÄ HUKY-HANKKEEN TOIMINNOT .....	32
Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen & Sari Hämäläinen	
PITKÄJÄRVEN HULEVESIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ – VIRTAAMA .....	45
Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen	
PITKÄJÄRVEN HULEVESIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ – SUODATINKAIVOJEN PUHDISTUSKOKKEET.....	61
Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen	
PITKÄJÄRVEN HULEVESIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ – HUOLTO JA JATKOKÄYTTÖ .....	84
Aki Mykkänen	
RISTIINAN VANHAN KAATOPAIKAN SUOTOVESIEN BIOSUODATUSLAITTEISTO – TOIMINTA JA MONITOROINTI.....	92
Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen & Juha-Pekka Saarelainen & Sari Hämäläinen	

RISTIINAN VANHAN KAATOPAIKAN SUOTOVESIEN BIOSUODATUS-  
LAITTEISTO – HUKY-HANKKEEN TULOKSET VUOSINA 2019 JA 2020.....107  
Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen & Juha-Pekka Saarelainen

T&K-TOIMINNAN AKTIVOINTI JA TOIMIJAVERKOSTON KOKOAMINEN  
HYÖDYNTÄMÄÄN T&K-YMPÄRISTÖÄ.....131  
Jussi Heinimö

# HULEVEDEN KÄSITTELYN T&K-YMPÄRISTÖ- HUKY-HANKE

Aki Mykkänen & Hanne Soininen & Jussi Heinimö & Sari Hämäläinen

Huky – Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö (A74988) -hankkeessa monitorointiin Mikkelin Pitkäjärvelle rakennetun hulevesien käsittelyjärjestelmän ja Ristiinan vanhalle kaatopaikalle rakennetun suotovesien biosuodatuslaitteiston hule- ja suotovesiä. Demonstraatiokohteet mahdollistavat tutkimus- ja kehittämistyön Mikkelin alueen vesistöihin laskevilla hule- ja suotovesillä, ja se on osa EcoSairila-kokonaisuutta. Huky on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy:n yhteishanke sekä rinnakkais-hanke Mikkelin kaupungin investointihankkeelle (A74989), jossa tarkastellut järjestelmät toteutettiin. Hankkeen tuloksena saatiin tietoa kohteiden toimivuudesta ja käyttämisestä sekä kohteissa käytettyjen suodatinmateriaalien toimivuudesta. Näiden lisäksi aktivoitiin ja koottiin toimijaverkostoa hyödyntämään hankkeen T&K-ympäristöjä. Hankkeiden toteutusaika oli 1.1.2019–30.6.2021. Hankkeita rahoittivat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta sekä Mikkelin kaupunki ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

## TAVOITTEENA TIETOA SUODATINMATERIAALEISTA JA PUHTAAMMAT VEDET

Suomessa vesienkäsittelyyn liittyvä osaaminen ja teknologia ovat hyvällä tasolla maailman mittakaavalla, mutta kuten aina, myös parantamisen kohteita riittää. Yhdet näistä kohteista ovat hulevesien ja suljettujen kaatopaikkojen suotovesien käsittely. Hankkeen tavoitteena oli testata Mikkelin kaupungin rakentamia demonstraatiokohteita sekä niissä käytettyjä suodatinmateriaaleja. Koska kokeet tehtiin todellisissa ympäristöissä, parantui kohteiden alapuolisiin vesistöihin menevän veden laatu jo hankkeen aikana.

Biohiilestä on olemassa paljon tutkimustietoa, ja yksi mielenkiintoinen biohiilen sovellutus on tullut esiin hulevesien käsittelyssä. Tästä kuitenkin on vielä toistaiseksi vain vähän tietoa aidoilla hulevesivirtaamilla. Mikkelin kaupungin rakentama Pitkäjärven suodatinjärjestelmä mahdollistaa Karilan valuma-alueelta muodostuvien hulevesien ohjaamisen viidelle rinnakkaiselle suodatinkaivolle. Järjestelmän kaivoihin voidaan myös sijoittaa muitakin suodatinmateriaaleja ja kaivokohtaisia virtaamia voidaan säätää käyttäjän kokeiden ja tarpeiden mukaisesti.

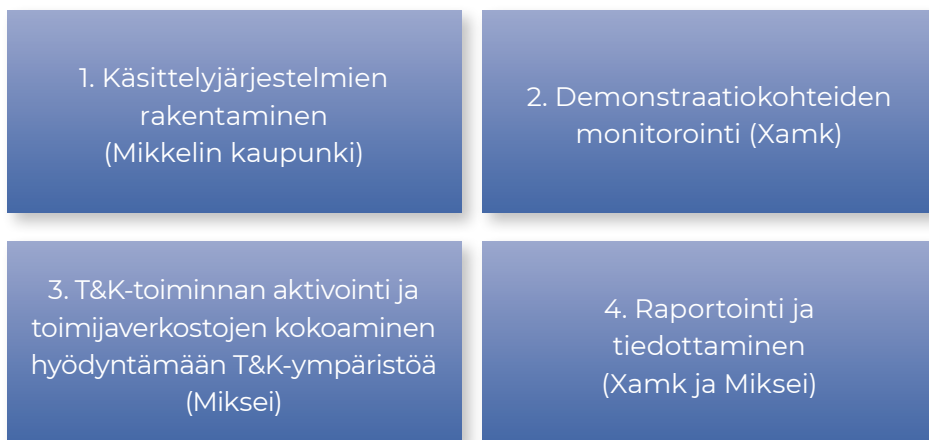
Kuten hulevedet, ovat myös vanhojen kaatopaikkojen suotovedet nousseet esille vesistöä kuormittavina tekijöinä. Erityisesti suljetuilta kaatopaikoilta muodostuvat suotovedet voivat

pitoisuustasoiltaan olla hyvin väkeviä, jolloin niillä saattaa olla merkittäväkin pistekuoritusvaikutus. Ristiinan vanhan kaatopaikan biosuodatuslaitteistolla haluttiin tarkastella mahdollisuuksia käyttää luonnollisiin puhdistusmenetelmiin perustuvaa suotovesien puhdistusmenetelmää.

Lisäksi hankkeen tavoitteena oli aktivoida yritystoimintaa hyödyntämään järjestelmiä tutkimus- ja kehitystoiminnassa, vahvistaa Mikkelin vesiosaamista sekä tukea EcoSairila-kehittämislustan mukaisia tavoitteita ja mahdollisuuksia.

## HANKKEEN TOIMENPITEET

Huky-hanke sekä sen rinnakkainen Mikkelin kaupungin Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö -investointihanke toimivat yhtenä hankekokonaisuutena. Hanke oli jaettu neljään toimenpiteeseen, jotka ovat nähtävillä kuvassa 1. Toimenpiteet oli jaettu Mikkelin kaupungin, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun sekä Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n välille.



**KUVA 1.** Hankkeen toimenpiteet

Käsittelyjärjestelmien rakentaminen -osiossa suunniteltiin ja rakennettiin Mikkelin Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmä sekä Ristiinan vanhan kaatopaikan biosuodatuslaitteisto. Lisäksi ensimmäinen toimenpide piti sisällään myös kohteiden myöhempiä muutostoimenpiteitä.

Toimenpiteen 2 toteutuksen aikana monitorointiin Pitkäjärven ja Ristiinan demonstraatiokohteiden toimintaa. Lisäksi tarkasteltiin niissä käytettyjen suodatinmateriaalien toimintaa ja soveltuvuutta. Molemmissa kohteissa tehtiin monitorointitoimintaa muun muassa näytteenottoilla, kenttämittareilla sekä jatkuvatoimisilla online-vedenlaatumittareilla. Lisäksi kohteista kerättiin virtaamatietoa.

T&K-toiminnan aktivointi ja toimijaverkoston kokoaminen hyödyntämään T&K- ympäristöä -osiossa tunnistettiin mahdollisia kohteiden jatkokäytöstä kiinnostuneita yhteistyökumppaneita sekä valmisteltiin markkinointimateriaaleja. Lisäksi yrityksiä ja T&K-toimijoita aktivoitiin hyödyntämään ympäristöjä tutkimus-, kehitys- ja testaustoiminnassa sekä kytkettiin Pitkäjärven järjestelmää osaksi Mikkelin EcoSairila- kehittämiskokonaisuutta.

Hankekokonaisuuden toteutuksen aikana järjestettiin työryhmäkokouksia, joissa käsiteltiin toimenpiteitä, kohteiden toimintaa, yhteistyömahdollisuuksia sekä saatuja tuloksia. Hankkeen tuloksista ja etenemisestä tiedotettiin ohjausryhmän kokouksissa, tiedotustilaisuuksissa, seminaareissa sekä hankkeiden verkkosivuilla. Lisäksi tehtiin yhteistyötä muun muassa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Bioproduct and Clean Bioeconomy – RDI FlagShip in Xamk -hankkeen (OKM) kanssa muun muassa biohiilen ominaisuuksien karakterisoinnin ja ominaispinta-alan määrittämisen osalta sekä Safe Environment and Cleaner Waterways to Blue Baltic Sea – LUGABALT2 -hankkeen (CBC) kanssa vesien monitoroinnin osalta.

## **TULOSENA TIETOA JÄRJESTELMIEN TOIMIVUUDESTA, KÄYTÖSTÄ JA HYÖDYNTÄMISESTÄ SEKÄ BIOHIILEN TOIMIVUUDESTA HULEVESIEN KÄSITTELYYN**

Laboratoriokokeet ovat erittäin tärkeä osa uusien vedenpuhdistusmenetelmien tutkimuksessa, mutta todellisessa hulevesiympäristössä voi tulla esille asioita, joita laboratoriomittakaavassa ei pystytä tai ei ole osattu huomioida. Isomman mittakaavan avulla voidaan saada myös mitoitustietoa vastaavanlaisien, suodatinpohjaisten puhdistusjärjestelmien rakentamista varten. Pitkäjärven demonstraatioympäristössä kokeita voidaan toteuttaa todellisessa hulevesiympäristössä.

Huky-hankkeen järjestelmien pilot-kokeilla saatiin tietoa järjestelmien toimivuudesta sekä käytöstä. Tätä tietoa voidaan hyödyntää kohteiden jatkokäytössä ja uusien kohteiden suunnitteluissa. Tämä tukee osaltaan muun muassa Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmästä kiinnostuneiden yritysten toimintaedellytyksiä.

Hankkeen aikana saatua tietoa on jaettu eteenpäin muun muassa radiolähetyksissä, yhteistyötilaisuuksissa sekä seminaareissa. Huky-hankkeen toimenpiteiden toteutuksesta sekä pääosa tuloksista on kerrottu tarkemmin tämän julkaisun muissa artikkeleissa. Julkaisun artikkelit käsittelevät hankkeessa tarkkailtujen kohteiden rakenteita ja niiden toteutusta ja kohteiden monitorointituloksia ja käyttökokemuksia. Lisäksi artikkeleissa on käsitelty ehdotuksia kohteiden jatkohyödyntämistä varten.

# HULE- JA SUOTOVESIEN KÄSITTELY JA BIOHIILEN MAHDOLLISUUDET

Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen

Hulevesien tuottamat ongelmat kaupunkialueilla ovat tulleet viime vuosina entistä enemmän esille. Perinteisesti hulevesiä on hoidettu pelkästään johtamalla ne lähimpään vesistöön, jolloin paikallinen sekä alapuolisten vesistöjen vedenlaatu kärsii. Riippuen hulevesien muodostumisalueesta hulevedet voivat sisältää kuormittavia ravinteita sekä haitallisia aineita, joilla voi olla merkittäviäkin vaikutuksia ekosysteemeihin. Muodostuvia hulevesiä tulisi viivyttää, imeyttää maaperään tai käsitellä jo muodostumisalueella vesistökuormituksen estämiseksi. Tätä on yleisesti tehty hulevesikosteikoilla tai biosuodatusalueilla. Hulevesien lisäksi Suomen vesistöjä kuormittavat myös vanhojen kaatopaikkojen suotovedet. Suotovesien haitta-ainepitoisuudet voivat olla moninkertaisia verrattuna hulevesiin, mutta ne ovat yleisesti hyvin pistemäisiä päästölähteitä. Suotovesiä muodostuu myös huomattavasti hulevesiä vähemmän. Tällöin suotovesien käsittely on hyvä toteuttaa suoraan niiden muodostumispaikalla, jolloin niistä muodostuva haitta ei pääse vaikuttamaan lähiympäristöön. Näitä prosesseja voidaan myös tehostaa lisäämällä rakenteisiin ja suodattimiin biohiiltä, jolloin esimerkiksi haitta-aineiden puhdistuskyky voi parantua. Biohiilen hyödyntämisestä on muitakin hyötyjä, joita muilla puhdistusmenetelmillä ei välttämättä ole.

## HULEVESIEN KUORMITUS VESISTÖIHIN JA NIIDEN KÄSITTELY

Hulevesi on vettä, joka kertyy rakennetulla alueella maahan tai muille vastaaville pinnoille. Hulevettä muodostuu erityisesti kaupunkiympäristöissä, joissa kadut ja piha-alueet ovat pinnoitettuja.

Huleveden laatu vaihtelee paljon riippuen valuma-alueesta. Esimerkiksi maantialueilta tulevien hulevesien haitta-aineet ja niiden pitoisuudet voivat poiketa suuresti taajama-alueilta tulevien hulevesien koostumuksista. Sama pätee luonnollisesti teollisuusalueisiin, joissa mahdolliset haitta-ainepäästöt mukautuvat sen mukaan, minkälaista teollisuutta alueella on. Alueilla, joissa tiedetään tai epäillään olevan kuormituslähteitä, on hulevesien laadun monitorointi oleellista vesistöjen kunnon varmentamiseksi. Hulevesien mukana voi kulkeutua esimerkiksi metalleja, suolaa, öljyä, PAH-yhdisteitä, roskia sekä eläinten jätöksiä. Suuri osa haitta-aineista on sitoutuneena kiintoaineeseen, joka helpottaa vesien puhdistamista



esimerkiksi viivyttämällä sekä suodattamalla. Liukkauden torjunnassa käytetty suola on liukaisen olomuotonsa takia hankala poistaa perinteisillä huleveden puhdistusmenetelmillä. Hulevedet voivat kuljettaa mukanaan pohjaveden laatua vaarantavia aineita, kuten torjunta-aineita tai MTBE:tä (Kuntaliitto 20–21, 2016). Mikäli kohteesta havaitaan kohonneita pitoisuuksia, voidaan ongelmaan reagoida joko vaikuttamalla itse päästönlähteeseen tai puhdistamalla hulevesi erilaisten puhdistus- ja käsittelyratkaisujen avulla.

Hulevesien kuormittavuuden arviointi ympäristölle vaatii pitkäaikaista tarkastelua ja keskimääräisten haitta-ainepitoisuuksien seuraamista. Hulevesien laatu vaihtelee sademäärien, vuodenaikojen sekä yksittäisten päästötapahtumien mukaan, joten lyhytaikaiset mittaukset voivat vääristää kuormituksen määrää suuresti. Esimerkiksi pitkien sadekausien seurauksena huleveden haitta-ainepitoisuudet voivat olla pieniä, mutta kokonaishuuhtoma moninkertainen kuivaan kauteen verrattuna.

Hulevesien kuormitus vesistöihin jakautuu kahteen eri kategoriaan: akuutteihin sekä kroonisiin vaikutuksiin. Akuutteja vaikutuksia ovat lyhyen aikavälin tapahtumat, esimerkiksi kemikaalivuodot tai runsaasta sadannasta johtuva uimavesien huono hygieeninen laatu. Kroonisia vaikutuksia ovat pitkällä aikavälillä tapahtuva haitta-aineiden kertyminen laskuvesistöihin, esimerkiksi ravinteiden tai haitallisten metallien kertyminen sedimenttiin.

Suurimmat vaikutukset hulevedellä on mataliin lampiin, pieniin järviin sekä puroihin. Hulevesien vaikutukset pieniin vesistöihin voivat näkyä nopeana rehevöitymisena tai eliöstön muuttumisena sekä yksipuolistumisena. Huleveden vaikutukset pohjaveteen koostuvat valumavesien sisältämien haitta-aineiden lisäksi myös maaperästä suodattumisen aikana veteen liukenevista aineista. Maaperästä liukenevat aineet voivat olla luonnossa esiintyviä aineita, kuten metalleja ja mineraaleja, tai ihmisen toiminnan seurauksena maaperään päätyneitä yhdisteitä, kuten torjunta-aineita. (Kuntaliitto 124–138, 2016)

Hulevesien kuormittavuus ympäristöön otetaan huomioon kaupunkisuunnittelussa sekä kaavoituksessa. Ensimmäinen tavoite suunnittelussa on hulevesien määrän minimointi, jolloin sade- sekä sulamisvedet pääsevät suodattumaan maaperään. Helpoin tapa huleveden määrän hillitsemiseksi on käyttää rakentamisessa mahdollisimman vähän päällystettyjä rakenteita, jolloin hulevettä syntyy vähemmän. (Kuntaliitto 142–145, 2016)

Hulevedet ovat hyvin yleinen kaupunkialueiden läheisten vesistöjen kuormittaja, ja niiden monitoroinnissa on parannettavaa. Koska seurantasuunnitelmissa useasti keskitytään haitta-aineiden ja ravinteiden pitoisuuksien tarkkailuun, voi valuma-alueiden virtaamamäärät olla heikosti tiedossa. Erityisesti hulevesien valuma-alueiden tarkemmat, vuositason virtaamamäärät saattavat puuttua kokonaan. Mitä tarkemmat alueelta kerätyt virtaamatiedot ja yleiset taustatiedot ovat, sitä paremmin kohteen toimintaa ja kuormittavuutta voidaan arvioida. Hulevesialueilla myös tutkimusta tulisi painottaa hulevesitapahtumien aikaan,

koska ei-hulevesitapahtuman aikaan ojassa liikkuva, esimerkiksi pohjavesialueelta ojiin suotautuva vesi, ei välttämättä edusta alueen todellista kaupunkialueelta tulevan huleveden laatua. Marttusen ja Mustajoen (2020, 55–57) mukaan yksi hulevesitutkimuksen haasteista on ollut haitallisten aineiden hidas näytteenotto ja analysointi sekä huleveden ja vesistökuormituksen välisen yhteyden osoittaminen. Mahdollisimman kattavan virtaamatiedon ja sen mukaisen laadukkaan näytteenoton omaavan tutkimustoiminnan toteuttaminen on siis tärkeässä osassa hulevesitutkimusta.

Hulevesien käsittelyn tavoitteena on rakennettujen alueiden kuivana pitäminen, tulvien ehkäisy sekä vesistöjen ja pohjavesien suojeleminen. Asemakaava-alueilla vastuu hulevesien hallinnasta on kunnalla (MaRa 2014, 103 i §). Suuressa osassa Suomea hulevesi johdetaan käsittelemättömänä hulevesiviemäreitä pitkin vesistöihin. Käsittelemätön hulevesi kuormittaa vesistöjä, jolloin vedenlaatu heikkenee varsinkin pienissä sekä matalissa vesistöissä. Hulevesien käsittelyyn on kehitetty useita erilaisia menetelmiä, joilla pyritään vähentämään haitta-aineiden kulkeutumista vesistöihin.

Sadeveden imeytymistä pohjavedeksi voidaan lisätä jättämällä rakennetuille alueille esimerkiksi viheralueita, joiden läpäisevä maaperä vähentää huleveden muodostumista. Imeytystä voidaan tehostaa rakentamalla hulevedelle tarkoitettu viivytyksialue, joka hidastaa virtaamaa, jolloin kiintoainetta pääsee laskeutumaan altaan pohjaan ja sitoutumaan sedimenttiin. Rakennetulle alueelle voidaan myös rakentaa suodatinjärjestelmiä, jotka suodattavat hulevettä maaperän tavoin. Hulevettä voidaan johtaa avouomissa ja ojissa, joiden varsilla kasvavat kasvit suodattavat vedestä esimerkiksi ravinteita. Uomia ja ojia voidaan leventää paikoitellen, jolloin muodostuu laskeutusaltaita huleveden virtaaman hidastamiseksi. Uomien ja purojen suistoille voidaan rakentaa myös kosteikkoja, jotka toimivat laskeutusaltaita vastaavalla tavalla hidastaen veden virtaamaa ja joiden kasvillisuus pidättää kiintoainetta sekä ravinteita (Kuntaliitto 74–85, 2016).

## SUOTOVESIEN KUORMITUS JA NIIDEN KÄSITTELY

Suomessa jätteiden loppukäsittely ei ole aina ollut yhtä hyvällä tasolla kuin mitä se on nykyään. Vielä sata vuotta sitten oli hyvin tyypillistä sijoittaa kaikki syntynyt jäte lähimpään metsään, suohon tai lampeen. Vasta 1950-luvun jälkeen jätteitä on alettu kerätä kaatopaikoille, ja 1960-luvulta terveydenhoitolainsäädännön myötä siitä tuli lainsäädännöllistä. Yhdyskunta- ja teollisuusjätteiden loppusijoittaminen kaatopaikoille olikin tyypillinen jätteidenkäsittelymuoto Suomessa aina 2000-luvulle saakka. 1990-luvulta lähtien tiedon lisääntyessä ja lainsäädännön tiukentuessa näitä kaatopaikkoja alettiin kuitenkin sulkea ja jätteitä käsitellä kestävimmillä tavoilla. Käytöstä poistettuja kaatopaikkoja on runsaasti eri puolilla Suomea. Ennen 2000-lukua kaatopaikkatoimintaa ohjeistava lainsäädäntö on ollut myös hyvin hajanaista, minkä myötä kaatopaikkojen ympäristövaikutuksia ei ole tarkasteltu tai seurattu. Useille kaatopaikoille onkin saattanut päästä nykyisin ongelmajätteiksi

lajiteltuja jätteitä. Suomessa 2000-luvulla pieniä kaatopaikkoja on suljettu pintaeristämällä, millä vähennetään sadeveden pääsemistä jätekerrokseen ja estetään muun muassa bakteereja ja haitta-aineita kulkeutumasta sadevedestä muodostuvan suotoveden mukana. Tästä huolimatta kaatopaikoilta silti muodostuu suotovesiä, jotka saattavat sisältää ympäristöä kuormittavia aineita. Kaatopaikkojen suotovesien mukana alapuolisiin vesistöihin saattaa siis liikkua pistekuormitusta aiheuttavia ravinteita sekä haitta-aineita. Sulkemistoimista ja suotovesien tarkkailusta huolimatta suotovesillä voi olla veden laatua alentava vaikutus läheisiin luonnonvesiin. Kaatopaikkojen sisäiset suotovedet voivat olla erittäin väkeviä, mikä asettaa niitä puhdistavalle laitteistolle korkeat vaatimukset. Vanhojen kaatopaikkojen ja käytössä olevien jäteasemien hulevedet voivat puolestaan olla haitta-aine- ja ravinnepitoisuudeltaan laimeita, mutta niiden volyymi voi olla suuri, minkä myötä niiden käsittely saattaisi olla tarkoituksenmukaisempaa järjestää syntypaikalla (Arola 2011).

Suotovesien tarkkailu yleensä järjestetään hallinnoivan kaupungin tai kunnan velvoitetarkkailun alaisuudessa luodun tarkkailuohjelman mukaisesti. Sulkemistoiminnan jälkeistä seurantaan vaativat ympäröivien ojen virtaaman seuranta, sulkurakenteiden kestävyys tarkkailu sekä muodostuvan suotoveden määrä ja sen laatu. Tarkkailusta tehdään raportointi alueelliselle ympäristökeskukselle. Tavoitteena on, että vielä sulkemistoiminnan jälkeenkin ollaan tietoisia kaatopaikan ympäristöpäästöistä sekä sulkurakenteiden toimivuudesta. Kun voidaan olla varmoja siitä, että kaatopaikka ei enää aiheuta riskiä terveydelle tai ympäristölle, voidaan tarkkailutoiminta lopettaa. Kaikki nämä prosessit sekä soveltuvat menetelmät ovat kuitenkin äärimmäisen tapauskohtaisia, koska kaatopaikat ja niistä syntyvä kuormitus voivat poiketa huomattavasti toisistaan. Koska suotovedet ovat ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia verrattuna esimerkiksi hulevesiin ja niiden pitoisuudet saattavat olla sata- tai jopa tuhatkertaisia verrattuna hulevesiin, voi suotovesien puhdistus olla haastavaa. Joissakin tapauksissa kaatopaikoilla saattaa olla rakennettuna sisäisiä suotovesiputkistoja, jotka muodostavat suotovedet pistemäiseksi lähteeksi. Tällöin suotovesiä on myös helpompi käsitellä. Useasti myös tämän myötä suotovesiä johdetaan jätevedenpuhdistamolle puhdistettavaksi, mikä voi olla kuitenkin erityisen kallista (SYKE 2008).

Paikan päällä tehtävä puhdistus voi olla kaatopaikan suotovesille parempi sekä edullisempi vaihtoehto. Esimerkiksi juurakkopuhdistamoita käytetään monesti suotovesien käsittelyyn. Niissä käytetään samoja prosesseja kuin luonnonvaraisessa kosteikossa vesien käsittelyyn, mutta huomattavasti hallitummassa ympäristössä. Juurakkopuhdistamoiden rakenne sekä toimivuus riippuvat kuitenkin suuresti puhdistettavan suotoveden ominaisuuksista, jotka voivat vaihdella paljon jätetäytössä olevien aineiden sekä niiden pitoisuuksien mukaisesti. Juurakkopuhdistamoita tulee myös huoltaa ja tarkkailla, jotta niiden toiminta pysyy hyvällä tasolla. Laimeita suotovesiä voidaan myös johtaa suoraan viemäriverkostoon, mikäli niissä ei ole liian suuria haitta-ainepitoisuuksia. Tyypillisesti suljettujen kaatopaikkojen suotovesissä on erityisen korkeita ammoniumtyppipitoisuuksia, jotka asettavat haasteita puhdistukselle. Esimerkiksi yli 40 mg/l ammoniumtyppipitoisuutta pidetään niin korkeana pitoisuutena, että siitä todennäköisesti olisi haittaa viemäriverkostolle (Björklid 2015).

## BIOHIILEN KÄYTTÖ SUODATINMATERIAALINA

Hiili on ollut ihmiskunnalla materiaalina käytössä tuhansia vuosia, ja sitä on käytetty maanparantamiseen Etelä-Amerikassa jo kauan ennen eurooppalaisten saapumista alueelle. Biohiili sen sijaan eroaa normaalista hiilestä nimensä lisäksi myös ominaisuuksillaan sekä käyttökohteillaan. Suomen Biohiiliyhdistyksen mukaan biohiilellä tarkoitetaan sen Euroopan biohiilisertifikaatin mukaista määritelmää:

” Biochar is a heterogeneous substance rich in aromatic carbon and minerals. It is produced by pyrolysis of sustainably obtained biomass under controlled conditions with clean technology and is used for any purpose that does not involve its rapid mineralization to CO<sub>2</sub> and may eventually become a soil amendment.”

Eli biohiilellä tarkoitetaan orgaanisesta materiaalista valmistettua hiiltä, jota käytetään ilman, maan tai veden laadun parantamiseen. Hiilien ominaisuudet vaihtelevat suuresti käytetyistä valmistusmenetelmistä ja raaka-aineista riippuen. Biohiiltä voidaan tuottaa monesta erilaisesta materiaalista, kuten puusta, lannasta, pajusta, riisinkuorista, maa- ja kotitalousjätteistä, eläinrasvasta ja metsäjätteestä. Biohiili voidaan aktivoida hiiltämisen jälkeen, jolloin hiilen ominaispinta-ala kasvaa. Biohiilen suodatusteho perustuu suureen ominaispinta-alaan, johon haitta-aineet adsorboituvat. Lisäksi biohiiltä valmistettaessa syntyvä materiaali sitoo luonnollisesti itseensä hiiltä, jolloin se ei pääse kuormittamaan esimerkiksi ilmakehää (Suomen biohiiliyhdistys).

Ominaispinta-ala on yksi merkittävin biohiilen toimivuuteen vaikuttava tekijä. Rakenteeltaan biohiili on mikroskooppisen huokoista, ja rakenne syntyy pyrolyysissä alkumateriaalin, yleisesti kasvimateriaalin solujen mukaisesti. Tämän myötä alkumateriaalin valinnalla voi olla suuria vaikutuksia eri biohiilien toimintaan. Ominaispinta-alan kasvaessa kasvaa myös biohiilen kosketuspinta vaikuttavien aineiden kanssa. Tämä myös tarkoittaa enemmän pinta-alaa esimerkiksi haitallisten aineiden sitomiseen. Ominaispinta-ala voi siis vaihdella suuresti eri biohiililaaduissa. Tämä on tärkeää huomioida eri käyttökohteita suunniteltaessa (Malk ym. 2020). Koska biohiiltä voidaan valmistaa monenlaisesta erilaisesta orgaanisesta materiaalista, voi lähtömateriaalia vaihtamalla saada hyvinkin kustannustehokkaasti parhaiten kohteeseen soveltuvan puhdistusmateriaalin (Hills 2018). Esimerkiksi havupuusta ja lehtipuusta tehdyt biohiilet eroavat ominaisuuksiltaan paljon verrattuna tiivisrakenteiseen lehtipuuhun. Hiiltämisprosessissa käytetty pyrolyysilämpötila vaikuttaa myös, koska korkeissa lämpötiloissa materiaalin huokokset laajenevat kaasuuntumisen myötä suuremmiksi (VTT 2018).

Verrattuna muihin edullisiin vesien puhdistusmenetelmiin, kuten klooraukseen, keittämiseen tai hiekkasuodatukseen, biohiilellä on hyödyllisiä ominaisuuksia. Biohiiltä on

helppo valmistaa biomateriaaleista, joten se on vahvasti uusiutuva materiaali. Lisäksi biohiilikäsittelystä ei tule sivuvaikutuksia, esimerkiksi kloorihajua, tai keittämistä johtuvaa haitta-aineiden konsentraation kasvamista (Gwenzi ym. 2017).

Biohiiltä verrataan monesti aktiivihiiileen, vaikka niiden toiminnassa sekä erityisesti ominaispinta-alassa on valtavia eroja. Aktiivihiiilen ominaispinta-ala on tyypillisesti 500–1500 m<sup>2</sup>/g, kun taas biohiilen harvoin yli 350 m<sup>2</sup>/g. Aktiivihiiilen kyky puhdistaa muun muassa lääkkeitä sekä myrkyjä perustuu juuri tähän todella pieneen huokoskokoon ja suureen ominaispinta-alaan. Juomaveden valmistuksessa käytetään aktiivihiihtä, joka on valmistettu korkealaatuisesta raaka-aineesta tarkoin kontrolloidulla menetelmällä. Biohiili ei laadultaan ole aktiivihiiilen tasoa, mutta mielenkiinto sen käytöstä muun muassa jätevesien käsittelyssä on kasvanut viime vuosien aikana. Biohiiltä voidaan hyödyntää samalla periaatteella kuin aktiivihiihtä, mutta pienemmällä adsorptiotehokkuudella. Riittävänä biohiilen tehokkuus nähdään esimerkiksi jäteveden tertiärikäsittelyvaiheessa sekä hulevesien toksisuuden hallinnassa.

Biohiilellä itsessään on taipumus adsorboida erityisesti orgaanisia molekyyliä sekä poistaa hiilivetyä, kiinteää humusta sekä fenolisia orgaanisia yhdisteitä. Biohiilestä itsessään sen sijaan voi irrota ympäristöön esimerkiksi alkalimetalleja tai ravinteita. Mahdolliset irtoavat aineet ovat vahvasti riippuvaisia siitä, mistä materiaalista ja missä lämpötilassa biohiili on valmistettu. Biohiiltä voidaan myös aktivoida aktiivihiiilen tapaan, jolloin sen ominaispinta-alaa kasvatetaan fyysikaalisesti tai kemiallisesti. Aktivointi voi suuresti parantaa biohiilen toimivuutta, mutta myös nostattaa sen valmistushintaa merkittävästi (VTT 2018). Taulukossa 1 on VTT:n maa- ja metsätalousministeriölle tuottamassa Biohiilen valmistus ja käyttö vedenpuhdistukseen -raportissa kerättyjä biohiilen, aktivoidun biohiilen sekä aktiivihiiilen eroavaisuuksia.

**TAULUKKO 1.** Biohiilen ja aktivoitun biohiilen vertailu aktiivihiileen vedenpuhdistuksessa (VTT:n raportin Biohiilen valmistus ja käyttö vedenpuhdistukseen 2018 mukaisesti).

Muuttuja	Biohiili	Aktivoitu biohiili	Aktiivihiili
Kustannus euroa/t	500 (?)	800–1300	1300–1500
Energiatarve MJ/kg	0,8	10–15	16–50
Ominaispinta-ala (m <sup>2</sup> /g)	10–50	300–600	>1000
Cd-poisto	++	n.a.	+
Cr-/Zn-poisto	++	n.a.	+
Hg(II)-poisto	++*	n.a.	+*
Kloorifenolit	-	+	++
COD-poisto	++	++	+
DOC-poisto	-	+	++
Trace organics	++	n.a.	+
Mikromuovi**	++ (?)	+	+
PO <sub>4</sub> -poisto***	+	±	±
NO <sub>3</sub> -poisto***	+	++	+
NH <sub>4</sub> -poisto***	++	+	+

\* metallien (kationien) adsorptio biohiileen/aktiivihiileen vaihtelee riippuen raaka-aineesta ja on yleensä rajallinen johtuen adsorptiopinnan kyllästymisestä

\*\* oletuksena, että mikromuovi suodattuu kuten kiinteä COD-kuorma (vaatii lisätutkimusta)

\*\*\* P/N-poisto on riippuvainen hiilessä olevista funktionaalisista ryhmistä ja metallikationeista

Biohiilen hyödyntäminen vedenpuhdistukseen on noussut esille viimeisenä vuosikymmenenä entistä enemmän. Erityisesti hulevesien puhdistamista varten biohiili nähdään hyvänä puhdistuskeinona sen helpon valmistamisen sekä pitkän toiminta-aikansa takia. Esimerkiksi Vantaalla tehdyissä kokeissa testattiin biohiilen toimivuutta tiealueilta muodostuvien hulevesien puhdistamiseksi. Kokeissa biohiilellä saatiin parempia puhdistustuloksia esimerkiksi raskasmetalleille kuin kontrollina toimineelle hiekkasuodatukselle. Sen sijaan biohiilestä irtosi enemmän orgaanista hiiltä sekä molemmista materiaaleista fosfaattia (Leinonen 2017).

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa sekä edeltäneessä Mikkelin ammattikorkeakoulussa biohiilitutkimusta on tehty jo useiden vuosien ajan. Yhtenä viimeisimpänä esimerkkinä on Bioli – Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savoon -hanke, joka toimi vuosina 2017–2019. Bioli-hankkeessa kaatopaikan suotovedelle tehdyissä puhdistuskokeissa biohiilellä saatiin alennettua orgaanisen aineksen sekä kokonaistypen määrää kolonnikokeissa sekä erityisen hyviä vähenemisiä raudassa ja alumiinissa. Fosforipi-

toisuudet sen sijaan kasvoivat hieman (Laurila 2019). Bioli-hankkeessa tehtiin myös muun muassa maanparannus- sekä kasvatuskokeita biohiilellä sekä testattiin, toimiiko biohiili prosessikaasujen puhdistukseen. Kokeet olivat lupaavia biohiileen toimivuuden puolesta. Lisätietoja kokeista sekä niiden tuloksista on saatavissa Bioli-hankkeen loppuraportissa.

Biohiili on materiaalina hyvin monipuolinen, ja sitä voidaan käyttää hyvin laaja-alaisesti. Tästä huolimatta tulee muistaa, että biohiili on käsitteenä hyvin laaja ja se sekoitetaan monesti muihin hiililaatuihin, kuten aktiivihiiileen. Biohiiltä hyödyntäessä tulee tehdä riittävästi selvitystyötä, jotta valittu biohiili soveltuu mahdollisimman hyvin käyttökohteeseen ja sen ominaisuudet ja tavoitteet huomioidaan. Monissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu biohiilen toimivuus haitta-aineiden, kuten erityisesti raskasmetallien ja typen, poistamisessa. Tässäkin kuitenkin on eroavaisuuksia biohiililaatujen välillä, ja joissakin tapauksissa biohiilestä voi käytön alkupuolella vapautua ympäristöön ravinteita sekä esimerkiksi PAH-yhdisteitä.



## LÄHTEET

Arola, M. 2011. Selvitys käytöstä poistettujen kaatopaikkojen pinta- ja pohjavesitarkkailusta Uudellamaalla. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 6/2011. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-257-313-1>

Björklid, O. 2015. Suljetun jäteäytön kaatopaikkavesien käsittelyvaihtoehtojen vertailu. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavissa: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/104814/Diplomity%C3%B6\\_Otto\\_Bj%C3%B6rklid.pdf?sequence=2](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/104814/Diplomity%C3%B6_Otto_Bj%C3%B6rklid.pdf?sequence=2) [Viitattu 11.5.2021]

Gwenzi, W., Chaukura, N., Noubacteb, C. & Mukome, F. N. D. 2017. Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost sustainable technology for clean water provision. *Journal of Environmental Management* 197, 732–749.

Hills, K. 2018. Turning Urban Wood Waste into Biochar. Washington State University. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://csanr.wsu.edu/urban-wood-waste-into-biochar/> [Viitattu 10.5.2021]

Hulevesiopas, Kuntaliitto, 2016. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BE524727D-9C28-494C-84DC-EE3AD26E45F9%7D/115796> [viitattu 7.5.2021]

Laurila, N (toim.). 2019. Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Ete-lä-Savoon -hankkeen loppujulkaisu. Xamk kehittää 74. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-165-1> [Viitattu 11.5.2021]

Leinonen, M. 2017. Huleveden hallinta liikennöidyillä alueilla tienvarren suodatusrakenteiden avulla. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/146053/Kirjokivi\\_Tomi.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/146053/Kirjokivi_Tomi.pdf?sequence=1) [Viitattu 11.5.2021]

Maankäyttö- ja rakennuslaki 103 i §, 1999. Saatavissa <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasaa/1999/19990132#L13aP103i>

Malk, V., Hyvönen, S., Haatanen, N., Rasa, K., Mykkänen, A. & Soininen, H. 2020. Biohiilen ominaisuuksien karakterisointi ja ominaispinta-alan mittaaminen. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Metsä, ympäristö ja energia – Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä – Vuosijulkaisu 2020, 68–77. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-295-5> [Viitattu 10.5.2020]

Marttunen, M & Mustajoki, J. 2020. Vesiensuojelun tehostamisohjelman vaikuttavuuden arviointi – esiselvitys. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 17/2020. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/315248>

Suomen Biohiiliyhdistys. 2021. Mitä biohiili on? WWW-julkaisu. Saatavissa: <https://www.suomenbiohiili.fi/biohiili/> [Viitattu 10.5.2021]

SYKE. 2008. Kaatopaikkojen käytöstä poistaminen ja jälkihoito. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2008. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41544/SYKE\\_OH\\_1\\_2008.pdf?sequence=2](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41544/SYKE_OH_1_2008.pdf?sequence=2)

VTT. 2018. Biohiilen valmistus ja käyttö vedenpuhdistukseen. Saatavissa: [https://mmm.fi/documents/1410837/12500944/Siipola+VTT\\_R\\_05608\\_18\\_CoCarbon.pdf/d91543c8-1c96-c0b4-0b0c-9b8579800c1f/Siipola+VTT\\_R\\_05608\\_18\\_CoCarbon.pdf](https://mmm.fi/documents/1410837/12500944/Siipola+VTT_R_05608_18_CoCarbon.pdf/d91543c8-1c96-c0b4-0b0c-9b8579800c1f/Siipola+VTT_R_05608_18_CoCarbon.pdf) [Viitattu 7.5.2021]

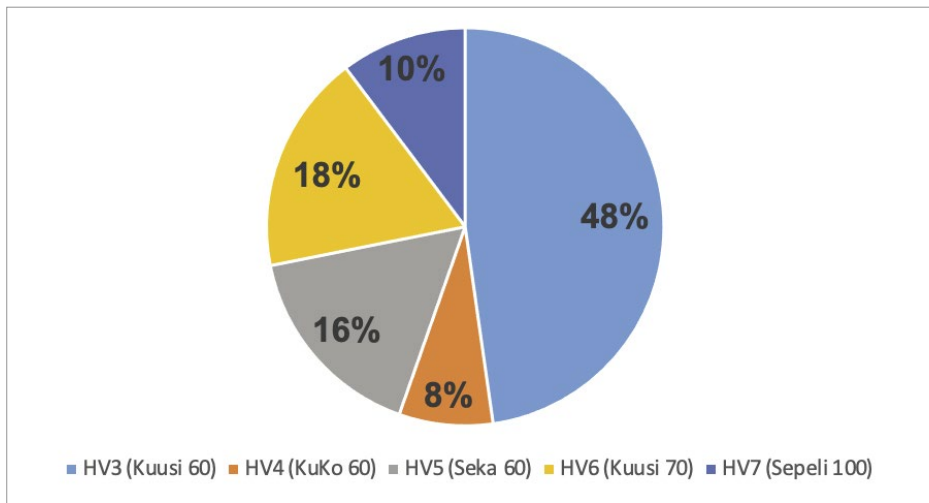
# HUKY-HANKKEEN SUODATINMATERIAALIEN LABORATORIOKOKKEET

Lasse Hämäläinen & Aki Mykkänen

Vaikkakin Huky-hankkeessa käytettävät tutkimusympäristöt mahdollistavat suodatinmateriaalien monitoroimisen todellisissa käsittely-ympäristöissä, on silti joitakin kokeita hyvä tehdä laboratoriomittakaavassa hallituissa olosuhteissa. Huky- hankkeessa laboratorioskokeita tehtiin ravinteiden poiston tehokkuudesta sekä kohteissa havaittuihin virtaamaongelmiin liittyen.

## PITKÄJÄRVEN JÄRJESTELMÄN TUKKEUTUMINEN

Pitkäjärven tutkimuskohde otettiin käyttöön toukokuussa 2019. Samaan aikaan aloitettiin hankkeen hulevesitutkimustoiminta. Kesällä 2019 huomattiin järjestelmän padottavan vettä suodatinkaivoihin ja poistovirtaaman olevan odotettua pienempi. Suodatinkaivojen virtaamat olivat toisiinsa verrattuina myös epätasapainossa, vaikka järjestelmä oli suunniteltu päästämään kaikista kaivoista saman verran vettä läpi. Vuoden 2019 mittausjaksolla HV3-kaivosta tuli 48 prosenttia kaikkien kaivojen läpi virranneesta vedestä ja HV4-kaivosta vain 8 prosenttia (kuva 1). Kesällä 2019 huomattujen ongelmien seurauksena päätettiin suorittaa laboratoriotestejä talvella 2019–2020 virtaaman korjaamiseksi seuraavalle mittausjaksolle. Suodattimien tukkeutumisen ja virtaaman epätasaisuuden oletettiin johtuvan suodattimissa käytetystä silttikankaasta sekä hienosta biohiilipölystä, joka irtoaa suodatinmateriaalista. Silttikankaan tarkoitus järjestelmässä oli sitoa biohiilestä irtoavaa kiintoainesta, ettei se pääse valumaan ympäristöön ja aiheuttamaan visuaalista tai ympäristöhaittaa.



**KUVA 1.** Vuoden 2019 tutkimuskauden prosentuaalinen virtaamajakauma Pitkäjärven suodatinkaivojen välillä.

Laboratoriotesteissä selvitettiin järjestelmän virtaamaongelmaa, biohiililaatujen käyttäytymistä veden alla sekä ravinteiden sitoutumista suodatinmateriaaleihin. Testejä varten valmistettiin kahdet erilaiset suodatinmallit. Virtaamatestit suoritettiin hieman suuremmilla suodatinmalleilla ja niissä käytettiin vain yhtä biohiililaatua, koska Pitkäjärven kohteen alkuperäisistä biohiilistä oli vain pienet noin 20 litran näytteet jokaisesta laadusta. Pitkäjärven kohteen biohiilinäytteet säästettiin ravinnetesteihin, jotta tuloksia voitaisiin verrata kesällä tehtyihin näyteanalyyseihin.

Laboratoriotestejä varten noudettiin Pitkäjärven sekä Ristiinan tutkimuskohteissa käytössä olleita neljää erilaista biohiililaatua, sepelimurskaa sekä Pitkäjärven järjestelmässä käytettyä silttikangasta Maanrakennus Talpa Oy:ltä. Sepelimurska sekä biohiili pestiin runsaalla vedellä, jotta suurin osa hienosta irtopölystä saataisiin pois ennen suodattimien valmistusta. Samalla myös nähtäisiin, kuinka paljon suodatinmateriaaleista irtoaa pölyä suodattimien rakentamisen sekä liikuttamisen yhteydessä. Pesu suoritettiin mukailien Pitkäjärven kohteen suodatinmateriaalien pesua keväällä 2019.

Tukkeutumisen selvittämiseksi suunniteltiin ja rakennettiin pienen mittakaavan kopiot suodattimista (kuva 2). Testisuodattimet valmistettiin muoviputkesta, jonka pohja tulpatettiin rei'itetyllä muovikannella. Putkien pohjalle asetettiin metallinen ritilä, johon voitiin kiinnittää erilaisia suodatinkangasmateriaaleja. Metalliset ritilät asetettiin myös putkiin, joissa ei käytetty suodatinkangasta, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia. Putkia varten rakennettiin teline, johon mahtui viisi testisuodatinta erilaisten suodatinasetelmien testaamiseksi. Suodatinputkien alle asetettiin suppilot, joilla poistuva vesi saatiin talteen näytteenottoja varten.



**KUVA 2.** Laboratoriotesteissä käytetyt suodatinputket ilman suodatinmateriaaleja (Kuva Aki Mykkänen).

Suodattimet rakennettiin mukailleen Pitkäjärven suodatinkaivojen rakennetta. Metalliritilän päälle kasattiin noin 10 cm sepeliä, jonka päälle tuli suodatinkerros (biohiili-sepeliseos tai pelkkä sepeli) ja päällimmäiseksi toinen 10 cm:n kerros sepeliä. Suodattimien läpi valutettiin 5 litraa vettä, jonka valumiseen kulunut aika ajastettiin. Testi suoritettiin useita kertoja, jotta saatiin selville suodattimista irtoavan materiaalin vaikutus järjestelmän padottumiseen. Kokeiden aikana testattiin myös suodatinpatjan paksuuden vaikutusta virtaaman määrään.

Kokeessa käytettiin samoja biohiili-sepeliseossuhteita kuin Pitkäjärven kohteessa. Virtaaman padotusta testattiin pelkällä sepelisuodattimella, 60–40 biohiili-sepeliseoksilla sekä pelkällä biohiilisuodattimella. Kaikki suodatinmateriaalit testattiin silttikankaan kanssa, harvan

muoviverkon (hyttysverkon) kanssa sekä ilman suodatinkangasta. Veden suodattumiseen kulunut aika kirjattiin ylös ja tuloksista koostettiin yhteenveto, joka esitettiin työryhmälle keväällä 2020.

## RAVINNETESTIT

Ravinnestejä varten rakennettiin pienemmät suodatinmallit kahden litran kolonneista (kuva 3). Ravinnesteissä käytettiin Pitkäjärven alkuperäisiä biohiiliä, jolloin saatuja tuloksia voitiin verrata kesän 2019 analyysituloksiin. Kokeita varten valmistettiin ravinnepitoinen vesiliuos, jolla simuloitiin hulevettä. Koe suoritettiin valuttamalla suodattimien läpi puhdasta, ionivaihdettua vettä sekä simuloitua hulevettä. Puhdasta vettä suodatuksella selvitettiin hiilistä irtoavien ravinteiden määrä ja simuloitua hulevedellä ravinteiden sitomiskykyä. Suodatetuista vesistä tehtiin kokonaistyyppi- sekä fosforianalyysit.



**KUVA 3.** Esimerkki laboratorioskokeisiin käytetyistä kolonneista (Kuva Aki Mykkänen).

Suodattimet valmistettiin kahden litran kolonneihin. Kolonnien pohjalle asetettiin noin 10 cm sepeliä, jonka päälle tuli noin 30 cm:n suodatinmateriaalikerros. Suodatinmateriaalin päälle laitettiin vielä kerros sepeliä estämään biohiilen kellumista. Testeissä käytettiin verrokina suodatinta, joka oli valmistettu muovikannatinpaloista, joiden tiedettiin olevan inerttejä simuloidulle hulevedelle (kuva 4). Testatut biohiililaadut olivat samat, jotka olivat käytössä Pitkäjärven ja Ristiinan tutkimuskohteissa: kuusi-, kuusikoivu- sekä sekalehti-biohiili. Näiden lisäksi testattiin myös sepelisuodatinta. Jokaisesta suodatinmateriaalista valmistettiin kaksi rinnakkaista suodatinta.



**KUVA 4.** Muovisia kannatinpaloja, joita käytettiin inertteinä kontrolleina ravinnekoikeissa (Kuva Aki Mykkänen).

Ravinnetesteissä suodattimiin kaadettiin nestettä noin kaksi litraa, kunnes suodatinmateriaali oli täysin nesteen pinnan alapuolella. Suodattimia tärytettiin hetki, jotta biohiilen pinnalle muodostuneita happikuplia saataisiin mahdollisimman paljon pois. Neste jätettiin suodattimiin vuorokaudeksi, jonka jälkeen kolonnit valutettiin tyhjäksi ja poistuvasta nesteestä otettiin näytteet analysejä varten. Kokeet suoritettiin ensin ionivaihdetulla vedellä, jotta samoja suodattimia pystyi käyttämään simuloidun huleveden kanssa.



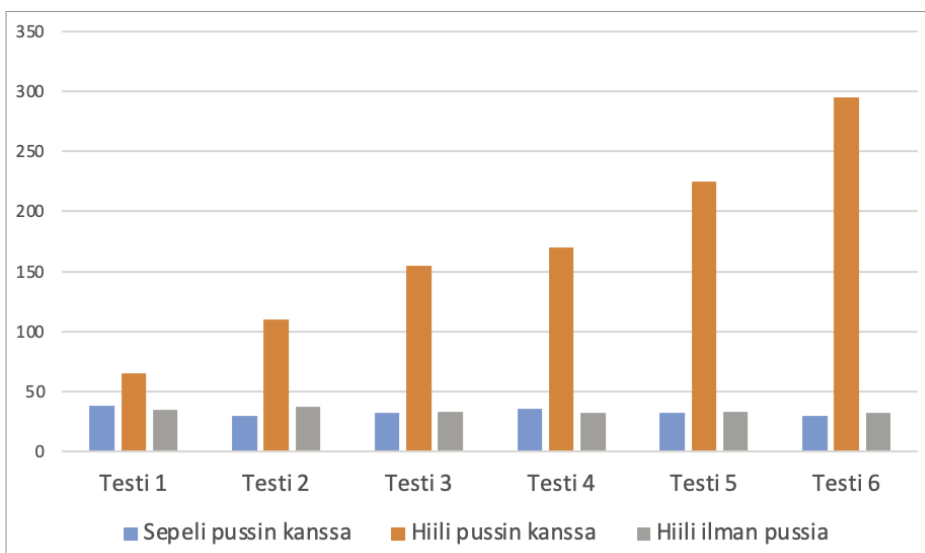
## TULOKSET

Virtaamakokeessa huomattiin silttikankaan padottavan suodatinjärjestelmää. Silttikangas itsessään padotti veden virtaamista, ja biohiilestä irtoava pöly tukki kankaassa olevat huokokset lopullisesti (kuva 5). Testattu harva muoviverkko oli parempi läpäisevyydeltään kuin silttikangas, mutta se ei pidättänyt biohiilestä irtoavaa pölyä. Suodatinpatjan paksuudella ei ollut suurta merkitystä virtaamaan.



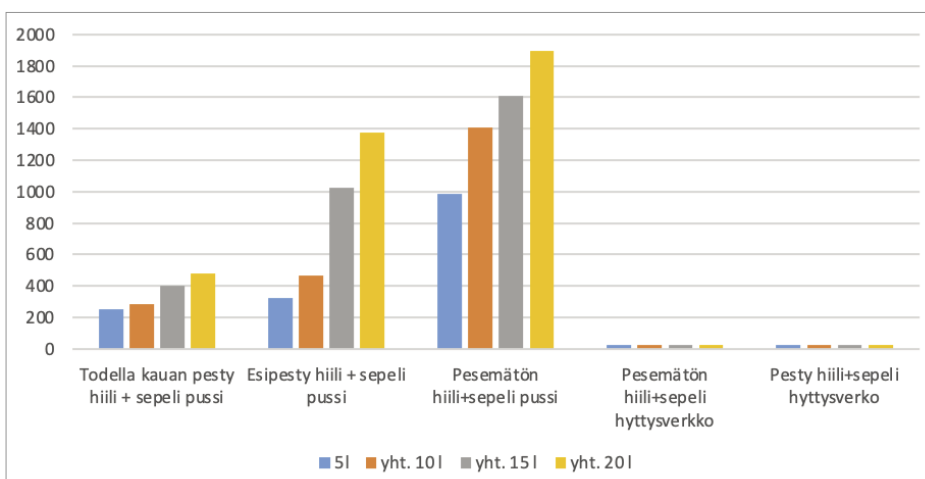
**KUVA 5.** Silttikangas biohiilisuodattimesta. Suodattimen läpi valutettu 30 litraa vettä (Kuva Aki Mykkänen).

Ensimmäisessä kokeessa testattiin silttikankaan vaikutusta virtaamaan ja biohiilestä irtoavan pölyn tukkivaa vaikutusta (kuva 6). Silttikangas tukkeutui biohiilisuodattimesta hiilestä irtoavasta pölystä, jolloin virtaaman määrä pieneni merkittävästi. Sepelisuodattimeen silttikankaalla ei ollut juurikaan vaikutusta, koska suodatinmateriaalista ei irronnut huokosia tukkivaa kiintoainesta. Ilman silttikangasta rakennettu hiilisuodatin ei padottanut vettä, ja virtaama pysyi samana kokeen läpi.



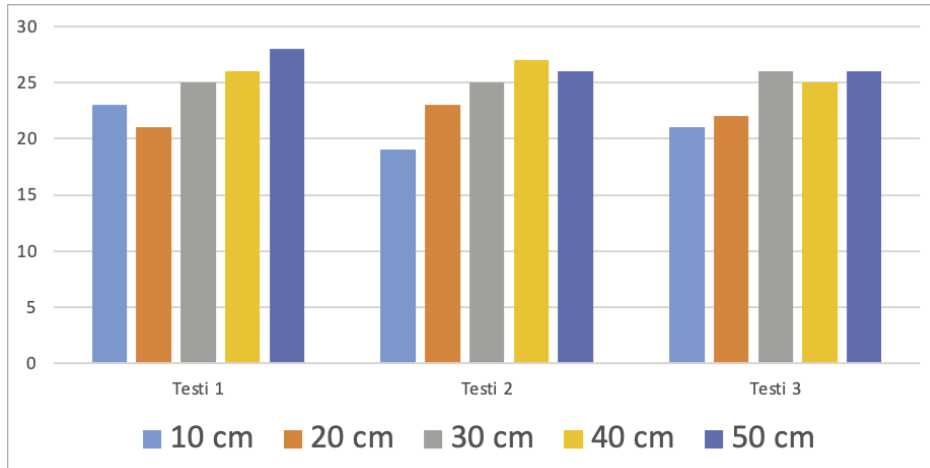
**KUVA 6.** Ensimmäinen virtaamatesti sepeli- ja biohiilisuodattimilla (l/s). Silttikankaan tukkeutuminen näkyy virtaaman hidastumisena biohiiliputkissa.

Seuraavassa testissä kokeiltiin silttikankaan korvaamista hyttysverkolla sekä sitä, onko biohiilen esipesemisellä selvää vaikutusta tukkeutumiseen. Kokeessa käytettiin suodatinmateriaalina 60-40-biohiili-sepelisekoitusta. Testissä silttikangas tukkeutui enemmän kuin ensimmäisessä (kuva 7). Sepelin lisääminen suodatinmateriaaliin lisäsi biohiilen murenemista suodattimen rakentamisvaiheessa, jolloin silttikangasta tukkivan biohiilipölyn määrä lisääntyi. Kokeen perusteella hyttysverkko ei tukkeudu silttikankaan tavoin eikä vaikuta virtaamaan.



**KUVA 7.** Toisessa virtaamatestissä tutkittiin hiilen esipesemisen vaikutusta sekä hyttysverkon padottavuutta silttikankaaseen verrattuna. Putkiin lisätty 5 litraa vettä kerralla ja mitattu kuluva aika sekunteina. Esipestyt hiilet tukkeutuivat hitaammin kuin esipesemättömät. Hyttysverkolla ei todettu olevan vaikutusta virtaamaan.

Kolmannessa kokeessa selvitettiin suodatinpatjan paksuuden vaikutusta virtaamaan. Kokeessa käytettiin suodatinmateriaalina 100 %:n biohiilipatjaa. Tuloksista huomataan virtaaman hieman laskevan patjan paksuuden mukaan, mutta vaikutus ei ole yhtä suuri kuin silttikankaalla (kuva 8).



**KUVA 8.** Suodatinpatjan vaikutus virtaaman määrään. Virtaama pienenee hieman suodatinpatjan paksuuntuessa, mutta jopa viisinkertaisessa paksuudessa ero on pieni lähtöarvoihin.

Virtaamatestien tuloksista voidaan päätellä silttikankaan olleen syynä vuoden 2019 huonoon virtaamaan Pitkäjärven tutkimuskohteessa. Laboratoriokokeissa silttikangas padotti huomattavasti jo 20 litran suodattamisen jälkeen biohiiltä sisältävissä suodattimissa. Koska Pitkäjärven kohteessa hulevettä virtaa minuuteissa moninkertainen määrä laboratoriotesteihin verrattuna, on selvää, että suodatinkaiivot ovat tukkeutuneet lähes heti asentamisen jälkeen biohiilipölyn kerääntyessä silttikankaan huokosiin. Biohiilipölyn huomattiin muodostuvan erityisesti suodatinmateriaalia liikutellessa esimerkiksi suodattimien rakentamisen yhteydessä. Myös sepelin sekoittaminen biohiileen lisäsi pölyn määrää. Suurin osa biohiilipölystä huuhtoutui suodattimista nopeasti ensimmäisten virtaamatestien aikana. Siitä johtuen suodatinkankaan pääteltiin olevan hyödyllinen lähinnä järjestelmän käynnistämisen ja ensimmäisten päivien aikana esimerkiksi pussina, jolla hiilipöly saataisiin kiinnitettua.

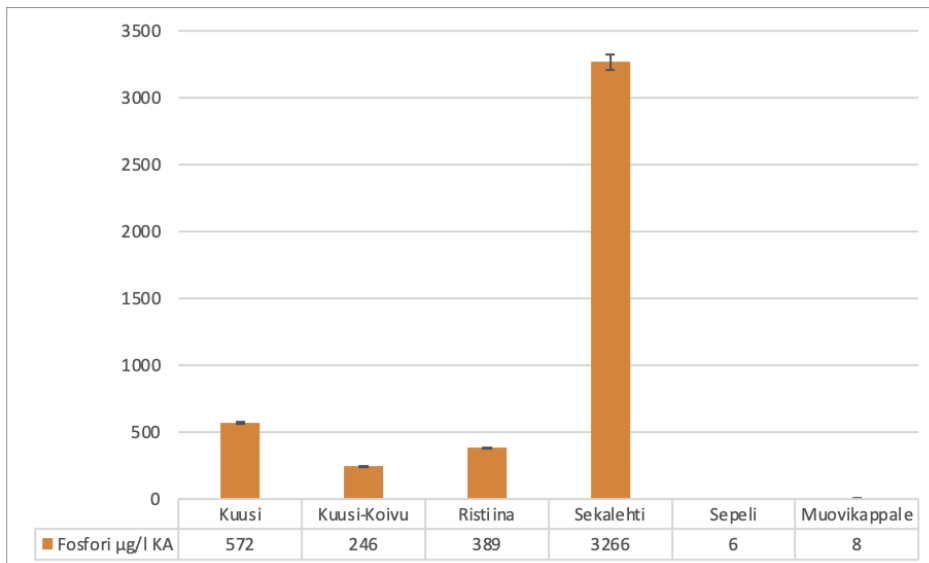
Silttikankaan tilalla testattu hyttysverkko ei padottanut virtaamaa, muttei myöskään sitonut biohiilestä irtoavaa irtopölyä. Laboratoriokokeiden perusteella työryhmä päätti poistaa suodatinkaivoista suodatinkankaat kokonaan ennen vuoden 2020 tutkimusten aloitusta. Suodattimista rakentamisen aikana irtoavan biohiilipölyn kiinnittämiseksi järjestelmän poistoputkeen asennettiin silttikankaasta valmistettu kerääjäpussi (kuva 9), joka keräsi pölyä suodatinmateriaalien huuhtoutumisen aikana. Pussi irrotettiin noin viikko järjestelmän käynnistämisen jälkeen, jolloin suurin osa biohiilipölystä oli huuhtoutunut suodattimista.



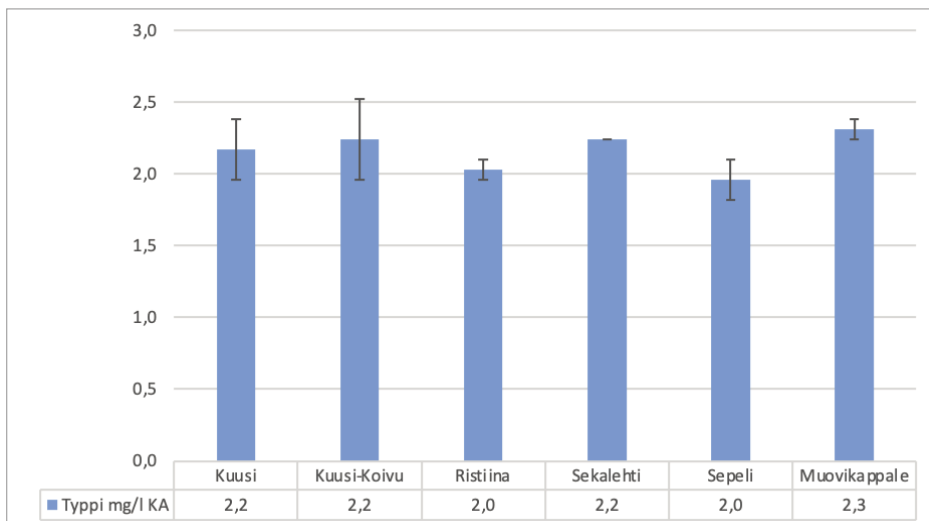
**KUVA 9.** Pitkäjärven hulevesijärjestelmän poistoputkelle muutostöiden 2020 ajaksi asennettu siltikangaspussi, jolla kerättiin järjestelmästä irtoavaa biohiilipölyä. Pussi poistettiin muutostöiden päätyttyä (Kuva Aki Mykkänen).

## RAVINNEKOEIDEN TULOKSET

Ravinnekokeiden ensimmäisessä testissä selvitettiin biohiilistä irtoavien ravinteiden määrää. Kokeessa suodatinmateriaalien läpi valutettiin ionivaihdettua vettä niiden esipuhdistamista varten, minkä jälkeen määritettiin kokonaistyyppi sekä -fosforipitoisuus näytteistä. Kokeessa huomattiin biohiilestä irtoavan sekä fosforia että typpeä (kuva 10 ja 11). Kaikista materiaaleista tehtiin kaksi rinnakkaista, joista tulokseksi laskettiin niiden keskiarvo sekä keskihajonta.



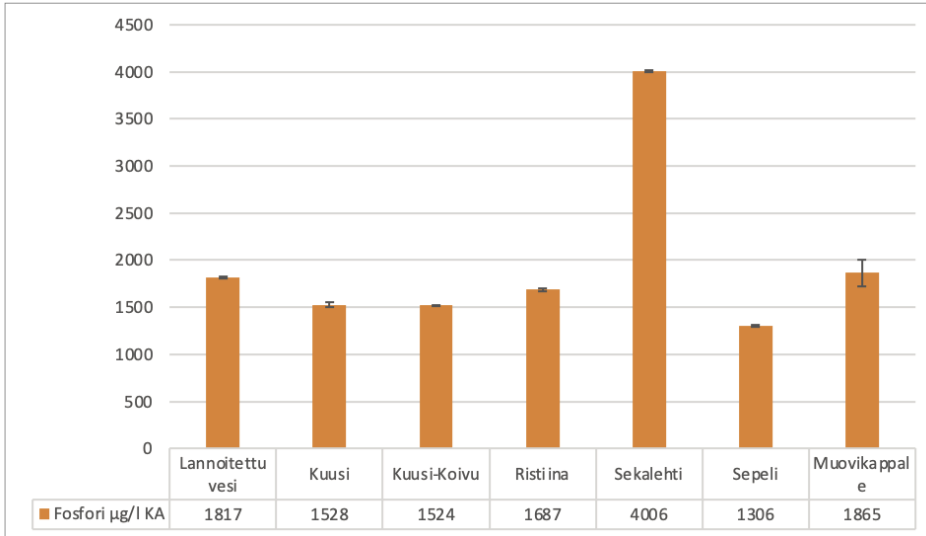
**KUVA 10.** Suodatinmateriaaleista irtoavan fosforin määrä ionivaihdetta vettä suodatessa ( $\mu\text{g/l}$ ).



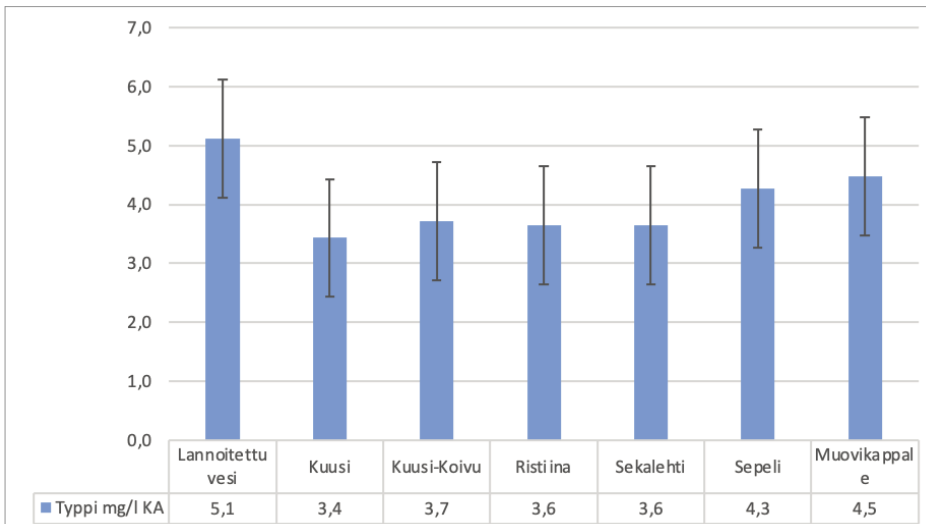
**KUVA 11.** Suodatinmateriaaleista irtoavan typen määrä ionivaihdetta vettä suodatessa ( $\text{mg/l}$ ).

Suurimmat fosforipitoisuudet irtosivat sekalehtibiohiilestä. Kokeiden aikana huomattiin myös sekalehtibiohiilen olevan osittain palamatonta puuta, joka todennäköisesti vaikuttaa ravinteiden irtoamiseen sekä sitoutumiseen. Erityisesti fosforin osalta tulokset olivat korkeat sekalehtibiohiilen päästäessä yli  $3000 \mu\text{g/l}$  fosforia suodatettuun veteen. Muiden biohiilien osalta fosforipäästöt olivat huomattavasti pienempiä, alle  $500 \mu\text{g/l}$ . Typen osalta päästöt olivat samankaltaisia sekä biohiilisuodattimilla että sepeli- ja muovisuodattimilla.

Simuloidulla hulevedellä suoritetuissa testeissä sekalehtibiohiilisuodatin erottui jälleen joukosta (kuva 12 ja 13). Fosforin määrä laski kaikissa muissa biohiilisuodattimissa, mutta sekalehtibiohiili päästi veteen jälleen yli 2000 µg/l fosforia. Myös sepelisuodatin sitoi fosforia simuloidusta hulevedestä. Typen määrä pieneni kaikissa suodattimissa.



**KUVA 12.** Simuloidulla hulevedellä suoritettu suodatustesti. Sekalehtibiohiilisuodatin päästää veteen runsaasti fosforia (µg/l). Muissa materiaaleissa fosforissa nähdään vähemmän.



**KUVA 13.** Simuloidulla hulevedellä suoritettu suodatustesti. Kaikki suodattimet sitoivat typpeä itseensä (mg/l).

Kokeiden tulosten perusteella biohiilisuodattimien puhdistusteho riippuu paljon käytetystä raaka-aineesta ja hiilen valmistusprosessin onnistumisesta. Pitkäjärven tutkimuskohteessa käytössä ollut sekalehtibiohiili on kokeiden perusteella viallista, koska polttoprosessi ei ole onnistunut ja osa puusta ei ole hiiltynyt. Kokeissa testatuista biohiililaaduista kuusibiohiili sitoi eniten ravinteita itseensä simuloidusta hulevedestä. Myös kuusi-koivubiohiili sekä Ristiinan tutkimuskohteessa käytetty kuusibiohiili toimivat ravinteiden sitomisessa.

Tuloksissa on huomioitavaa se, että käytetyt vesimäärät sekä otantakoko olivat pienet. Kokeissa haluttiin nähdä, havaitaanko biohiilien välillä eroja käyttöönottovaiheessa. Vaikkakin esimerkiksi sekalehtipuubiohiilestä vaikuttaisi irtoavan ravinteita, on odotettavissa, että biohiilestä irtoavat pitoisuudet laskevat ajan kuluessa ja veden virratessa merkittävästi.

## YHTEENVETO

Talven 2019–2020 laboratorioskokeissa saatiin tietoa suodatinmateriaalien toiminnasta. Tärkeimpänä havaintona oli silttikankaan vaikutus Pitkäjärven tutkimuskohteen virtaamaongelmiin. Testien tuoman varmuuden myötä voitiin suunnitella ja toteuttaa muutostöitä, jotka mahdollistivat paremman virtaamatoiminnan vuonna 2020. Ravinnetestien tulokset antoivat tietoa suodatinmateriaalien laadusta ja tukivat kirjallisuutta biohiilen toimivuudesta suodatinmateriaalina hulevesiratkaisuissa. Monitorointikauden 2020 virtaamajakauma suodatinkaivojen kesken parani huomattavasti jokaisen kaivon suodattaessa noin 20 prosenttia järjestelmän läpi kulkevasta vedestä. Tässä hankkeessa vuonna 2019 tehdyt kenttämittaukset ja näytteenotot eivät ole vertailukelpoisia vuoden 2020 tuloksiin virtaamanjaon epätasaisuuden sekä silttikankaan vääristäessä tuloksia. Rinnakkaisissa suodatinkaivoissa samanlainen koeasetelma kaikkien viiden kaivon välille on erittäin tärkeää edustavien tulosten saamiseksi. Ravinnekokeissa sekalehtipuupohjainen biohiili toimi muita biohiiliä heikommin todennäköisesti sen suuren palamattoman materiaalin määrän takia. Biohiiltä suodatinmateriaalina hyödyntäessä tulee ottaa huomioon materiaalista irtoavan pienen biohiilipartikkelin määrä sekä hiiltämisprosessin laadunvarmistus. Biohiiltä hyödyntäessä on tärkeää varmistua materiaalien soveltuvuudesta käyttökohteen ominaisuudet huomioiden.



# PITKÄJÄRVEN HULEVESIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ – KUVAUS SEKÄ HUKY-HANKKEEN TOIMINNOT

Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen & Sari Hämäläinen

Huky-hankkeessa toteutettiin pilot-kokeita sekä suodatintyyppisen hulevedenpuhdistimen käyttökokeita Mikkelin Pitkäjärvelle rakennetussa hulevesien käsittelyjärjestelmässä. Käsittelyjärjestelmän tavoitteena on toimia tutkimus- ja kehittämisympäristönä toimijoille, jotka ovat kiinnostuneita tutkimaan suodatinmateriaaleja todellisella hulevedellä hallitussa ympäristössä. Käsittelyjärjestelmä käyttöön otettiin toukokuussa 2019, minkä jälkeen pilot-kokeet käynnistettiin välittömästi. Hankkeen aikana järjestelmälle toteutettiin muutostöitä vuoden 2020 keväällä, ja niiden avulla järjestelmää pystyttiin parantamaan havaittujen ongelmien ja kokemusten perusteella. Huky-hankkeen pilot-kokeiden avulla kerätyn tiedon ja kokemuksen avulla järjestelmää voidaan lähteä hyödyntämään käyttäjän tarpeiden mukaisesti niin, että kohteessa voidaan tehdä tutkimusta aidolla hulevesivirtaamalla hallitussa ympäristössä. Pitkäjärven järjestelmästä saadut tulokset on esitelty aiheryhmittäin tämän julkaisun seuraaviin artikkeleihin, joissa käsitellään kohteen virtaamamittaukset, puhdistustulokset sekä yleisesti jatkokäyttöä varten tehdyt huomiot ja havainnot.

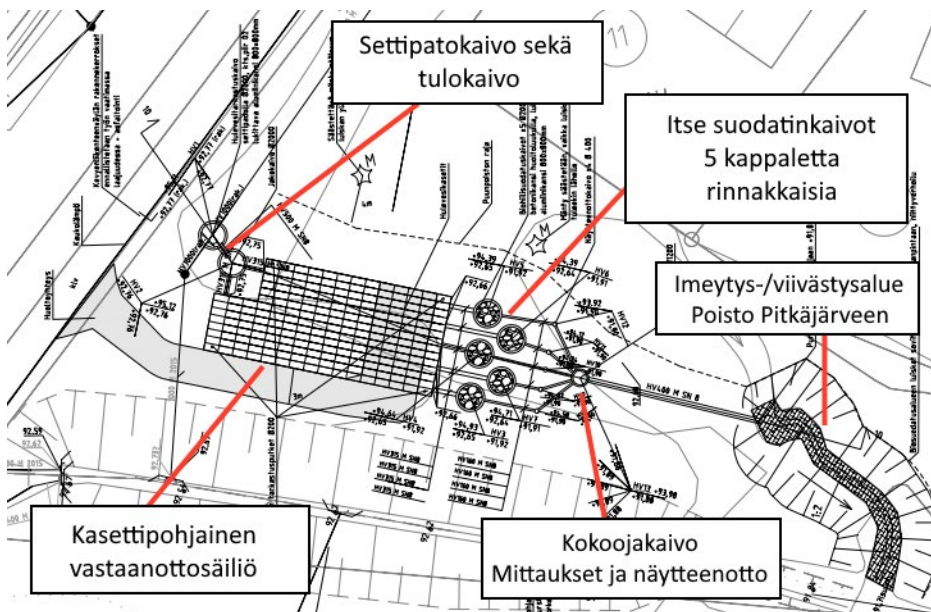
## PITKÄJÄRVEN HULEVESIJÄRJESTELMÄ

Pitkäjärven hulevesijärjestelmän tavoitteena on toimia hulevesien puhdistusratkaisujen koeympäristönä, jossa voidaan testata erilaisia suodatinmateriaaleja todellisessa hulevesiympäristössä. Kohteen viisi suodatinkaivoa mahdollistavat viiden erillisen suodatinmateriaalin tutkimisen samanaikaisesti. Jokaiseen kaivoon suodatinmateriaaleja voidaan sijoittaa noin 1,5 kuutiometriä, ja niistä saadaan noin 40–50 senttimetrin patjapaksuus. Kohteen suunnittelusta vastasi Ramboll Finland Oy sekä toteutuksesta Maanrakennus Talpa Oy. Kohde rakennettiin vuoden 2019 talvella, testattiin ilman suodatinmateriaaleja keväällä sekä käyttöön otettiin 29.5.2019 (Mikkelin kaupunki 2019).

Hulevesijärjestelmään virtaavat hulevedet ovat peräisin Karilan valuma-alueelta, jolle sijoittuu kaupallista toimintaa, pienteollisuutta sekä omakotitalo- ja tiealueita. Näistä etenkin yritys- sekä kaupallisen toiminnan alueilla on merkittävän kokoisia päällystettyjä alueita sekä suuria kattopintoja. Valtatie 5 kulkee valuma-alueen läpi. Näiltä alueilta voi liikkua

sadevesien mukana haitallisia aineita, kuten öljyjä sekä PAH-yhdisteitä. Hulevedet johdetaan ensimmäisenä avo-ojassa lietekuopilla varustettujen suotopatojen läpi huleveden viivyttämiseksi sekä kiintoaineen laskeuttamiseksi. Tämän jälkeen vesi johdetaan itse käsittelyalueelle eli hulevesijärjestelmään.

Käsittelyalue koostuu settipadosta, kasettirakenteisesta vastaanottosäiliöstä, käsittelyalueesta ja imeytys-/viivytysalueesta (kuva 1). Ensimmäisenä järjestelmässä olevan settipatokaivon avulla voidaan järjestelmään ohjata vain haluttu määrä vettä, josta ylimäärä johdetaan ohivirtauksen kautta Pitkäjärveen. Järjestelmään ohjattu vesi jaetaan tulokaivon kautta tasaisesti maanalaiseen kasettisäiliöön, joka mahdollistaa sadannan myötä muodostuvien, likaisimpien hulevesien säilömissä. Se myös tasoittaa virtaamaa rinnakkaisten suodatinkai-vojen välillä. Kasettisäiliöstä vesi ohjataan viiteen suodatinkaivoon, joissa on tutkittavista materiaaleista valmistetut suodatinkerrokset. Vesi suotautuu kaivojen läpi, minkä jälkeen ne kerätään yhteen kokoojakaivossa, jossa voidaan suorittaa mittauksia ja näytteenottoja suodatuksen jälkeisestä vedestä. Kokoojakaivosta vesi ohjataan viivästyksen kautta ta-kaisin Pitkäjärveen johtavaan ojaan. Järjestelmän käyttöönotossa toukokuussa 2019 myös Huky-hankkeen monitorointitoiminta aloitettiin.



**KUVA 1.** Pitkäjärven hulevesijärjestelmän asemapiirros (Mikkelin kaupunki 2019 mu-kaillen).

Pitkäjärven kohteen viisi erillistä suodatinkaihoa antavat mahdollisuuden tutkia samanaikaisesti viittä erilaista materiaalia ja niiden vaikutuksia vedenlaatuun. Esimerkiksi Huky-hankkeen aikana kaivoissa käytettiin hankkeen ajan neljää erilaista biohiili-koasetel-

maa, joiden puhdistustehoa verrattiin pelkkää sepeliä sisältävään kaivoon. Maan päällä suodatinjärjestelmästä on näkyvillä muun muassa suodatinkaivojen kannet (kuva 2), jotka ovat poistettavissa huoltotöitä varten. Järjestelmä on suunniteltu niin, että kaivojen luokse pääsee helposti työkoneilla huoltotoimenpiteitä varten.



**KUVA 2.** Pitkäjärven hulevesijärjestelmän ilmakuva. Keskellä näkyvät viisi vierekkäistä kaivoa sisältävät suodatinmateriaalit (kuva Juha Vihavainen).

Hulevesijärjestelmän avulla voidaan saada tutkimustietoa erilaisten suodatinmateriaalien toiminnasta sekä mitoitustietoa suurempia hulevesiratkaisuja varten. Kohteesta ja sen läheisyydestä kerätään myös jatkuvasti yleistä vedenlaatu- sekä virtaamatietoa, jotka tukevat alueen ympäristön tilan tarkkailua.

## HUKY-HANKKEEN KOEASETELMA

Huky-hankkeessa Pitkäjärven suodatinjärjestelmä koeajettiin, jolloin saatiin selville yleistä tietoa sen toiminnasta sekä lisäksi biohiilipohjaisten suodatinmateriaalien soveltuvuudesta hulevesien puhdistamiseen. Järjestelmää voitiin myös parantaa saatujen käyttöhavaintojen avulla niin, että hankkeen jälkeen kohdetta voidaan hyödyntää tarkempaan suodatinmateriaalitutkimukseen.

Suodatinkaivoissa käytettiin hankkeen pilot-kokeiden ajan neljää erilaista biohiilikoeasetelmaa, joiden puhdistustehoa verrattiin pelkkää sepeliä sisältävään kaivoon. Kaikissa

biohiiltä sisältävissä kaivoissa oli myös mukana sepeliä veden läpivirtaamisen varmistamiseksi. Kaivoissa testattiin kolme erilaista biohiiltä, joista kuusipohjaista biohiiltä oli kahdessa kaivossa, mutta eri sepelisuhteella. Taulukossa 1 on esitetty eri suodatinkaivojen suodatinmateriaalit. Jokaisessa kaivossa suodatinmateriaalia oli noin 1,5 kuutiometriä.

**TAULUKKO 1.** Huky-hankkeen aikana järjestelmässä käytetyt suodatinmateriaalit.

Kaivo	Suodatinmateriaaliseos
HV3	Kuusipohjainen biohiili 60 % Sepeli 40 %
HV4	Kuusi-koivupohjainen biohiili 70 % Sepeli 30 %
HV5	Sekalehtipohjainen biohiili 70 % Sepeli 30 %
HV6	Kuusipohjainen biohiili 70 % Sepeli 30 %
HV7	Sepeli 100 % Kontrolli

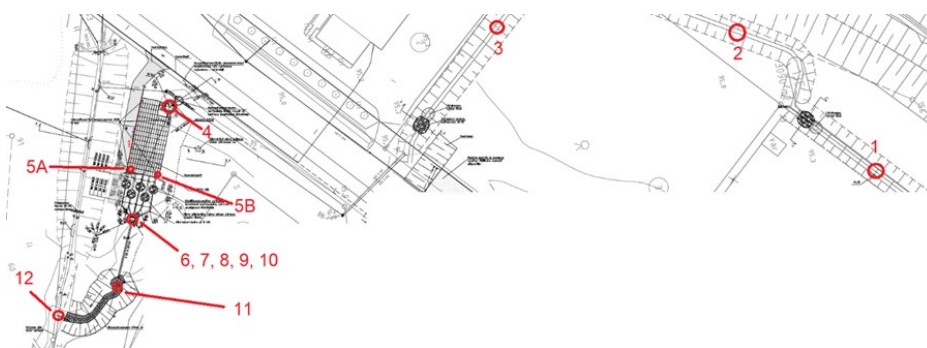
Molemmille hankkeen toimintavuosille tehtiin omat toimintasuunnitelmansa, joiden mukaan suoritettiin kenttätyöt, kuten mittaukset ja näytteenotot. Kenttäkäyntejä tehtiin vuonna 2019 kerran viikossa sekä vuonna 2020 kaksi kertaa viikossa. Joka kenttäkäynnin yhteydessä kohteesta otettiin kenttä- sekä virtaamamittaukset. Näytteenottoja suoritettiin noin kuukausittain sekä muutamia kertoja vuodessa kohteesta lähetettiin näytteitä akkreditoituun laboratorioon analysoitavaksi tarkempien analyysituloksien saamiseksi. Kuukausittain otetuista näytteistä analysoitiin pääasiallisesti ravinteet Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikkelin kampuksen ympäristölaboratoriossa.

Kenttämittaukset suoritettiin YSI ProDSS -kenttämittarilla, jolla mitattiin veden lämpötila, sähkönjohtokyky, pH, ORP, liuennut happi sekä sameus. Kenttämittari kaikkinen antureineen kalibroitiin ja huollettiin vähintään kerran kuukaudessa sekä sen mittaustuloksia tarkkailtiin jatkuvasti käytön yhteydessä. Mittauksia tehdessä mittari puhdistettiin tislattulla vedellä ja tarkistettiin mittauspisteeltä toiselle siirtyessä, ettei anturipäihin ollut esimerkiksi kertynyt likaa.

Pitkäjärven kohteessa tutkimuspisteiksi valikoitui kohtia, joissa järjestelmässä ja ympäristössä tapahtuvat muutokset oletetusti korostuisivat mahdollisimman hyvin sekä joilla saataisiin mahdollisimman kattava kuva järjestelmän toiminnasta. Tutkimuspisteiksi valikoitui vuonna 2019 kaksi kappaletta (taulukko 2 ja kuva 3). Ensimmäinen piste sijaitsi Karilanojan yläjuoksulla, noin 300 metrin päässä itse suodatinjärjestelmästä.

**TAULUKKO 2.** Pitkjärven hulevesien suodatusjärjestelmän tutkimuspisteet vuonna 2019.

Mittauspiste	Kuvaus
1	Yläjuoksun oja, liikerakennuksen takana, veden laatu ennen suotopatoja
2	Yläjuoksun oja, valtatie 5:n vieressä, veden laatu ensimmäisen suotopadon jälkeen
3	Yläjuoksun oja, ennen Ketunniementietä, veden laatu toisen suotopadon jälkeen
4	Tulokaivo. Järjestelmään tuleva vesi.
5A	Hulevesikasetin tarkastuskaivo, kasetin vaikutus vedenlaatuun ennen suodatinkaivoja
5B	Hulevesikasetin tarkastuskaivo, rinnakkainen mittauspiste 5A:lle
6	Kokoomakaivo suodatinkaivo HV3 poistoputki, suodatinmateriaalien vaikutus vedenlaatuun
7	Kokoomakaivo suodatinkaivo HV7 poistoputki, suodatinmateriaalien vaikutus vedenlaatuun
8	Kokoomakaivo suodatinkaivo HV4 poistoputki, suodatinmateriaalien vaikutus vedenlaatuun
9	Kokoomakaivo suodatinkaivo HV6 poistoputki, suodatinmateriaalien vaikutus vedenlaatuun'
10	Kokoomakaivo suodatinkaivo HV5 poistoputki, suodatinmateriaalien vaikutus vedenlaatuun
11	Hulevesijärjestelmän poistoputki, koko järjestelmän yhteisvaikutus veden laatuun
12	Hulevesijärjestelmästä tulevan veden sekä ohivirtausojan liittymispiste, alueelta Pitkjärveen laskevan veden laatu



**KUVA 3.** Pitkjärven suodatinjärjestelmän tutkimuspisteet vuonna 2019. (Mikkelin kaupunki 2019 mukailten).



Vuoden 2019 aikana erityisesti järjestelmän epätasaiset sekä hyvin pienet virtaamat aiheuttivat vaikeuksia mittauksille ja näytteenotoille. Myös syksyllä suurien sateiden myötä järjestelmää ympäröivien ojien vedenpinta nousi niin, että suodatinkaivojen poistoputket jäivät kokonaan veden alle. Tällöin monitorointia ei voitu tehdä, koska vedet sekoittuivat sekä keskenään että ojaveden kanssa. Oli selvää, että järjestelmälle tuli tehdä muutoksia onnistuvan monitorointitoiminnan takaamiseksi.

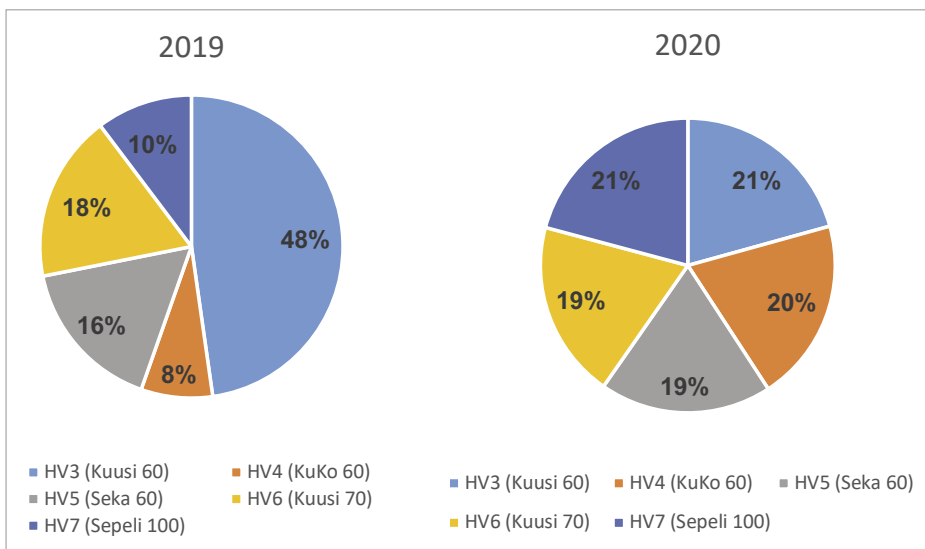
## MUUTOSTYÖT VUONNA 2020

Vuoden 2019 tutkimusten aikana saatujen havaintojen perusteella järjestelmään suunniteltiin ja toteutettiin muutostöitä vuoden 2020 tutkimusjaksolle. Ongelmalliseksi koettiin järjestelmän tukkeutuminen, heikko tulovirtaama sekä virtaaman tasaaminen suodatinkaivojen välillä. Myös monitorointitoimintaa oli vaikea tai mahdotonta toteuttaa esimerkiksi suurien syyssateiden aikaan. Keväällä 2020 toteutetuissa muutostöissä suodatinkaivojen tuloputkille asennettiin säädettävät suuttimet (kuva 4), joiden avulla kaivokohtaista tulovirtaamaa voitiin säädellä portaattomasti. Kaivojen poistoputkia myös korotettiin, jotta vesi padottuu suodatinmateriaalin korkeudelle sekä estää esimerkiksi tulvatilanteissa purkuojan veden pääsemisen poistupuolelta suodatinmateriaaleille. Korotus myös helpottaa kaivossa tehtävää tutkimustyötä, kuten näytteenottoa. Muutostöiden ideointi ja toteutus tehtiin yhteistyössä Xamkin, Maarakennus Talpa Oy:n sekä Mikkelin kaupungin kanssa.



**KUVA 4.** Pitkäjärven suodatinjärjestelmän vuoden 2020 muutostöiden tuloksia. Suodatinkaivojen tuloveden säätöventtiili, josta tulovirtaamaa voidaan säädellä portaattomasti (kuva Aki Mykkänen).

Vuoden 2020 muutostöiden aikana virtaamaongelmien yhdeksi syyksi paljastui epätasaisuus suodatinkaivojen tuloputkien välillä. Noin puolet kaikesta vedestä kulki suodatinkaivon HV3 läpi, joka oli korollisesti noin senttimetrin muiden kaivojen tuloputkia alempana. Uusien säätöventtiilien avulla kaivojen tulovirtaamat voitiin säätää niin, että tuleva vesi jakautuu tasan kaikkien suodatinkaivojen välille (kuva 5).



**KUVA 5.** Keskiarvo veden jakautumisesta kaivojen välillä molempina vuosina. Vuonna 2019 puolet vedestä on kulkenut yhden kaivon läpi, kun taas vuonna 2020 vesi jakautui tasan kaivojen välille.

Suurena tekijänä heikkoihin virtaamamääriin oli suodatinmateriaaleja ympäröinyt silttikankainen pussi, joka oli tukkeutunut hiilisakalla. Vuosien 2019–2020 talvella tukkeutumista ja suodatinmateriaalien padottamista selvitettiin laboratoriokokeilla, jotka on esitetty tämän julkaisun artikkelissa ”Huky-hankkeen suodatinmateriaalien laboratoriokokeet”. Silttikangaspussit päätettiin laboratoriokokeiden perusteella poistaa, ja muutostöiden yhteydessä oli selvää, että pussit olivat tukkeutuneet lialla (kuva 6). Silttikangaspussit korvattiin asettamalla suodatinmateriaalikerroksen päälle noin viiden senttimetrin kerros sepeliä pitelemään biohiiltä paikallaan. Koostumuksestaan riippuen biohiili voi kellua ja sen myötä liikkua, jolloin se saattaa mekaanisesti kulua pienemmäksi biohiileksi. Tämä haluttiin sepelin avulla estää. Tulokaivolle asennettiin myös verkko, joka estää roskia ja pieniä eläimiä kulkeutumasta järjestelmään. Muutostöiden aikaan järjestelmästä löydettiin muutamia vesimyyriä, joiden myötä verkko nähtiin tarpeelliseksi. Vesimyyrit nostettiin kaivoista ja vapautettiin järjestelmän poisto-ohjalle.



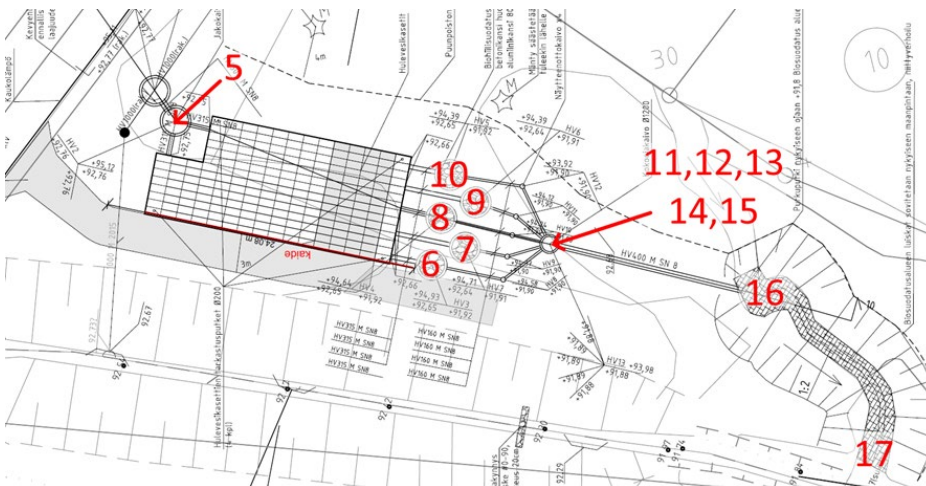
**KUVA 6.** HV3-kaivosta poistettu suodatinmateriaalit sisältävä silttikankainen pussi muutostöiden aikaan. Pussi on likaantunut sekä tukkeutunut vuoden 2019 aikana niin, että vesi ei enää virtaa kankaan läpi (kuva Aki Mykkänen).

Vuonna 2020 järjestelmälle lisättiin myös uusia mittauspisteitä. Muutostöiden myötä kohteesta voitiin tutkia myös suoraan suodatinkaivokohtaiset tulovedet, jotka lisättiin ohjelmaan (taulukko 3 ja kuva 7). Näiden lisäksi yhdeksi pisteeksi lisättiin yläjuoksun mittapadon vedenlaatu, jonka avulla voitiin tarkastella ilmastuspadon vaikutusta paremmin. Yhteensä mittauspisteitä vuonna 2020 oli 17 kappaletta, joista kaikista mitattiin kenttämittarilla vedenlaatu viikoittain sekä osasta otettiin vesinäytteet kuukausittain.



**TAULUKKO 3.** Pitkäjärven hulevesien suodatusjärjestelmän tutkimuspisteet vuonna 2020.

Mittauspiste	Kuvaus
1	Yläjuoksu. Vedenlaatu ennen ensimmäistä suotopatoa.
2	Ensimmäisen suotopadon jälkeen juuri ennen toista patoa.
3	Toisen suotopadon jälkeen ennen kolmatta suotopatoa.
4	Mittapato. Vedenlaatu kolmannen suotopadon jälkeen.
5	Tulokaivo. Järjestelmään tuleva vesi.
6	HV3 Tulo. Kuusi 60 %
7	HV7 Tulo. Sepeli 100 %
8	HV4 Tulo. Kuusi-koivu 60 %
9	HV6 Tulo. Kuusi 70 %
10	HV5 Tulo. Sekalehti 60 %
11	HV3 Poisto. Kuusi 60 %
12	HV7 Poisto. Sepeli 100 %
13	HV4 Poisto. Kuusi-koivu 60 %
14	HV6 Poisto. Kuusi 70 %
15	HV5 Poisto. Sekalehti 60 %
16	Järjestelmän poistoputki.
17	Ojien risteymäkohta



**KUVA 7.** Pitkäjärven suodatinjärjestelmän tutkimuspisteet vuonna 2020. Kuvasta leikattu pois yläjuoksun pisteet 1–4. (Mikkelin kaupunki 2019 mukailen)

Muutostöiden jälkeen järjestelmän käyttö parantui huomattavasti. Toiminta ei ole enää täysin painovoimaisesti ojassa virtaavan veden virtaaman ohjaamaa, vaan tuloventtiileillä tulovirtaamaa voidaan säädellä tarpeiden mukaisesti. Säättäminen ei myöskään vaadi suodatimateriaaleihin koskemista, jolloin esimerkiksi samalla suodatinmateriaalilla voidaan testata erilaisten virtaamamäärien tehoa hyvin helpolla muutoksella. Myös esimerkiksi huoltotöitä on helpompi toteuttaa, koska kaivokohtainen virtaama voidaan sulkea kokonaan huollon ajaksi ilman vaikutusta muihin kaivoihin. Suurimpana muutoksena oli kuitenkin veden tasainen jakautuminen suodatinkaivoihin, mikä on erityisen tärkeää kokeiden onnistumisen takaamiseksi. Kaikin puolin muutustyöt koettiin onnistuneiksi ja niiden avulla järjestelmästä saatiin käyttökelpoisempi ja säädettävien tuloventtiilien myötä monipuolisempi.

## JATKUVATOIMISET VEDENLAADUN MONITOROINTIASEMAT

Kenttämittausten ja näytteenottojen lisäksi Pitkäjärven kohteesta tehtiin myös jatkuvatoimista vedenlaadun online-monitorointia kahdella YSI EXO 3 -vedenlaatusondilla (kuva 8). Sondeista tulokset lähetettiin Kolibri-pilvipalveluun Keller ARC-1 -lähetynyksiköillä, joka mahdollistaa tulosten lähes reaaliaikaisen etätarkastelun. Vedenlaatusondit hankittiin Luode Consulting Oy:ltä sekä ARC-1-lähettimet Oy Profimeas LTD:ltä. Laitteistokokonaisuudet käyttöön otettiin syksyllä 2019.



**KUVA 8.** EXO 3 -vedenlaatusondit (vasen) sekä ARC-1-lähetynyksiköt (oikea). Laitteiden välillä on 10 metriä pitkä datakaapeli (Kuva Aki Mykkänen).



tapahtuvat muutokset saatiin havaittua monitorointiasemilla. Monitorointiasemien tuloksia voidaan myös jakaa tarvittaessa online-livenäkymään, josta sidosryhmät sekä esimerkiksi kansalaiset voisivat käydä tarkastelemassa puhdistustuloksia.

## YHTEENVETO

Pitkäjärven huleveden käsittelyjärjestelmä kehittyi paljon Huky-hankkeen aikana, ja ympäröivästä alueesta saatiin paljon uutta tietoa. Järjestelmässä oli erityisesti vuonna 2019 haasteita, joiden takia monitorointitoiminta ja pilot-kokeet vaikeutuivat. Vuonna 2019 kohteesta kerättiinkin paljon tietoa ja käyttökokemusta, joiden avulla sitä voitiin lähteä parantamaan. Järjestelmä kehittyi valtavasti vuoden 2020 muutostöiden myötä aikaisempaan vuoteen kerätyn tiedon avulla koronaviruspandemian tuomista haasteista huolimatta. Erityisesti säädettävät tulovirtaamaventtiilit mahdollistavat kohteen monipuolisemman sekä varmemman käytön. Säädetty tulovirtaama ei ollut järjestelmän alkuperäisessä suunnitelmassa, joten kohde todellakin kehittyi Huky-hankkeen aikana. Järjestelmästä saatiin hankkeen aikana suunniteltua monipuolisempi ympäristö, jossa voidaan tutkia viittä rinnakkaista suodatinmateriaalia hallitusti aidolla hulevedellä sekä halutulla virtaamalla. Järjestelmässä hyödynnetään myös jatkuvatoimisia vedenlaatumittareita, jolloin tietoa kaivoissa tapahtuvista muutoksista saadaan kaikilla ajanhetkillä.

Pitkäjärven järjestelmästä saadut tulokset on esitelty aiheoryhmittäin tämän julkaisun seuraavissa artikkeleissa, joissa käsitellään kohteen virtaamamittaukset, puhdistustulokset sekä yleisesti jatkokäyttöä varten tehdyt huomiot ja havainnot.

## LÄHTEET

YSI 2019. EXO User Manual – Advanced water quality monitoring platform, ITEM# 603789REF, REVISION H. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Manuals/EXO-User-Manual-Web.pdf> [viitattu 17.3.2021].

Mikkelin kaupunki, Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö -investointihanke, 2019. Saatavissa: <https://www.mikkeli.fi/sisalto/tietoja-mikkelista/hankkeet-ja-projektit/hulevesien-kasittelyn-tk-ymparisto-investointihanke>

# PITKÄJÄRVEN HULEVESIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ – VIRTAAMA

Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen

Huky – Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö-hankkeessa Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmältä kerättiin koko hankkeen toiminta-ajalta virtaamatietoa. Tähän sisältyi myös järjestelmän ulkopuolisia virtaamamittauksia, joista voidaan tarkastella Karilan valuma-alueelta muodostuvia vesiä. Virtaamamittauksia tehtiin muun muassa mittapatoja hyödyntäen astiamittaamalla. Kerättyä virtaamatietoa voidaan käyttää hyväksi suodatin-kaivojen tulosten tarkastelussa sekä myös antamaan yleiskuvaa Pitkäjärvelle syntyvästä kuormituksesta. Tarkempia lisätietoja Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmästä on esitelty tämän julkaisun artikkelissa ”Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmä – kuvaus sekä Huky-hankkeen toiminnot”.

## VIRTAAMAMITTAUKSET

Karilan valuma-alueelta ojan kautta virtaavia vesimassoja tarkasteltiin Thomson- virtaamapatojen eli niin sanottujen V-aukollisten patojen avulla (kuva 1). Padot rakennettiin vedenkestävästä peitteestä, joka kiinnitettiin ojan pohjan muotoiseen vesivaneriin, jossa on V-aukko. Padon rakenne pakottaa veden purkautumaan V-aukosta, jolloin liikkuva vesimäärä voidaan esimerkiksi astiamitata. Astiamittaus tapahtuu mittaamalla aika, joka kuluu tunnetun tilavuuden astian täyttymiseen. Thomson-virtaamapatoja voitaisiin myös hyödyntää virtaamamäärän selvittämiseen laskemalla virtaamamäärä padon aukon ja virtaamapuolen pinnankorkeuksien välisellä erolla, niin sanotun patokaavan avulla. Pinnankorkeusmäärytyksiä ei kuitenkaan Huky-hankkeessa tehty, vaan kaikki virtaamatieto kerättiin astiamittaamalla.





**KUVA 1.** Pitkäjärven käsittelyjärjestelmän ympäristössä käytettyjä V-aukollisia virtaamapatoja. Kuvassa yläjuoksun mittapato (kuva Aki Mykkänen).

Huky-hankkeen aikana Pitkäjärveltä suoritettavat virtaamamittaukset tehtiin kaikki astiamittaamalla. Astiamittaukseen liittyy paljon epävarmuustekijöitä aina mittaajaan ja astian tilavuuden tarkkuudesta veden pulssimaisuuteen. Koska kuitenkin liikkuvat vesimäärät ovat suuria, ei pienillä virheillä ole suurta merkitystä lopputulokseen. Tästä huolimatta mittaukset tehtiin mahdollisimman tarkasti, ja lopullinen tulos otettiin useamman mittauksen keskiarvona virheiden vähentämiseksi. Hankkeen monitoroinnin alettua toukokuussa 2019 mittauksia tehtiin pelkästään suodatinjärjestelmän kokoojakaivosta suodatinkaijojen poistoputkilta, kunnes kesällä yläjuoksulle asennettiin virtaamapato (kuva 2).



**KUVA 2.** Pitkäjärven suodatinjärjestelmän vuoden 2019 kuusi virtaamamittauspistettä (Mikkelin kaupunki 2019).

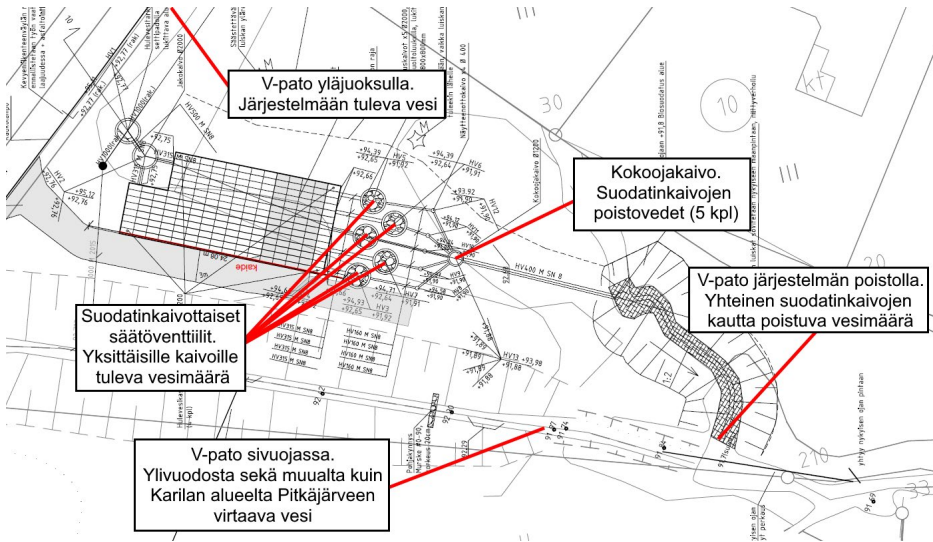
Erityisesti kokoojakaivosta mitatut suodatinkaivokohtaiset virtaamat osoittautuivat haastaviksi järjestelmän rakenteen takia. Pienen korkoeron myötä poistuva vesi erosi vain muutamia senttejä ojassa olevan veden pinnasta, mikä teki astiamittauksesta lähes mahdotonta. Tämä korjattiin korottamalla vedenkorkeutta poistoputkiin asennettujen suuttimien avulla (kuva 3). Suuttimien avulla myös muun muassa kenttämittarimittaukset voitiin suorittaa kaivokohtaisesti ilman riskiä vesien keskenään sekoittumisesta.



**KUVA 3.** Pitkäjärven suodatinjärjestelmän kokoojakaivossa vuonna 2019 käytössä olleet suodatinkaivojen poistoputkien suuttimet, joilla voitiin mahdollistaa virtaamamittaukset. Kaivon pohjalla näkyvä vesi samassa korossa poisto-ojan vedenpinnan kanssa (Kuva Aki Mykkänen).

Vuoden 2019 mittausten aikana oli kuitenkin selvää, että suuttimien ja poisto-ojan vedenpinnan välinen noin 5–10 senttimetrin korkoero ei riittänyt. Esimerkiksi syysateiden aikaan ojan vesimäärän suuresti kasvaessa suuttimet saattoivat jäädä lähes kokonaan veden alle, jolloin niistä ei voitu suorittaa mittauksia tai näytteenottoja. Yläjuoksun V-pato myös toimi hyvin suuriin syysateisiin saakka, joiden aikana sen tilavuus ylittyi ja vesi alkoi syöksyä padon yli. Tällöin astiamittauksia ei voitu tehdä. Lisäksi järjestelmää ympäröivistä ojista oli heikosti virtaamatietoa, joten tarvetta useammalle virtaamapadolle nähtiin. 2019 kerättyjen havaintojen perusteella järjestelmälle suunniteltiin muutostöitä, jotka toteutettiin keväällä 2020 (kuva 4). Suurimpana ongelmana oli kuitenkin veden epätasainen jakautuminen suodatinkaivojen välillä.





**KUVA 4.** Pitkäjärven suodatinjärjestelmän vuoden 2020 muutostöiden jälkeiset virtaamamittauspisteet. Pisteitä 13 kappaletta (Mikkelin kaupunki 2019)..

Suuttimet korvattiin korkeammassa korossa olevilla putkilla, jotka myös mahdollistavat helpomman kenttämittarin käytön avoimella yläaukolla (kuva 5). Uudempien korkeampien suuttimien avulla myös vedenkorkeus suodatinkaivoissa kasvoi niin, että suodatinmateriaalit ovat jatkuvasti veden alla. Suuttimet mahdollistavat kaivokohtaisen tulovirtaamaan mittaamisen, mutta koska kaivoista poistuva vesimäärä on yhtenäinen kaivoihin tulevan vesimäärän kanssa, ei virtaamamittauksia tehty aina kaivojen tuloventtiileiltä. Kohteeseen asennettiin myös V-padot poisto-ojalle sekä ohivirtaamajalle. Poisto-ojan padon avulla järjestelmän kautta poistuva vesi muodostuu ensiksi altaaseen, josta se syöksyy padon yli virtaamaan Pitkäjärveä kohti. Tämä myös estää takaisinvirtaaman järjestelmään esimerkiksi suurien syyssateiden aikaan. Sivuojan padon avulla taas voidaan tarkastella Karilan valuma-alueen luoteisosasta virtaavia vesiä, joiden sekaan myös järjestelmän tulo-ojalta virtaavat, settipadon yli syöksyvät vedet liittyvät. Yhdistämällä järjestelmän poisto-ojan padon sekä sivuojan padon virtaamatulokset saadaan kuvaa yhtenäisesti Karilan valuma-alueelta muodostuvien vesien määrästä.



**KUVA 5.** Pitkäjärven suodatinjärjestelmän kokoojakaivossa vuonna 2020 asennetut korotetut suodatinkaivojen poistoputkien suuttimet. Suuttimien avulla vedenkorkeus suodatinkaivoissa kasvoi niin, että suodatinmateriaalit ovat virtaamasta riippumatta veden alla (Kuva Aki Mykkänen).

Biohiilet sisältänyt silttikangaspussi vaihdettiin myös muutostöissä noin 5–10 senttimetrin sepelikerrokseen, jonka tarkoituksena on pitää biohiili paikoillaan. Tämä mahdollisti muutostöiden jälkeisen laskeutumisen kaivoon ja siellä työskentelyn (kuva 6). Tällöin kaivoja pystyttiin säätämään muutostöiden jälkeen helposti ja voitiin suorittaa esimerkiksi virtaamamittauksia.

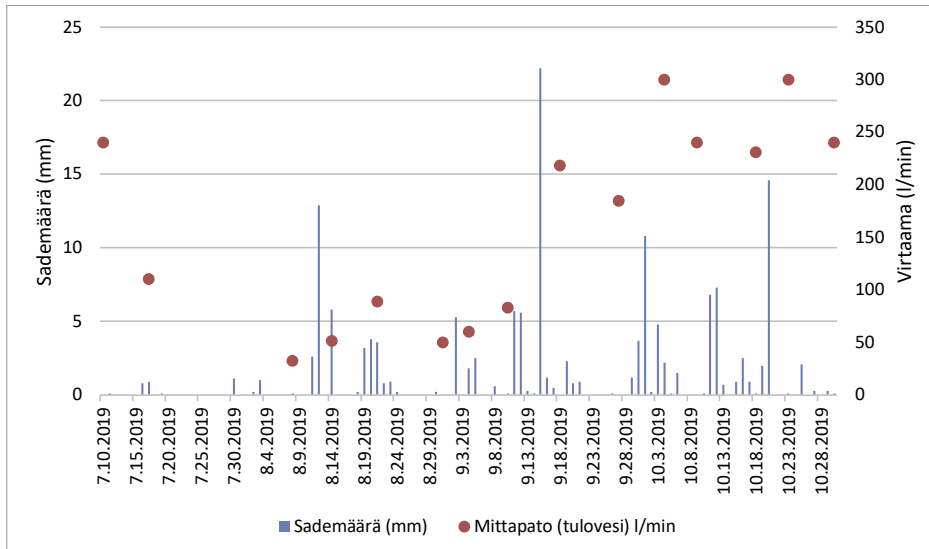


**KUVA 6.** Suodatinkaiivossa tehtävä tuloventtiilin säätäminen. Ennen muutostöitä kaivo oli täynnä vettä kaivon seinämällä näkyviin rajoihin asti (kuva Aki Mykkänen).

Muutostöiden jälkeiset virtaamamittausmahdollisuudet koettiin paremmiksi sekä helpommiksi toteuttaa. Koska kuitenkin virtaamat voivat vaihtua hyvinkin lyhyellä aikavälillä, olisi Pitkäjärven kohteessa automaattinen virtaamamittaus erityisen hyödyllistä. Tämä estäisi suuresti astiamittausten inhimillistä virhettä sekä mahdollistaisi valtavasti suuremman tietomäärän keräämisen. Automaattisia virtaamamittareita voisi hyödyntää esimerkiksi järjestelmän sisällä tulokaivossa, jolloin ne olisivat suojassa säältä ja vandalismita. Myös tulokaivojen suuttimissa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi ultraäänen perustuvia virtaamamittareita.

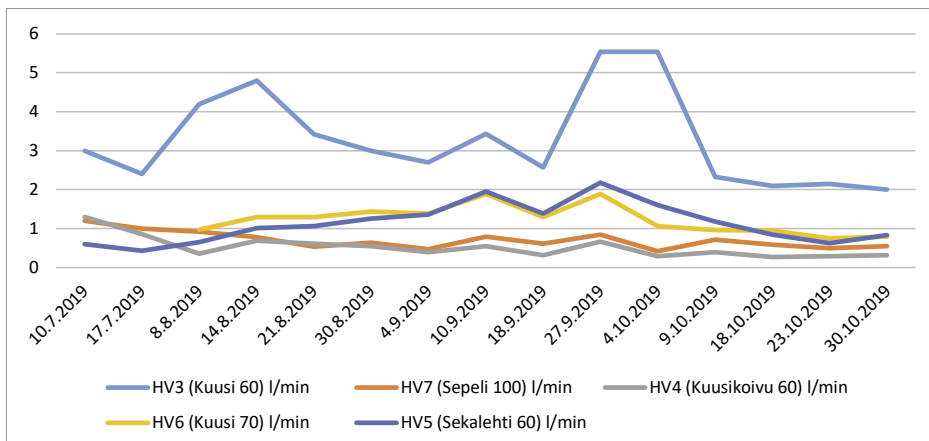
## TULOKSET 2019

Järjestelmälle tulevia vesimääriä seurattiin Thomson-virtaamapadon avulla järjestelmän yläjuoksulla, josta mittauksia tehtiin 10.7.2019–30.10.2019 välisenä aikana astiamittaamalla. Padon maksimivirtaama oli noin 300 l/min, ja se ylittyi kahtena mittauskertana 4.10. ja 23.10., jolloin vesi tulvi padon yli. Tulovirtaama on suoraan riippuvainen sademääristä, kuten voidaan nähdä vertailemalla Ilmatieteen laitoksen mittaamia sademääriä havaittuihin virtaamamääriin (kuva 7). Tulovirtaama lähtee kasvamaan selkeästi syyssateiden alettua.



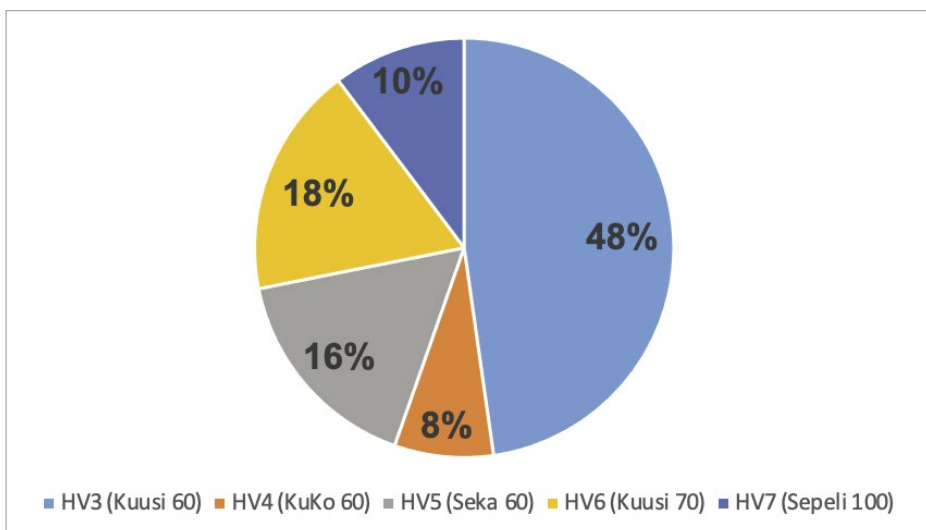
**KUVA 7.** Järjestelmälle tuleva vesimäärä sekä Mikkelin lentoasemalta havaittu vuorokauden sademäärä (Ilmatieteen laitos) 10.7.2019–30.10.2019. Syysateiden alkamisen myötä mittapadolta havaitaan selvästi suurempia sademääriä.

Toiminnan alusta lähtien oli selvää, ettei vesi virrannut tasan suodatinkaivojen välillä. Koko vuoden 2019 aikana poistuvien vesien määrät pysyivät tasaisina, mutta hyvin pieninä. Kaikkien viiden suodatinkaivon yhteenlaskettu poistovesien määrä oli koko ajan vain noin 5–15 prosenttia tulevan veden määrästä, myös kuivempina kausina. Valtaosa vedestä kulki pelkästään HV3-kaivon läpi (kuva 8).



**KUVA 8.** Viiden suodatinkaivon poistoveden virtaama (l/min) 10.7.2019–30.10.2019. Suuria tulovirtaaman mukaisia vaihteluita ei havaittu. Suurin osa vedestä kulki kaivon HV3 läpi.

Järjestelmän rakenteen myötä tulovirtaamat olivat täysin painovoimaisia, ja niiden säätäminen oli mahdotonta ilman suodatinmateriaalien ylös kaivamista. Muutostöitä ei toteutettu vuonna 2019, koska niiden suunnitteluun ja toteuttamiseen kuluva ajan takia ei monitorointia olisi päästy jatkamaan ennen talvea ja sen myötä ennen jäätymisriskiä. Tarkastellessa pelkkiä poistuvien vesien prosentiosuuksia (kuva 9) havaitaan, että HV3-kaivon läpi kulkee noin puolet kaivojen läpi kulkevasta vedestä.



**KUVA 9.** Veden jakautuminen viiden suodatinkaivon välillä vuonna 2019. Noin puolet vedestä kulkeutuu pelkästään kaivon HV3 läpi.

Keskilukuja tarkasteltaessa (taulukko 1) on huomattavaa, että erityisesti tuloveden määrästä ei ole mielekästä laskea keskilukuja, koska pato tulvi muutamia kertoja vuonna 2019. Tällöin tulokseksi on merkitty silmämääräisesti virtaamamäärä. Todellinen keskiarvo ja -hajonta ovat siis todennäköisesti ilmoitettua suurempia. Suodatinkaivojen HV3–HV7 vaihtelut ovat pieniä, reilusti alle prosentin tulovirtaamasta. On selvää, ettei vesi ole virrannut oikein kaivoihin vuonna 2019.



**TAULUKKO 1.** Vuoden 2019 virtaamamittausten keskiarvot ja keskihajonnat. Tuloveden tuloksissa muutamia tulvimistilanteita, jolloin keskiluvut eivät ole luotettavia.

Pitkäjärvi virtaamat 10.7.2019–30.10.2019		
Mittauspiste	Keskiarvot l/min	Keskihajonta
Mittapato (tulovesi)	162*	93*
HV3 (Kuusi 60)	3,3	1,2
HV4 (Kuusikoivu 60)	0,5	0,3
HV5 (Sekalehti 60)	1,1	0,5
HV6 (Kuusi 70)	1,2	0,3
HV7 (Sepeli 100)	0,7	0,2
Poistot yhteensä	6,8	1,9

\* Luku ei täysin luotettava, pato tulvi välillä eikä tarkkaa arvoa voitu mitata. Todellinen tulos suurempi.

Vuonna 2019 saatujen tulosten perusteella kohteelle suunniteltiin muutostöitä, joilla erityisesti virtaamaongelmia saatiin korjattua ja järjestelmän toimintaa parannettua.

## TULOKSET 2020

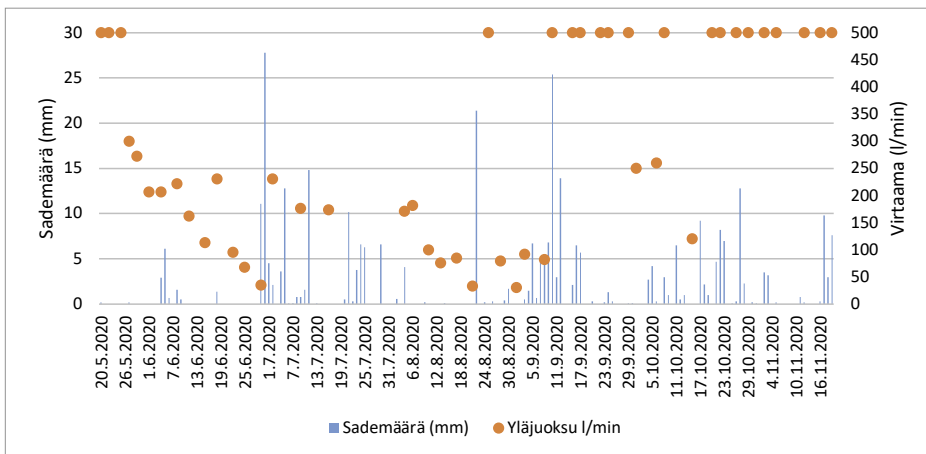
Keväällä 2020 toteutettujen muutostöiden yhteydessä kohteesta haluttiin myös varmistaa, että järjestelmä varmasti pystyy vastaanottamaan suuriakin tulovirtaamia ja että padotus oli johtunut suodatinmateriaaleja ympäröineestä silttikangaspussista. Mittaukset toteutettiin kaivojen ollessa tyhjiä, jolloin kaikki tuleva vesi pystyttiin ohjaamaan suoraan järjestelmään. Tuloksista voitiin nähdä, että kaikki vesi virtasi esteettä kaivojen läpi, mutta hyvin epätaisisesti kaivojen välillä (taulukko 2). Tyhjään järjestelmään saatiin johdettua ainakin noin 500 l/min vettä, joka oli kyseisenä ajankohtana ojassa liikkunut koko vesimäärä.

**TAULUKKO 2.** Keväällä 2020 kahtena päivänä tyhjistä järjestelmästä mitattu maksimivirtaama l/min.

Maksimivirtaama	30.4.2020	4.5.2020
Mittapato (tulovesi)	327	490
HV3	26	47
HV4	53	89
HV5	43	67
HV6	56	81
HV7	150	205
Poistot yhteensä	328	488

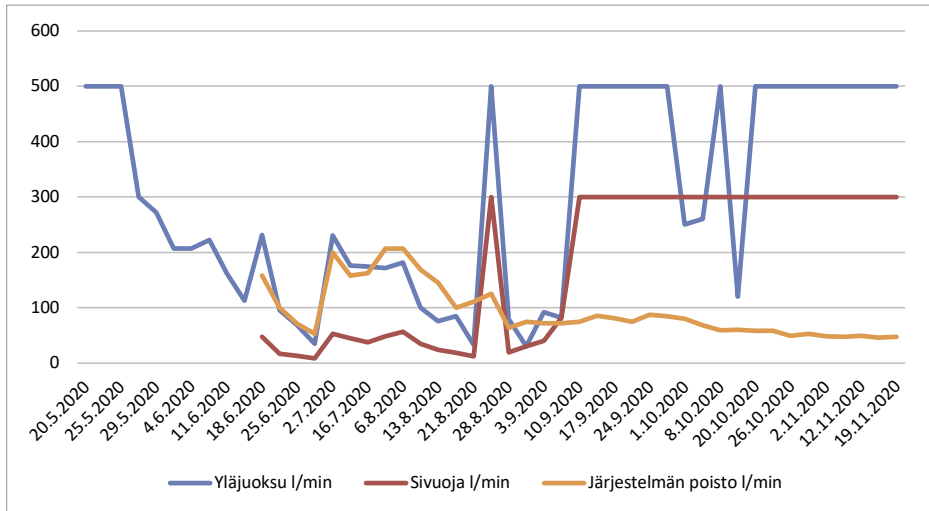
Maksimivirtaaman perusteella on selvää, että kaivot ovat korollisesti epätasaisia. Valtaosa vedestä kulkee yhden kaivon läpi, ja muissa kaivoissa virtaamat ovat hyvin vaihtelevia. Esimerkiksi routa on voinut siirtää putkia, jolloin ne eivät enää ole tasassa keskenään. Koska kaivot ovat kuitenkin muuten identtisiä ja suurin yhdestä kaivosta havaittu virtaamamäärä oli yli 200 l/min, voidaan olettaa kaikkien kaivojen yhtenäisesti pystyvän vastaanottamaan vähintään 1000 l/min vettä. Tämä on kuitenkin suodatinjärjestelmän kannalta aivan liian suuri virtaama, koska suodatinmateriaalit tarvitsevat hitaampia virtaamia puhdistustoiminnan varmistamiseksi. Testit vahvistivat kuitenkin sen, että padotus johtui pelkästään suodatinmateriaaleista ja erityisesti niitä ympäröineistä silttikangaspusseista. Mittausten aikana ei myöskään ole viitteitä siitä, että järjestelmästä vuotaisi vettä maaperään. Mitatut vesimäärät ovat samat yhteenlasketuissa poistoissa ja tulovedessä. Pienet, muutaman litran minuutissa erot johtuvat ajallisista eroista sekä mittausvirheistä.

Kuten edeltävänäkin vuonna, myös 2020 järjestelmälle tulevan veden määrää tarkasteltiin virtaamapadon avulla, mutta lisäksi myös sivujojan sekä poisto-ojan virtaamia mitattiin Thomson-patojen avulla. Virtaamapato päivitettiin hieman suuremmaksi, jotta vesi ei heti alkaisi ylivuoksu padon yli suurien virtaamatapahtumien aikaan. Kuitenkin tästä huolimatta heti toukokuussa tulovirtaamamäärät olivat niin suuria, että pato tulvi välitömästi. Toukokuun loppupuolella tulovirtaamamäärät laskivat huomattavasti matalimmiksi, jolloin virtaamaa saatiin luotettavammin astiamitattua. Vähimmillään virtaamat olivat kesä–heinäkuussa, jolloin pienin havaittu arvo oli 41 l/min (kuva 10). Syyskuusta 2020 eteenpäin tiiviimpien vesisateiden myötä ylivuoksyminen alkoi taas eikä tarkempia virtaamamittauksia voitu tehdä.



**Kuva 10.** Järjestelmälle tuleva vesimäärä sekä Mikkelin lentoasemalta havaittu sademäärä (Ilmatieteen laitos) 20.5.2020–12.11.2020. Mittapadon maksimivetoisuus oli 500 l/min.

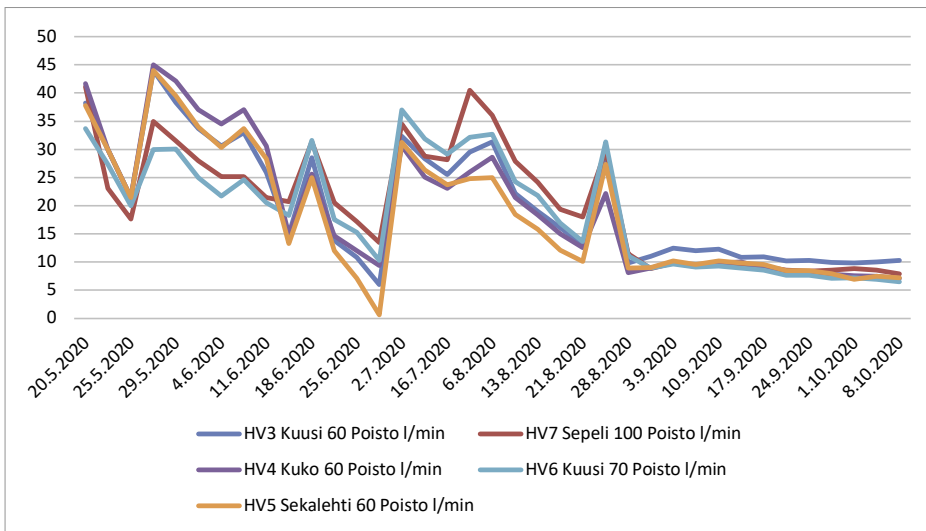
Huomioitavaa virtaamapatojen mittaustuloksissa on yläjuoksun ja sivuojan ylisyöksyminen padon mitoituksen ylittävien virtaamien aikana. Kuvassa 11 yläjuoksun (sininen) ylitulviminen alkaa kohdassa 500 l/min sekä sivuojan (oranssi) kohdassa 300 l/min. Todellinen kyseisen hetken virtaama on siis huomattavasti ilmoitettua arvoa suurempi, jolloin keskilukujen laskeminen on vain suuntaa antavaa.



**KUVA 11.** Virtaamapatojen virtaamat (l/min) vuonna 2020. Yläjuoksun (sininen) tulviminen alkaa kohdassa 500 l/min sekä sivuojan (punainen) kohdassa 300 l/min. Todellinen virtaama kyseisillä ajankohdilla on merkittävä suurempi.

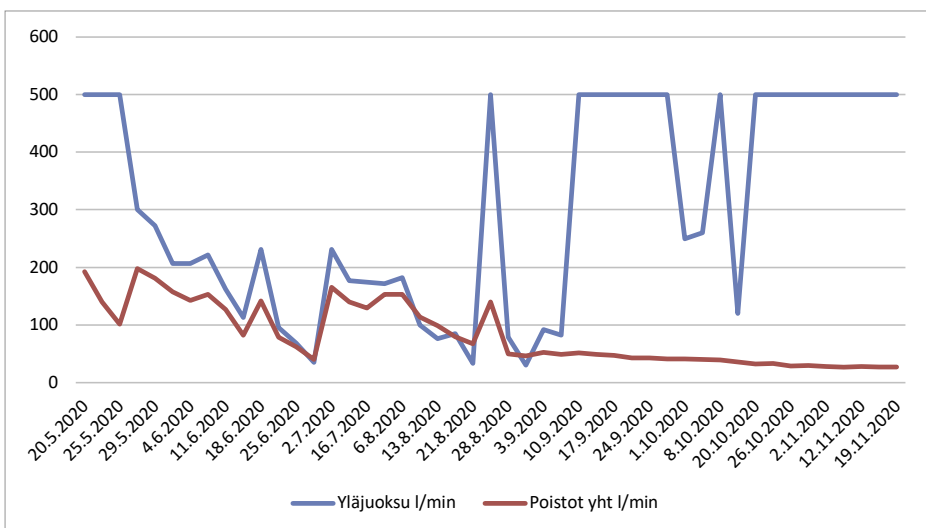
Itse suodatinkaivojen poistovirtaamat ovat moninkertaisia verrattuna edeltävään vuoteen (kuva 12). Aikajaksolla 20.5.2020–28.8.2020 suodatinkaivot oli asetettu niin, että jokaiseen kaivoon tulee vettä 30 l/min. Erityisesti keväällä sekä alkukesästä eroavaisuuksia virtaamien välillä on suuresti, koska hienosäätöä venttiileille ei ollut tehty. 29.5–11.6. välillä tehdyissä mittauksissa näkyy myös hyvin kuivemman kauden aiheuttama suuri ero kaivojen välillä, jolloin kaivoista HV6 ja HV7 vettä menee selkeästi kolmea muuta kaivoa vähemmän. Elokuun 2020 loppupuolella kaikki venttiilit säädettiin niin, että jokaiseen kaivoon tulee vettä 10 l/min. Virtaamamäärät pysyivät hyvin tasaisina koko loppumonitorointiajan.





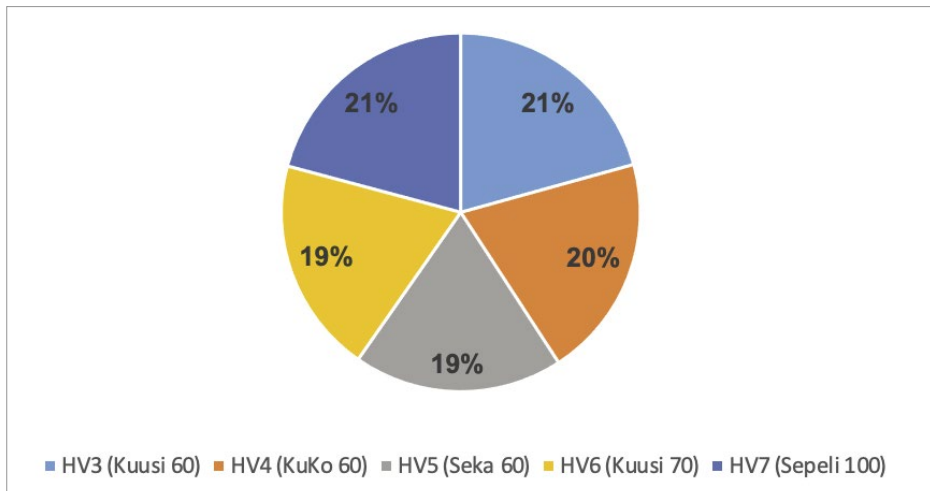
**KUVA 12.** Viiden suodatinkaivon poistoveden virtaama (l/min) vuonna 2020. Syyskuusta eteenpäin kaivot asetettiin ottamaan 10 l/min (yhteensä 50 l/min), jolloin tasaisuus kaivojen välillä näkyy erityisen hyvin.

Tuloveden määrän ollessa viiden kaivon yhteenlasketun tulovirtaaman alle vesi alkaa kulkea helpoimman reitin eli korollisesti alimman kaivon kautta. Tämä aiheuttaa veden epätasaisen jakautumisen kaivojen välillä. Tästä aiheutuvat virtaamaheittelyt näkyvät hyvin tarkasteltaessa tulevaa sekä viidestä kaivosta yhteenlaskettua poistuvaa vettä (kuva 13). 28.8.2020 eteenpäin kaikki viisi kaivoa säädettiin niin, että jokaiseen vettä tulee 10 l/min tasaisuuden varmistamiseksi.



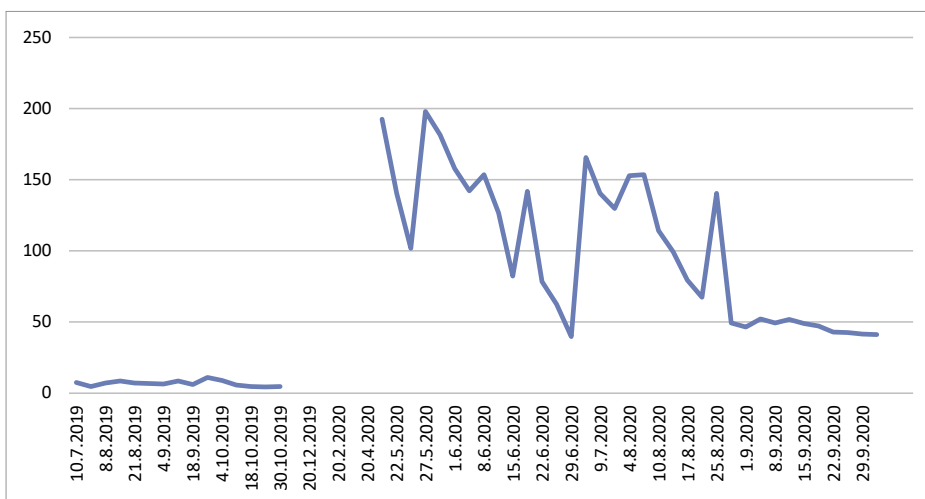
**KUVA 13.** Yläjuoksun mittapadolta sekä viiden suodatinkaivon poistojen yhteenlaskettu määrä vuonna 2020. Kesällä vesi ei riittänyt tasan kaikille kaivoille, jolloin virtaamisissa nähdään epätasaisuuksia. Syksyllä veden riittäessä virtaamat pysyvät erittäin tasaisina.

Kuten edellä olevista kuvaajista näkee, pienemmän virtaaman säädön jälkeen vesi on jakautunut erinomaisesti viiden kaivon välille. Jakautumisen tarkkuus riippuu täysin virtaamajakojen säätämisen tarkkuudesta, jolloin tulovesi voidaan saada tarkastikin jaettua viiden kaivon välille. Tarkasteltaessa vuonna 2020 tehtyjä suodatinkaivojen virtaamamittauksien keskiarvoja (kuva 14) nähdään tasaisuus kaivojen välillä myös erittäin hyvin. Koska virtaamamittaukset suoritettiin käsin astiamittauksella, on muutamien prosenttiyksiköiden erot todennäköisesti mittausvirheestä syntyviä.



**KUVA 14.** Veden jakautuminen viiden suodatinkaivon välille vuonna 2020. Vesi jakautuu tasan kaikkien viiden kaivon välille. Vuonna 2019 noin puolet vedestä meni kaivon HV3 läpi.

Verrattaessa vuoden 2020 tuloksia vuoden 2019 tuloksiin voidaan todeta kevään 2020 muutostöiden olleen menestys. Silttikangaspussien poistolla oli selkeä vaikutus virtaamien määriin, sekä säätöventtiilien avulla kaivojen välinen virtaamaero saatiin tasattua. Tuloveden määrä seuraa vuodenaikoja, jolloin kuivina kausina vettä voi olla vähäisiä määriä puhdistustutkimusta varten. Tarkasteltaessa viiden suodatinkaivon poistovesien yhteenlaskettua määrää molemmilta vuosilta on ero muutostöiden jälkeen selkeä (kuva 15).

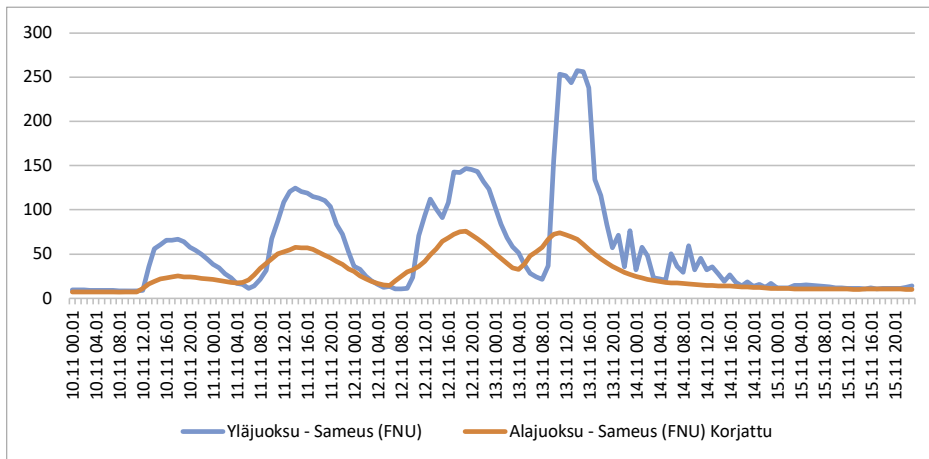


**KUVA 15.** Kaikki hankkeen aikana 2019–2020 mitatut viiden suodatinkaivon poistovirtaamat l/min. Vuosien välillä nähdään selkeästi vuoden 2019 aikana ollut tukkeutumisen aiheuttama heikko virtaama sekä 2019 muutostöiden tuoma kasvu virtaamamäärässä. Vuoden 2020 kesän suuret heittelyt ovat pääosin kesän kuivan kauden aiheuttamia.

Samanlainen, rinnakkaiskelpoinen tulovirtaama jokaiselle kaivolle on erittäin tärkeää tutkimuksen kannalta, jolloin ideaalitulanteessa jokaisen kaivon ainoa muuttuja olisi niihin sijoitettu suodatinmateriaali. Vaikkakin järjestelmään jouduttiin tekemään muutostöitä keväällä 2020, saatiin silti vuonna 2019 hyvää virtaamatietoa Karilanojan valuma-alueesta. Virtaamamäärien avulla saatuja puhdistustehoja voidaan suhteuttaa paremmin kattavamman kokonaiskuvan saamiseksi. Tuloksien avulla voitaisiin esimerkiksi myös tarkastella, millaista vuositaso kuormitusta Karilan alueelta aiheutuu Pitkäjärveen.

## VIIPYMÄ

Viipymää eri pisteiden välillä tarkasteltiin myös useita kertoja hankkeen aikana. Viipymä on erityisen tärkeää, koska erojen ollessa useita tunteja ottamalla kaikki näytteet samana ajankohtana voi vedenlaadussa tapahtua suuriakin muutoksia. Tällöin pisteiden välinen tulosten vertailu ei ole mielekästä. Viipymää saadaan helpoiten tarkasteltua monitorointiasemien sameustuloksesta. Hulevesitapahtumien aikaan tulokaivosta havaitaan yhtäkkinen selvä nousu sameudessa. Tämän saman piikin havaitsemisessa suodatinkaivojen poistovesissä kestää noin kahdeksan tuntia. Viipymään kuluva aika vaihtelee säädetyn tulovirtaaman kanssa, jolloin sen korjaaminen on yksinkertaista. Esimerkiksi vähentämällä jälkimmäisen, suodatuksen jälkeisen aseman tuloksista ajallisesti kahdeksan tuntia saadaan järjestelmän ylä- sekä alapuolen asemien tulokset täsmäämään paremmin (kuva 16). Tällöin esimerkiksi vähenemää voidaan laskea jatkuvatoimisista mittauksista luotettavammin, vaikkakin kahdeksan tuntia ei ole absoluuttisen tarkka aika ajalle, joka vedellä kestää näiden kahden pisteen välillä.



**KUVA 16.** Esimerkki viipymäkorjattusta sameuden tuloksesta virtaamalla 10 l/min. Korjaus tehtiin vähentämällä alajuoksun tuloksista kahdeksan tuntia, jolloin piikkien alkukohdat osuvat paremmin yhteen.

Viipymään kuluva aika on kuitenkin aina riippuvainen säädetyistä tulovirtaamasta. Vuoden 2020 aikana havaittu viipymä vaihtelee noin 4–12 tunnin välillä, joten viipymää tulee aina tarkistaa tulovirtaamaa säädettäessä. Jatkuvatoimisten mittausten avulla tätä tarkastelua voidaan myös tehdä takautuvasti tulosten perusteella. Virtaama voi myös muuttua järjestelmän sisällä huomattavasti, jolloin sen kompensoiminen voi olla haastavaa.

Ideaalitilanteessa näytteenottoa ja yksittäisiä mittauksia kohteesta tulisi tehdä aina niin, että viipymä olisi huomioitu. Esimerkiksi jos näytteenottohetkellä on juuri alkanut pari tuntia aikaisemmin sataa, näkyvät sateen aiheuttamat muutokset tulopuolella, mutta eivät vielä poistuvissa vesissä. Olettaessa kaikki kohteen vesinäytteet samalla ajanhetkellä eivät pisteissä kyseisellä ajanhetkellä olevat vedet edusta toisiaan. Lyhyidenkin aikajaksojen erot voivat olla erittäin suuria, jolloin samalla ajanhetkellä otettujen näytteiden tuloksissa saattaa esiintyä epäloogisuuksia. Esimerkiksi puhdistustehon tulos saattaa esiintyä moninkertaisena, mikäli viipymää ei huomioida.

Viipymän huomioiminen voi kuitenkin olla aikataulullisesti hyvin haastavaa. Esimerkiksi loppusyksystä 2020 säädetyin tulovirtaaman ollessa 10 l/min/kaivo oli viipymä noin kahdeksan tuntia. Näytteenotollisesti tämän kompensoiminen tarkoittaisi sitä, että tulokaivon näytteenoton jälkeen tulisi odottaa kahdeksan tuntia ennen suodatinkaivojen näytteiden ottamista. Tämän toteuttaminen voi olla haastavaa. Viipymää saadaan kuitenkin pienennettyä kasvattamalla tulovirtaamaa, jolloin näytteenotto voitaisiin suorittaa pienemmällä aikaerolla.

Viipymän aiheuttaman eron takia Huky-hankkeessa tehtyjen näytteenottojen tuloksia ei ole kompensoitu näytteenottohetkellä, jolloin tulokaivon tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia suodatinkaivojen jälkeisten tulosten kanssa. Tuloksia voidaan kuitenkin käyttää suuntaa antavina tietoina puhdistustehosta. Viiden rinnakkaisen suodatinkaivon välinen viipymä on yhteinen, jolloin niiden välisten tulosten tarkastelu on luotettavampaa.

## YHTEENVETO

Virtaamamääriä on erittäin tärkeä seurata hulevesiä tarkasteltaessa, ja se jääkin monesti aluksi huomioimatta. Huky-hankkeen aikana tehtyjen virtaamamittausten perusteella vaikuttaisi siltä, että Karilan alueen koillisesta osiosta muodostuva huleveden määrä vaihtelee suuresti alhaisimpien määrien ollessa kesän kuivina kausina noin 20 l/min ja suurimpien syyssateiden myötä jopa yli 1000 l/min. Tällöin on tärkeää ajoittaa suodatinmateriaalitutkimusta ajankohdalle, jolloin vettä ja hulevesitapahtumia varmasti riittää.

Pitkäjärven hulevesijärjestelmän tapauksessa myös viipymä olisi hyvä huomioida mahdollisimman vertailukelpoisten tulosten saamiseksi. Aikaviiveen takia samalla ajanhetkellä otetut vesinäytteet tulovedestä sekä suodatinkaivoilta todellisuudessa edustavat ajallisesti 4–12 tuntia toisistaan eroavaa vettä. Koska huleveden ominaisuudet ja erityisesti siinä olevat haitta-aineet voivat vaihdella hyvinkin nopeasti esimerkiksi vesisateiden myötä, on viipymän huomioiminen tärkeää. Viiden rinnakkaisen suodatinkaivon viipymä on kuitenkin yhtenäinen, jolloin niiden tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia.

Virtaamamittaukset ovat nopeasti toteuttavissa, ja niiden avulla järjestelmän toimintaa saadaan myös helposti seurattua yksinkertaisilla astiamittauksilla. Tulosten luotettavuus ja tarkkuus paranevat, mitä enemmän mittauksia on. Mahdollisuuksien mukaan järjestelmässä voitaisiin myös hyödyntää automaattisia mittapatoja tai muita virtaamamittareita, jolloin kohteesta saataisiin jatkuvaa virtaamatietoa vuoden ympäri.

# PITKÄJÄRVEN HULEVESIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ – SUODATINKAIVOJEN PUHDISTUSKOKEET

Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen

Huky-hankkeessa Pitkäjärven hulevesien puhdistusjärjestelmää koeajettiin, jotta saataisiin parempaa kuvaa järjestelmän toiminnasta ja kaupallistamisesta sekä kokemusta sen jatkokäyttöä varten. Kokeita tehtiin vuosina 2019 ja 2020. Vuonna 2019 kohteessa oli isoja ongelmia erityisesti virtaamien tasaisuudessa ja määrässä. Nämä ongelmat korjattiin vuonna 2020 muutostöillä, joiden myötä järjestelmä saatiin sille suunniteltuun kuntoon. Kohteessa tehtiin myös pilot-kokeita suodatinmateriaaleille, joissa testattiin biohiilien soveltumista hulevesien käsittelyyn. Tarkempi koeasetelma sekä monitorointipisteet on esitelty tämän julkaisun artikkelissa ”Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmä – kuvaus sekä Huky-hankkeen toiminnot”. Myös puhdistukselle oleellista virtaamatietoa on esitelty tämän julkaisun artikkelissa ”Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmä – virtaama”.

## RAJA-ARVOT JA LAATUKRITEERIT

Hulevedelle ei ole suoranaisesti annettu raja-arvoja Suomen lainsäädännössä tai laatukriteerejä suurelta osin sen hyvin paikkakohtaisesti vaihtelevien ominaisuuksien takia. Moneksi huleveden laatua verrataan valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006, 868/2010) asetettuihin raja-arvoihin. Tämän lisäksi suomalaisissa tutkimuksissa, kuten Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen selvityksessä Huleveden laatu Helsingissä (Airola ym. 2014), on sovellettu Tukholman läänin raja-arvoja. Tukholman maantieteellinen sijainti on lähellä Helsinkiä, ja Ruotsin ja Suomen ympäristölainsäädännöt ovat lähellä toisiaan. Tukholman läänin raja-arvoissa (Riktvärdesgruppen 2009) on annettu useille haitta-aineille raja-arvot sen mukaan, missä hulevesipäästö tapahtuu ja minkälaista vesistöä se kuormittaa. Nämä luokitellaan pieniä vesistöjä kuormittavaan raja-arvoon sekä suurta järveä tai merta kuormittavaan raja-arvoon. Huleveden laatu Helsingissä -selvityksessä näitä arvoja käytetään soveltaen alemmaa ja ylempää raja-arvoa (taulukko 1).

**TAULUKKO 1.** Huleveden laatu Helsingissä -julkaisussa (Airola ym. 2014) käytettyjä huleveden laadun raja-arvoja. Valtioneuvoston asetuksen vesiympäristölle vaarallisia ja haitallisia aineita (1022/2006, 868/2010) sekä Tukholman läänin raja-arvoja (Riktvärdesgruppen 2009) soveltaen. Taulukosta poistettu PAH-yhdisteiden pitoisuudet. Pienin pitoisuus esitetty vihreällä.

Haitta-aine	Yksikkö	Tukholman läänin raja-arvot (riktvärdesgruppen 2009)		VN 1022/2006, VN 868/201	
		Alin raja-arvo	Ylin raja-arvo	ympäristö-laatonormi AA-EQS	ympäristö-laatonormi (MAC-EQS)
Elohopea	µg/l	0,03	0,07	0,05	Ei sovelleta
Fosfori	µg/l	160	250		
Kadmium	µg/l	0,4	0,5	0,1	0,45-1,5
Kiintoaine	mg/l	40	75		
Kromi	µg/l	10	25		
Kupari	µg/l	18	40		
Lyijy	µg/l	8	15	7,3	Ei sovelleta
Nikkeli	µg/l	15	30	21	Ei sovelleta
Sinkki	µg/l	75	125		
Typpi	mg/l	2	3		
Öljy	mg/l	0,4	0,7		

Helsingin tapauksessa Tukholman läänin huleveden raja-arvojen soveltaminen on ollut mielekästä, sillä molempien kaupunkien metropolialueella asuu reilusti yli miljoona asukasta ja molemmat ovat rannikkokaupunkeja. Mikkeli sen sijaan on sisämaassa sijaitseva alle 100 000 asukkaan kaupunki, joten raja-arvojen ei voida olettaa olevan täysin soveltuvia. Tässä Huky-hankkeen Huleveden laatu Helsingissä -selvityksessä laadittuja raja-arvoja kuitenkin sovelletaan myös Pitkäjärven Karilan valuma-alueelta tulevan huleveden laadun tarkasteluun.

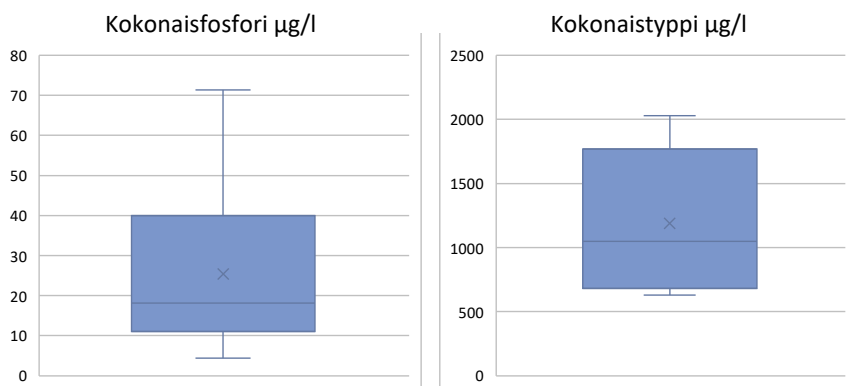
## FOSFORI JA TYPPI

Hankkeen molempina vuosina kohteesta otettiin ravinnenäytteitä Xamkin sisäiseen analyysiin oleellisimmista pisteistä noin kuukauden välein, ja niistä analysoitiin kokonaisfosfori ja kokonaistyppi. Vuoden 2019 tuloksia ei kuitenkaan tarkasteltu suodatinkaivojen virtaamaongelmien ja silttikangaspussin eron vuoksi, jolloin ei voida olla varmoja, mikä suodatuksesta on silttikankaan ja mikä suodatinmateriaalin tekemää. Molempien vuosien tulokaivon ravinnetuloksista (taulukko 2) voidaan fosforin sekä typen pitoisuuksien nähdä heittelevän suuresti tulevan hulevesivirtaaman ominaisuuksien myötä.

**TAULUKKO 2.** Kaikki tulokaivon kokonaisravinnetulokset ( $\mu\text{g/l}$ ) 2019–2020. Taulukossa 1 esitetyissä sovelletuissa raja-arvoissa fosforille alimmaksi pitoisuudeksi oli annettu 160  $\mu\text{g/l}$  ja typelle 2000  $\mu\text{g/l}$ , ja ylitykset on merkitty punaisella.

Päivämäärä	Kokonaisfosfori $\mu\text{g/l}$	Kokonaistyyppi $\mu\text{g/l}$
10.7.2019	10	2240
21.8.2019	14	700
4.9.2019	58	490
18.9.2019	11	560
23.10.2019	14	700
13.11.2019	14	2000
13.11.2019	5	280
27.5.2020	63	1680
22.6.2020	11	2030
6.8.2020	12	630
29.9.2020	18	1330
6.10.2020	21	770
11.11.2020	71	700
Keskiarvo	25	1085
Keskihajonta	23	677

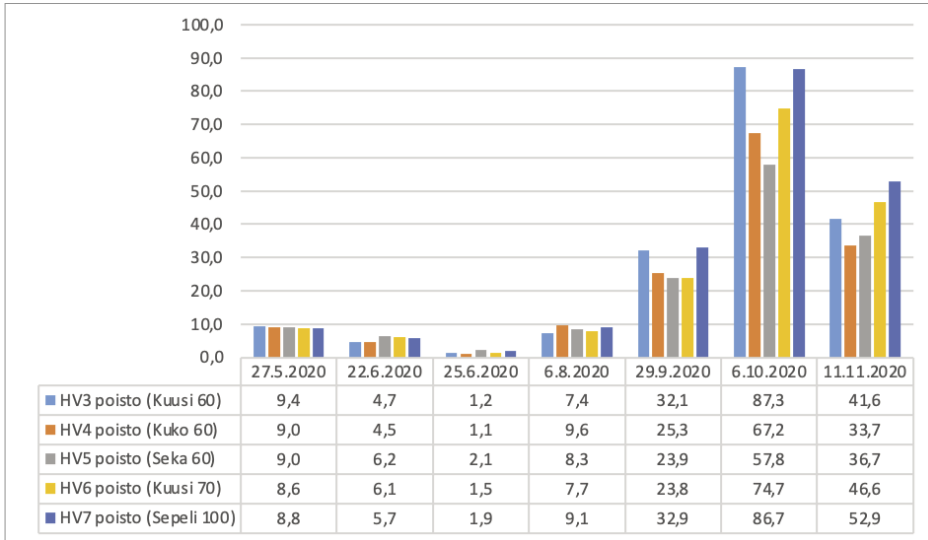
Vaikkakin typen osalta sovellettu alempi raja-arvo ylittyy hieman kolmena näytteenotokertana, jäävät keskiarvot huomattavasti raja-arvoa alemmaksi. Tarkasteltaessa näiden 13 näytteenoton keskilukuja (kuva 1) on selvää, että typpipitoisuus myös vaihtelee huomattavasti fosforipitoisuutta enemmän. Vaikka alueen hulevesiin ei vaikuttaisi syntyvän suuresti raja-arvoja ylittäviä ravinnehuuhtoumia, olisi silti erityisesti typpipitoisuuksia hyvä tarkastella erityisesti hulevesitapahtumien aikaan.



**KUVA 1.** Tulokaivon fosforin (vasen) ja typen (oikea) kokonaispitoisuuksien ruutu- ja janakaaviot (mediaani, keskiarvo x, ala- ja yläkvartiilit ja ääriarvot). Typpipitoisuus vaihtelee huomattavasti enemmän kuin fosforipitoisuus.

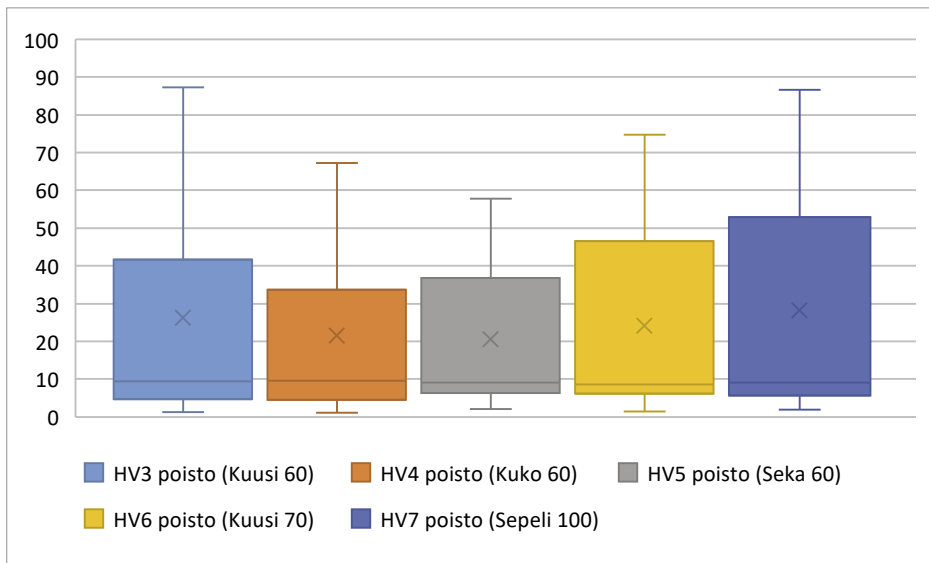


Koska tuloveden laatu vaihtelee suuresti ja viipymän takia jo muutamien tuntien väliset muutokset voivat olla suuria, ei tulokaivon tuloksia ole mielekästä vertailla suodatinkaivojen puhdistustuloksiin. Suodatinkaivoja voidaan kuitenkin vertailla keskenään, jolloin saadaan kuvaa eroavaisuuksista suodatinmateriaalien välillä. Kokonaisfosforipitoisuudesta ei kuitenkaan havaita selvästi suuria näkyviä eroja (kuva 2).



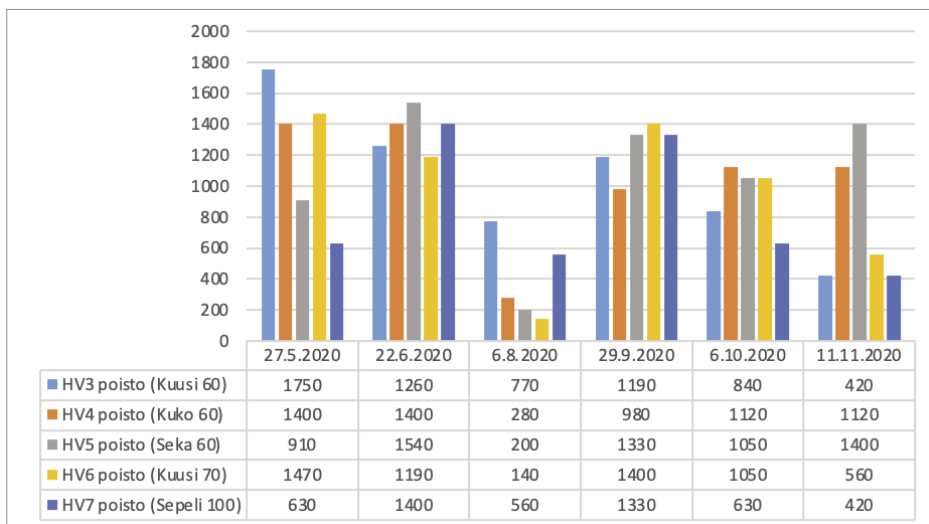
**KUVA 2.** Vuoden 2020 suodatinkaivojen kokonaisfosforipitoisuus (µg/l). Arvot pienimmillään kesällä ja selvästi suurimmillaan syksyllä.

Näytteenottokohtaiset erot kaivojen välillä eivät ole suuria, mutta monena päivänä sepelikontrolli korostuu biohiiltä sisältävistä kaivoista korkeammalla fosforipitoisuudella. Fosforipitoisuudet myös kasvavat moninkertaiseksi syksyn ja kasvavan huuhtouman myötä. Kokonaisfosfori on käynyt matalammillaan kesäkuun kuivana kautena. Tarkastellessa vuoden 2020 tulosten keskilukuja (kuva 3) nähdään sepelikontrollin erottuvan hieman korkeammilla tuloksilla biohiilikaivoista.



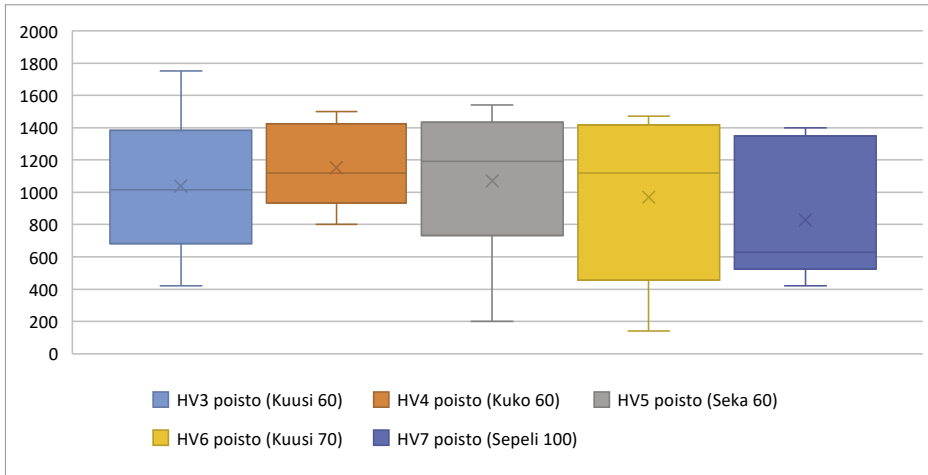
**KUVA 3.** Vuoden 2020 suodatinkaivojen kokonaisfosforipitoisuuksien ( $\mu\text{g/l}$ ) ruutu- ja jänakaaviot (mediaani, keskiarvo  $x$ , ala- ja yläkvartiilit ja ääriarvot). Sepelikontrollista HV7 havaitaan keskimäärin hieman korkeampia fosforipitoisuuksia kuin biohiilikaivoista. Kuusi-koivubiohiiltä sisältävästä kaivosta havaitaan pienimmät fosforipitoisuudet.

Kokonaistyyppipitoisuuksissa (kuva 4) ei havaita yhtä suuria huuhtouman mukaisia vuodenaikaisvaihteluja kuin kokonaisfosforilla. Pitoisuudet ovat pienimmillään elokuussa ja laskevat hieman syksyllä. Myöskään kaivojen välillä ei havaita kaivokohtaisia trendejä, vaan puhdistustehokkuus vaihtelee aina jokaisella näytteenotokerralla.



**KUVA 4.** Vuoden 2020 suodatinkaivojen kokonaistyyppipitoisuus ( $\mu\text{g/l}$ ). Arvot selvästi alimmillaan elokuussa. Selviä yhtenäisiä eroja kaivojen välillä ei havaita.

Kaivojen väliset erot ovat vaihtelevia, eikä tuloksista erotu selviä eroja suodatinmateriaalien välillä. Yksittäisillä näytteenottokerroilla kaivojen välillä havaitaan eroja, mutta keskilukuja tarkasteltaessa (kuva 5) selkeitä biohiilikaivojen välisiä eroja ei ilmene. Sepelikontrollista kuitenkin havaitaan biohiilikaivoja pienempiä kokonaistyyppipitoisuuksia, mikä mahdollisesti viittaisi siihen, että biohiilistä irtoaisi pieniä määriä typpeä huleveteen.



**KUVA 5.** Vuoden 2020 suodatinkaivojen kokonaistyyppipitoisuuksien ( $\mu\text{g/l}$ ) ruutu- ja janakaaviot (mediaani, keskiarvo  $x$ , ala- ja yläkvartiilit ja ääriarvot). Sepelikontrollista HV7 havaitaan keskimäärin hieman matalampia arvoja kuin biohiilikaivoista.

Typen osafraktioita tarkasteltaessa pisteistä analysoitiin myös huleveden ammonium-, nitraatti- sekä nitriittityypipitoisuudet. Suodatinkaivoissa ammoniumtyypipitoisuus vaihteli  $25\text{--}65 \mu\text{g/l}$  sekä nitraattityypipitoisuus  $<0,1\text{--}260 \mu\text{g/l}$ . Nitriittityypessä määritysrajaa ylittäviä pitoisuuksia ei havaittu yhdestäkään näytteenotosta. Esimerkkinä taulukossa 3 on 29.9.2020 otetun näytteenoton tulokset.

**TAULUKKO 3.** 29.9.2020 näytteenoton typen osafraktioiden pitoisuudet µg/l (Metropolilab 2020b).

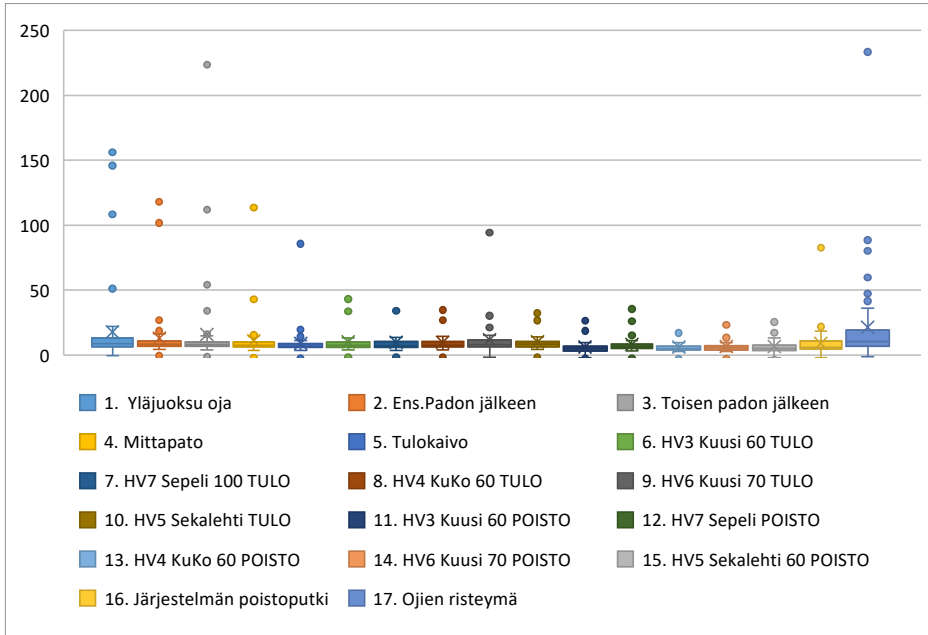
Analyyysi	HV3 (Kuusi 60 %)	HV4 (KuKo 60 %)	HV5 (Seka 60 %)	HV6 (Kuusi 70 %)	HV7 (Sepeli 100 %)
Ammonium-typpi, NH <sub>4</sub> -N	44	52	76	65	50
Nitraattityppi, NO <sub>3</sub> -N	250	260	200	230	240
Nitriittityppi, NO <sub>2</sub> -N	<2	<2	<2	<2	<2
Kokonaistyyppi, N, liukoinen (CSE)	470	450	520	460	420

Suodatinmateriaaleja ei vaihdettu uusin vuoden 2020 muutostöiden aikana, vaan koejaksoilla hyödynnettiin samoja jo vuoden 2019 käytössä olleita suodatinmateriaaleja. Tämän myötä ei voida sanoa, miten tuoreet biohiilet olivat toimineet puhdistuksessa. On siis täysin mahdollista, että vuonna 2020 jo yli vuoden toiminnassa olleet biohiilet ovat menettäneet puhdistuskykyään tai esimerkiksi kyllästyneet ravinteilla. Tätä tukee havainto laboratorikokeissa, joissa sekalehtibiohiilestä (HV5) havaittiin irtoavan merkittäviä määriä fosforia veteen. Vuoden 2020 kokeissa fosforipitoisuudet eivät olleet kaivossa HV5 koholla verrattaessa muihin biohiiliin, jolloin mahdollisesti irtoava fosfori on liennut biohiilestä jo vuoden 2019 aikana. Siltikangaspussien sekä virtaamaongelmien myötä vuoden 2019 tuloksia ei voida pitää luotettavina suodatinmateriaalien toiminnan osalta, jolloin tätä ei voida myöskään varmentaa aikaisemmista tuloksista.

Vaikka tuestä ja fosforista havaitaan pieniä eroja biohiilien sekä sepelikontrollien välillä, ovat otannat pieniä (1 näytteenotto/kuukausi) eikä rinnakkaisnäytteitä ole otettu suuren näytemäärän takia. Tällöin virheen riski kasvaa huomattavasti. Näytteenottojen määrään sekä rinnakkaisiin, viipymän kompensointiin ja hulevesitapahtumien aikaiseen tutkimukseen olisi tulevaisuudessa hyvä panostaa järjestelmää käytettäessä. Myös uusien biohiilien käyttöönoton yhteydessä olisi syytä tarkkailla suodatinmateriaalista mahdollisesti irtoavia ravinteita. Huky-hankkeen vuoden 2020 tuloksista havaitaan viitteitä siitä, että fosforipitoisuudet ovat hieman matalampia biohiilikaivoissa, kun taas typpipitoisuudet ovat hieman korkeampia sepelikontrolliin verrattuna.

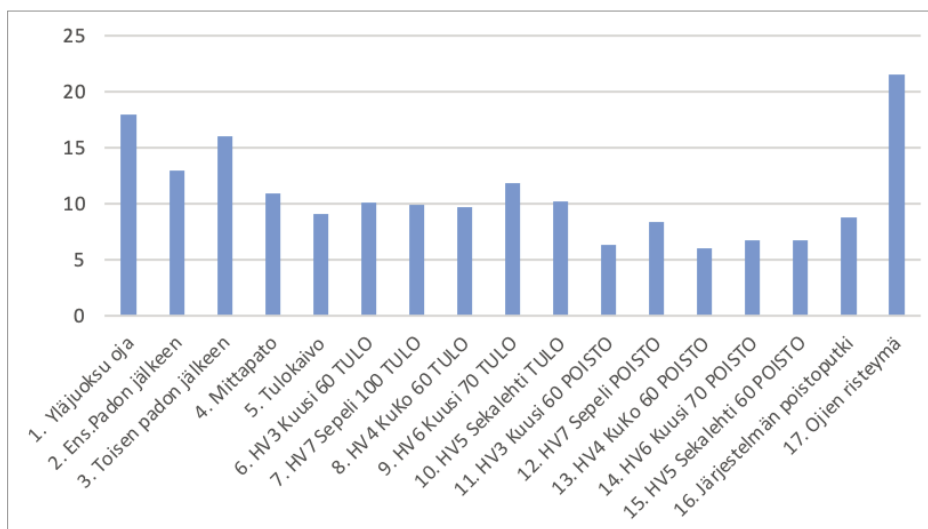
## SAMEUS

Sameus kasvaa hulevesitapahtumien mukana, jolloin erityisesti yläjuoksun pisteissä vaihtelu eri ajankohtina on erittäin suurta. Kaikkien vuoden 2020 aikana tehtyjen kenttämittausten sameuden keskilukuja tarkasteltaessa (kuva 6) tämä tulee esiin selvästi. Korkeimpia arvoja havaitaan avo-ojapisteissä, mutta järjestelmässä hajonta on selvästi pienempää.



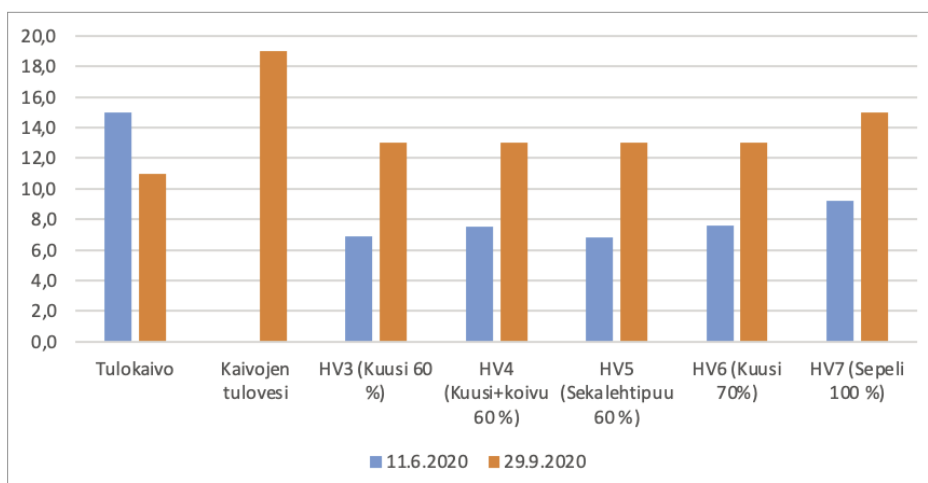
**KUVA 6.** Vuonna 2020 tehtyjen 48 kenttämittauksen sameuden ruutu- ja janakaaviot. Sameuden vaihtelut laskevat selvästi järjestelmässä (pisteestä 5. Tulokaivo eteenpäin) ja erityisesti suodatinmateriaaleilla. Arvot kasvavat jälleen veden yhdistyttyä takaisin ojavirtaamaan. Yli 100 FNU-sameusarvoja havaitaan pelkästään tulopuolen ojan pisteillä (pisteet 1–4) sekä järjestelmän poiston jälkeen eli avouomallisissa kohdissa.

Tarkasteltaessa pelkkiä sameuden keskiarvoja (kuva 7) näkyvät eri pisteiden väliset muutokset paremmin. Keskiarvo laskee selvästi yläjuoksun noin 18 FNU-arvosta suodatinkaivojen 8–6 FNU-arvoihin. Viiden suodatinkaivon poistoja tarkastellessa myös sepelikontrolli (piste 12) erottuu hieman korkeammilla lukemilla biohiilikaivoista.



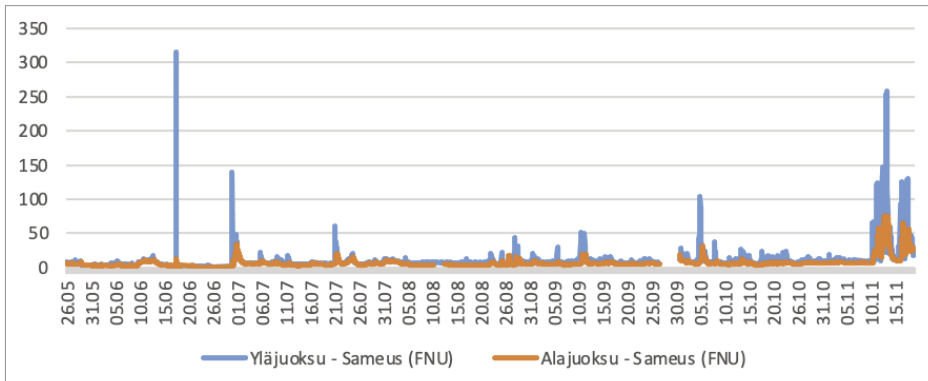
**KUVA 7.** Vuonna 2020 tehtyjen 48 kenttämittauksen sameuden keskiarvot. Sameuden vaihtelut laskevat selvästi järjestelmässä (pisteestä 5. Tulokaivo eteenpäin) ja uudestaan suodatinmateriaaleilla. Arvot kasvavat jälleen veden yhdistyttyä takaisin ojavirtaamaan. Sepelikontrollista (12. HV7 Sepeli POISTO) havaitaan muita suodatin-kaivoja korkeampi tulos.

Vesinäytteistä analysoitiin myös sameus kenttämittausten sekä monitorointiasemien tueksi. Näytteiden sameusanalyysi suoritettiin akkreditoidussa laboratoriossa standardin SFS-EN ISO 7027:2016 mukaan. Tuloksista nähdään, että tulokset ovat hyvin samanlaisia kuin kenttämittarilla saadut (kuva 8).



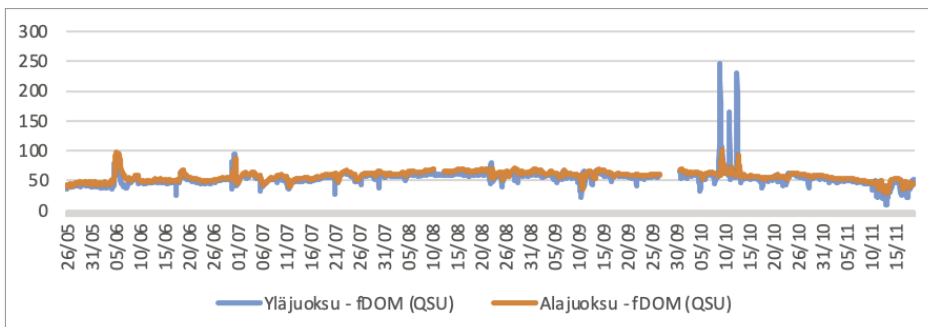
**KUVA 8.** Vuonna 2020 näytteenotoissa analysoitu sameus (FNU). Tulokset seuraavat kenttämittausten tuloksia, eli sameus laskee järjestelmässä ja sepelikontrollista havaitaan korkeimmat tulokset.

Sama havainto ilmenee myös jatkuvatoimimisissa sameusmittauksissa (kuva 9), joissa suodattinkäivojen jälkeisessä pisteessä havaitaan selvästi matalampia sameusarvoja. Hulevesita-  
pantumien aiheuttamat piikit ovat havaittavissa, mutta ne ovat selvästi pienempiä.



**KUVA 9.** Jatkuvatoimisten monitorointiasemien sameustulokset 2020. Suurempia vaihteluita ja arvoja havaitaan yläjuoksun asemalla eli käsittelemättömästä hulevedestä.

Sameuden lisäksi monitorointiasemilla tarkasteltiin myös fluoresoivaa liuennutta orgaanista ainesta (fDOM). Orgaanisessa aineksessa ei havaittu tapahtuvan suuria muutoksia. Lokakuussa suurien vesisateiden aiheuttaman huuhtouman aikaan yläjuoksulla havaittiin muutamana päivänä selvästi korkeampia arvoja, jotka pienenivät moninkertaisesti suodattinmateriaaleilla (kuva 10). Kyseisellä ajankohdalla hulevedessä on todennäköisesti ollut huomattavia määriä esimerkiksi humusta, joka on suodattunut järjestelmässä.



**KUVA 10.** Monitorointiasemien mittaama fluoresoiva liuennut orgaaninen aines (fDOM) vuonna 2020. Tuloksissa ei nähdä merkittävää vaihtelua paitsi muutamana päivänä suurien syysateiden aikaan, jolloin arvot vähenevät selkeästi suodattinmateriaaleilla.



Tulosten perusteella järjestelmä vaikuttaisi vähentävän veden sameutta sekä liuennutta orgaanista ainesta. Erityisen suurta tämä muutos on hulevesitapahtumien aikaan, jolloin ero käsitellyn ja käsittelemättömän veden välillä voi olla moninkertainen. Vaikka selviä eroja biohiilien välillä ei havaittu, korostuu sepelikontrolli korkeammilla tuloksilla muista kaivoista.

## METALLIT

Molempina toimintavuosina kohteesta otettiin tarkempia näytesarjoja, joiden osana myös tarkasteltiin metallipitoisuuksia. Vuoden 2019 tulosten osalta on selvää, että silttikangaspussit ovat vaikuttaneet merkittävästi tuloksiin, eikä suodatint materiaalien tuomaa vaikutusta voida erotella. Molemmissa vuoden 2019 näytteenotoissa oli myös ongelmia, jolloin näytteitä ei aina pystytty ottamaan kaikista kaivoista. Tämän takia vuoden 2019 tuloksia ei tarkastella tässä artikkelissa. Vuoden 2020 tuloksia vertailtiin tulokaivosta sekä kasetista saatuihin tuloksiin, mutta viipymää ei kompensoitu näytteenotoissa. Edeltävien pisteiden ja suodatinkaivojen välillä voi tämän vuoksi olla ajallisia eroja.

Vuonna 2020 tarkempi näytteenottosarja suoritettiin kahtena kertana. 11.6.2020 tehdyssä näytteenotossa (taulukko 4) suodatinkaivoissa havaitaan metallien osalta pieniä vähenemisiä kromissa, lyijyssä, nikkelissä, raudassa sekä vanadiinissa verrattuna tuloveteen. Selkeitä eroja ei havaita kaivojen välillä, mutta sepelikontrollissa (HV7) havaitaan hieman korkeampia tuloksia osassa metalleja, mikä viittaisi biohiilien parempaan puhdistustehoon.

**TAULUKKO 4.** 11.6.2020 tehdyn näytteenoton metallitulokset (Metropolilab 2020a).

Analyysi	Tulo	HV3 (Kuusi 60 %)	HV4 (KuKo 60 %)	HV5 (Seka 60 %)	HV6 (Kuusi 70 %)	HV7 (Sepeli 100 %)	Yksikkö
Antimoni, Sb	<1	<1	<1	<1	<1	<1	µg/l
Arseeni, As	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	µg/l
Elohopea, Hg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	µg/l
Kadmium, Cd	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	µg/l
Kromi, Cr	1,10	0,29	0,31	0,28	0,30	0,34	µg/l
Kupari, Cu	2,1	1,8	1,7	1,7	1,7	2,1	µg/l
Lyijy, Pb	0,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	µg/l
Nikkeli, Ni	2,2	1,8	1,8	1,6	1,6	1,8	µg/l
Rauta, Fe	2100	1200	1200	1100	1200	1400	µg/l
Sinkki, Zn	<5	<5	<5	<5	<5	<5	µg/l
Vanadiini, V	1,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	µg/l

Seuraavaa näytteenottoa varten tulevan veden näyte otettiin myös hulevesikasettien jälkeisestä pisteestä, jolloin saatiin poistettua mahdollisesti hulevesikaseteissa tapahtuvia muutoksia. Syyskuun näytteenoton tulokset (taulukko 5) ovat hyvin samanlaiset kuin aikaisemmassakin näytteenotossa. Biohiilien välillä ei havaita selkeitä eroja, mutta sepelikontrolli erottuu biohiilistä hieman korkeammilla tuloksilla useiden metallien osalta.

**TAULUKKO 5.** 29.9.2020 tehdyn näytteenoton metallitulokset (Metropolilab 2020b).

Analyyysi	Kasetti	HV3 (Kuusi 60 %)	HV4 (KuKo 60 %)	HV5 (Seka 60 %)	HV6 (Kuusi 70 %)	HV7 (Sepeli 100 %)	Yksikkö
Antimoni, Sb	<1	<1	<1	<1	<1	<1	µg/l
Arseeni, As	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	µg/l
Elohopea, Hg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	µg/l
Kadmium, Cd	0,04	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	µg/l
Kromi, Cr	0,72	0,53	0,53	0,52	0,56	0,59	µg/l
Kupari, Cu	2,2	2,4	2,0	2,0	2,1	2,2	µg/l
Lyijy, Pb	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	µg/l
Nikkeli, Ni	8,8	6,4	5,9	6,2	6,3	6,7	µg/l
Rauta, Fe	2300	1700	1700	1700	1700	1900	µg/l
Sinkki, Zn	8	7	10	7	7	10	µg/l
Vanadiini, V	1,7	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4	µg/l

Näiden näytteenottojen lisäksi syksyllä 2021 tehtiin uusi näytteenotto, jossa tarkasteltiin erinäisten metallien ja alkuaineiden liukois- sekä kokonaispitoisuuksia. Tulokaivon lisäksi näytteet otettiin myös suodatinkaivoja edeltävästä pisteestä (kasetti), jolloin voidaan tarkastella hulevesikasettien aiheuttamaa muutosta pitoisuuksiin (taulukko 6). Tulosten vertailussa tulee kuitenkin huomioida, että näytteet on otettu samalla ajanhetkellä, jolloin veden jatkuvasti virratessa eri pisteiden tulokset eivät välttämättä edusta toisiaan. Esimerkiksi tulokaivon sekä kaivojen poistoputkien välillä aikaa voi kulua jopa kahdeksan tuntia tulovirtaamasta riippuen.

**TAULUKKO 6.** 11.11.2021 tehdyssä näytteenotossa tulokaivosta ja suodatinkaivoja edeltävästä pisteestä (kasetti) todetut alkuaineiden kokonaispitoisuudet. Pienempi pitoisuus merkitty vihreällä, suurempi punaisella ja yhtä suuri sinisellä (ALS Finland 2020).

Piste	Kokonaispitoisuus (µg/l)	
	Tulokaivo	Kasetti
Hopea (Ag)	<1,0	<1,0
Alumiini (Al)	178	213
Arseeni (As)	<1,00	<1,0
Boori (B)	14	13
Barium (Ba)	44,3	41,7
Beryllium (Be)	<0,20	<0,20
Kalsium (Ca)	20300	18800
Kadmium (Cd)	0,051	0,039
Koboltti (Co)	1,97	1,13
Kromi (Cr)	0,75	1,16
Kupari (Cu)	2,6	2,6
Rauta (Fe)	2200	2830
Elohopea (Hg)	0,011	<0,005
Kalium (K)	4760	4150
Litium (Li)	2,3	1,6
Magnesium (Mg)	5280	4350
Mangaani (Mn)	336	174
Molybdeeni (Mo)	<1,0	<1,0
Natrium (Na)	30000	35300
Nikkeli (Ni)	4,25	4,19
Fosfori (P)	<50,0	<50,0
Lyijy (Pb)	<0,500	0,637
Antimoni (Sb)	0,299	0,384
Seleeni (Se)	<1,0	<1,0
Tina (Sn)	<1,0	<1,0
Titaani (Ti)	11,3	16
Tallium (Tl)	<0,50	<0,50
Uraani (U)	0,11	0,13
Vanadiini (V)	1,7	2,3
Sinkki (Zn)	7,8	28,7

Tulokaivon ja kasettien tuloksissa havaitaan epäjohdonmukaisuuksia. Esimerkiksi rautapitoisuus on kasvanut 630 µg/l sekä alumiinipitoisuus 35 µg/l myöhempään kasettipisteeseen mennessä. On tietenkin myös mahdollista, että rakenteista irtoaa aineita veteen, mutta on todennäköisempää, että tämä vaihtelu johtuu viipymän takia pisteiden välisistä ajallisista eroista. Mikäli kaikille järjestelmän pisteille haluttaisiin ottaa näytteitä tismalleen samasta vedestä, tulisi näytteenottoajat laskea kaikille pisteille kompensoimaan veden virtaamaa. Käytännössä tätä on hyvin vaikea toteuttaa, joten eri kohdissa järjestelmää olevien pisteiden vedenlaatua tulee vertailla keskenään tämä vaihtelu huomioiden. Esimerkiksi viidelle suodatinkaivolle vettä saapuu tulokaivolta samaan aikaan, joten viiden rinnakkaisen kaivon vertailu keskenään on mielekkäämpää.

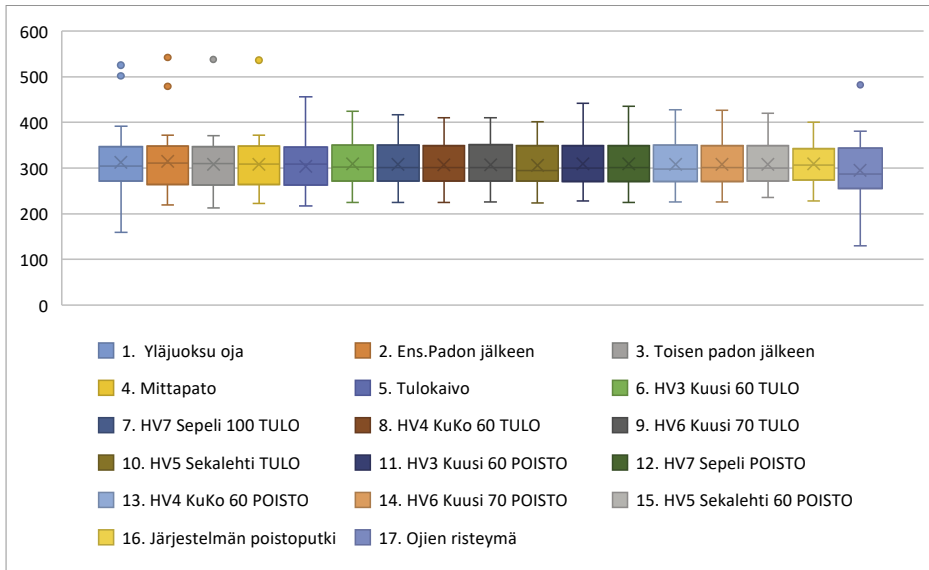
Vertailtaessa viiden suodatinkaivon tuloksia (taulukko 7) voidaan nähdä, että kokonaispitoisuudessa biohiilistä havaitaan pienempiä tai samoja pitoisuuksia jokaisessa alkuaineessa. Yleisesti hiilien välillä selviä eroja ei ole havaittu, mutta sekapuupohjainen biohiili erottuu joidenkin analyysien osalta korkeammilla pitoisuuksilla. Sepelikontrolli erottuu lähes jokaisen alkuaineen osalta korkeimmilla tuloksilla.

**TAULUKKO 7.** 11.11.2021 tehdyn näytteenoton neljän biohiilikaivon sekä sepelikaivon alkuaineiden kokonaispitoisuudet µg/l. Ainekohtaisesti pienin pitoisuus merkitty vihreällä, suurin punaisella (ALS Finland 2020).

Alkuaine µg/l	HV3 (Kuusi 60 %)	HV4 (KuKo 60 %)	HV5 (Seka 60 %)	HV6 (Kuusi 70 %)	HV7 (Sepeli 100 %)
Hopea (Ag)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Alumiini (Al)	179	158	166	196	223
Arseeni (As)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Boori (B)	12	12	12	13	12
Barium (Ba)	39	38,4	39,5	39,9	41,1
Beryllium (Be)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Kalsium (Ca)	19800	19800	20500	19700	20200
Kadmium (Cd)	<0,02	0,02	0,02	0,024	0,115
Koboltti (Co)	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Kromi (Cr)	0,8	0,7	0,7	0,9	1,0
Kupari (Cu)	2,7	2,5	2,3	2,6	3,1
Rauta (Fe)	2060	1900	1980	2200	2400
Elohopea (Hg)	0,0060	0,0064	0,0064	0,0067	0,0075
Kalium (K)	4580	4650	4640	4590	4660
Litium (Li)	1,6	1,6	1,5	1,6	2,0
Magnesium (Mg)	4820	4750	4850	4800	4840
Mangaani (Mn)	42,9	22,9	69,6	53,1	51,4
Molybdeeni (Mo)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Natrium (Na)	35100	35700	31900	37800	38700
Nikkeli (Ni)	4,11	3,76	3,71	3,84	4,06
Fosfori (P)	<50,0	<50,0	<50,0	<50,0	<50,0
Lyijy (Pb)	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	0,564
Antimoni (Sb)	0,321	0,33	0,278	0,344	0,380
Seleeni (Se)	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Tina (Sn)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Titaani (Ti)	11,5	10,5	10,1	11,9	15,6
Tallium (Tl)	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Uraani (U)	0,11	0,12	0,11	0,12	0,2
Vanadiini (V)	1,7	1,6	1,6	1,9	2,1
Sinkki (Zn)	7,8	6,8	9,1	6,7	9,4

Erot kaikkien kaivojen välillä eivät ole suuria, mutta pitoisuudet biohiilikaivossa ovat selvästi yhtenäisesti sepelikontrollia alempia. Suurimmat erot biohiilikaivojen sekä sepelikontrollin välillä havaitaan alumiinissa, kadmiumissa, raudassa sekä sinkissä. Koska kyseessä on kuitenkin vain yksittäinen näytteenotto, on tuloksia tarkasteltava kriittisesti. Missään metallinäytteenotossa ei havaittu Huleveden laatu Helsingissä -selvityksessä laadittujen Tukholman raja-arvojen ylityksiä.

Suurien metallipitoisuusmuutosten myötä myös sähkönjohtavuudessa olisi todennäköisesti nähtävissä pieniä muutoksia. Kenttämitatussa sähkönjohtavuudessa (kuva 11) ei havaita selkeitä eroavaisuuksia tuloveden ja järjestelmässä virtaavan veden välillä eikä erityisesti suodatinkaivojen jälkeisissä pisteissä. Tämä on looginen tulos, koska näytteenotoilla todetut metallipitoisuusmuutokset ovat mikrogrammoissa. Sähkönjohtavuutta hulevedessä aiheuttavat todennäköisemmin vedessä olevat suolat, joihin suodatinmateriaaleilla ei vaikuttaisi olevan vaikutusta. Vuoden 2020 näytteenottojen kloridipitoisuuden keskiarvotulos oli noin 40 mg/l, eikä järjestelmässä havaittu pitoisuuden muutoksia. Tämä tukee hyvin sähkönjohtokyvyn tulosta. Monitorointiasemien tuloksista ei myöskään havaita eroja sähkönjohtavuudessa. Suurien hulevesitapahtumien (sateet) aikana tuloveden monitorointiasemalla havaitaan kuitenkin piikkejä sähkönjohtavuudessa, joita ei enää havaita suodatinkaivojen jälkeisissä tuloksissa.

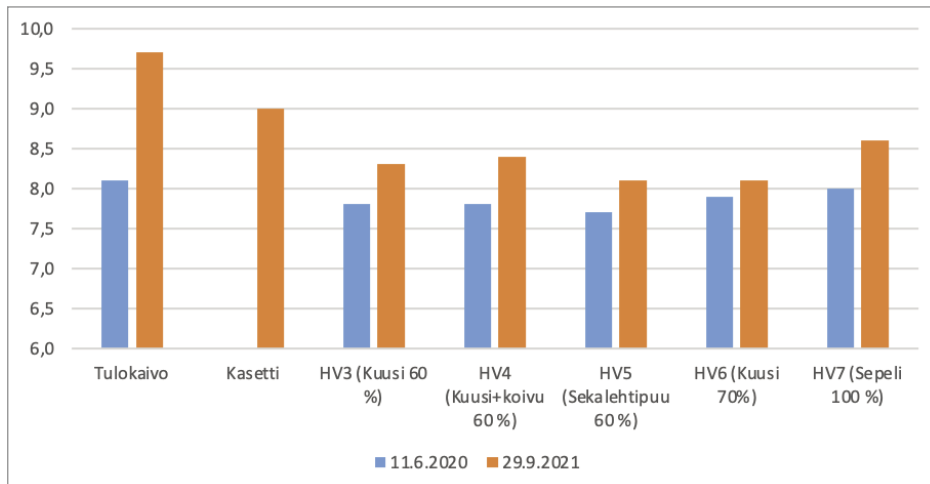


**KUVA 11.** Vuonna 2020 tehtyjen 48 kenttämittauksen sähkönjohtavuuden ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ruutu- ja janakaaviot (mediaani, keskiarvo  $x$ , kvartiilit ja maksimit) kaikista mittauspisteistä. Järjestelmässä ei havaita selkeitä muutoksia mittauspisteiden välillä, mutta ojapisteissä (1–4 ja 17) havaitaan muutamia korkeampiarvoisia mittauksia.

Vuoden 2020 aikana saaduissa tuloksissa on havaittavissa selkeitä viitteitä, että biohiilet soveltuvat paremmin metallipitoisuuksien vähentämiseen hulevedestä kuin kontrollina käytetty sepeli. Vastaavanlaisia tuloksia biohiilen kyvyllä puhdistaa metalleja on havaittu myös muissa tutkimuksissa. Koska biohiilet olivat olleet jo edeltävän vuoden käytössä, on tällä voinut olla heikentävää vaikutusta tuloksiin. Hulevesitapahtumien aikaan tehdyissä näytteenotoissa biohiilien puhdistuskyky erottui vielä korkeammilla puhdistustuloksilla verrattuna sepelikontrolliin. Kohteen jatkokäyttöä suunnitellen metallitutkimuksia olisikin hyvä tehdä erityisesti hulevesitapahtumien aikaan, jolloin hulevedessä on todennäköisesti korkeammat metallimäärät. Tällöin materiaalien puhdistustuloksia ja niiden eroavaisuuksia saadaan huomattavasti paremmin esille.

## HAPPI

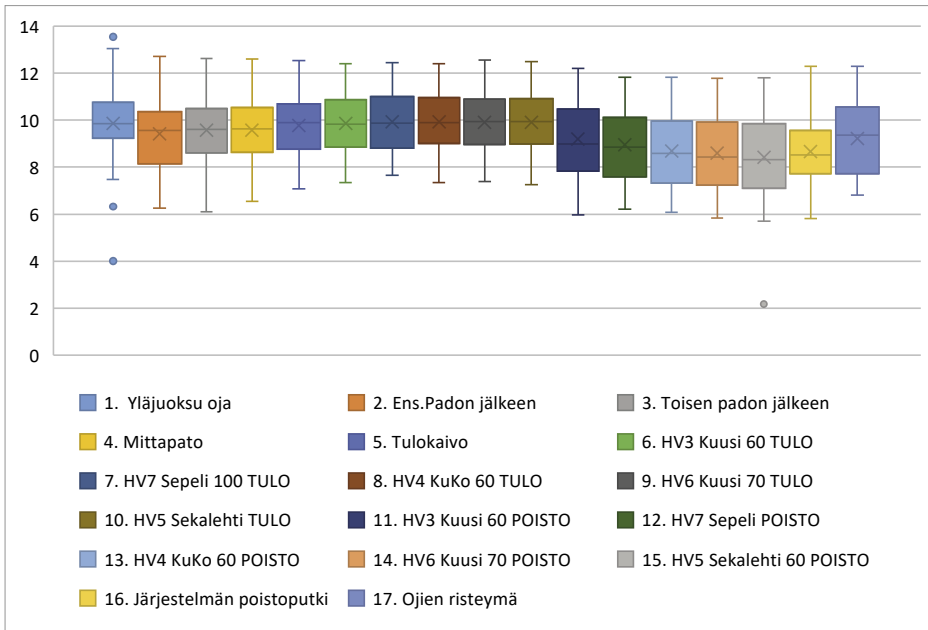
Happipitoisuuden tarkkailulla saatetaan saada viitteitä vedessä tapahtuvista happea kuluttavista prosesseista. Nämä prosessit voivat olla kemiallisia tai biologisia. Pitkäjärven järjestelmässä on mahdollista, että suodatinmateriaaleissa tai kasettisäiliössä alkaisi tapahtua esimerkiksi tyypeä hajottavaa mikrobitoimintaa, joka puolestaan kuluttaisi happea toiminoissaan. Erityisesti kuormittavien typpifraktioiden, kuten ammoniumtyypen, muuntaminen muiksi tyypen olomuodoiksi on hyväksi alapuolisille vesistöille. Liuenneen hapen pitoisuutta tarkasteltiin näytteenotoin sekä kenttämittarilla molempina vuosina, mutta virtaamaongelmien takia vuoden 2019 tuloksia ei tarkastella tässä julkaisussa. Näytteenotoissa (kuva 12) tulokaivosta havaitaan korkeimpia tuloksia, jotka laskevat suodatinkaivoille mentäessä.



**KUVA 12.** Vuoden 2020 happinäytteenottojen tulokset mg/l. Molemmilla näytteenotokerroilla happipitoisuudessa havaitaan hieman laskevia pitoisuuksia.



Myös kenttämittarin tuloksissa (kuva 13) havaitaan hapen osalta samanlainen muutos. Siirryttäessä suodatinkaivojen tulovesistä poistovesille happipitoisuudessa havaitaan alenemaa. Tämä viittaisi siihen, että suodatinkaivoissa tapahtuu happea kuluttavia prosesseja, kuten mikrobitoimintaa. Tarkempia selvityksiä kuitenkin vaadittaisiin, jotta voitaisiin tunnistaa, mitä mikrobitoimintaa järjestelmässä ja erityisesti kaivoissa tapahtuu. Esimerkiksi luomalla halutuille typenpoistobakteereille soveltuvampi ympäristö saatettaisiin järjestelmän typenpoistoa saada tehostettua. Huky-hankkeessa mikrobitoiminnan tarkempaa tarkastelua ei tehty.

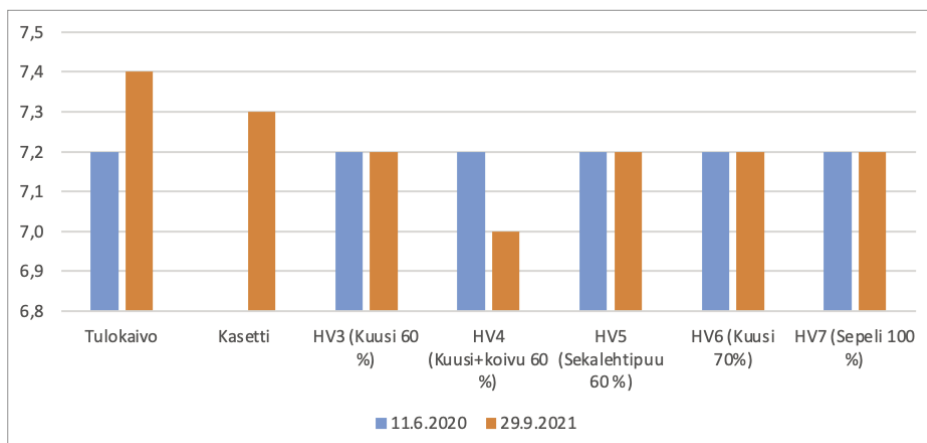


**KUVA 13.** Vuonna 2020 tehtyjen 48 kenttämittauksen happipitoisuuden (mg/l) ruutu- ja janakaaviot (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit ja maksimit) kaikista mittauspisteistä. Kaikissa suodatinkaivoissa nähdään noin 1 mg/l vähenemä, joka viittaisi siihen, että suodatintatjassa tapahtuu happea kuluttavia prosesseja.

Molemmista tuloksista havaitaan pieniä viitteitä siitä, että biohiilissä tapahtuisi hieman enemmän happea kuluttavia prosesseja kuin sepelikontrollissa. Tällaisia prosesseja on useita, mutta kohteen muita tuloksia huomioiden on mahdollista, että esimerkiksi tyypeä kuluttavat bakteerit käyttävät happea. Voi kuitenkin myös olla, että happi yksinkertaisesti vain siirtyy vedestä ilmakehään. Asian varmistamiseksi järjestelmästä ja erityisesti suodatintateriaaleista voisi tehdä tarkempia tutkimuksia hapen reittien selvittämiseksi.

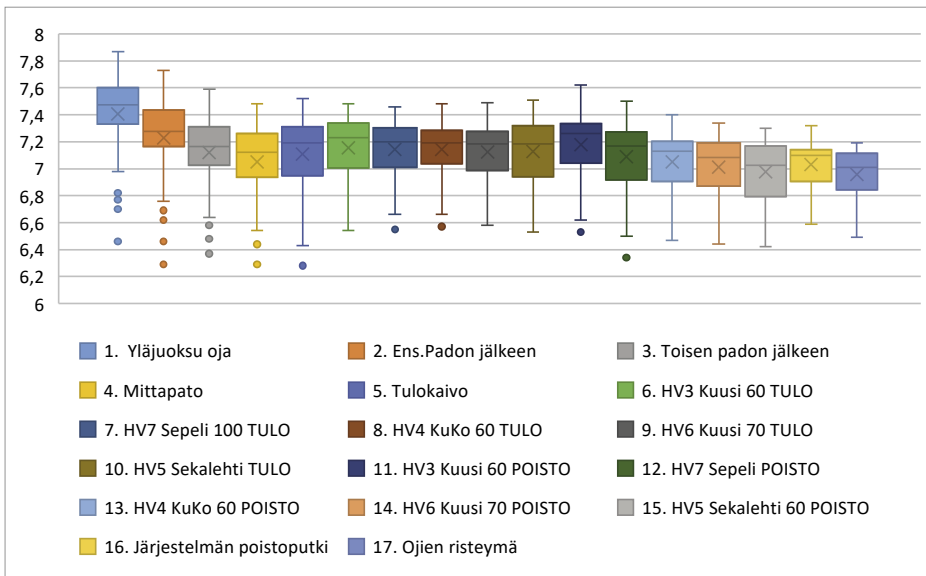
## HAPPAMUUS

Happamuus voi vaikuttaa esimerkiksi hulevedessä tapahtuviin prosesseihin, kuten metallien liukoisuuteen sekä mikrobitoiminnan aktiivisuuteen. Kuten happipitoisuuttakin, tarkasteltiin myös pH-arvoa näytteenotoin ja kenttämittauksin. Näytteenotoissa (kuva 14) tulokset ovat hyvin samanlaisia kaikissa pisteissä, eikä selviä eroavaisuuksia kaivojen välillä havaita. Toisella näytteenottokerralla yläjuoksulta havaitaan hieman korkeampia lukemia kuin suodatinkaivoista.



**KUVA 14.** Vuoden 2020 näytteenottojen happamuuden tulokset. 29.9.2020 tehdyssä näytteenotossa havaitaan hieman laskua tuloveteen verrattuna.

Kenttämittausten suuremmissa otantamäärässä muutoksia havaitaan selkeämmin (kuva 15). Selvästi korkeimmat pH-arvot havaitaan yläjuoksun pisteestä, josta veden happamuus laskee tasaisesti järjestelmän läpi kulkiessaan noin 0,4 pH-yksikön verran. Suodatinkaivoissa (pisteet 11–15) korkeimmat arvot havaitaan kaivon HV3 poistosta, mutta ne ovat vain noin 0,1 pH-yksikön korkeammat kuin muissa kaivoissa. Monitorointiasemilla havaittu happamuus on samanlainen kuin kenttämitattu, jossa suodatinkaivojen jälkeisestä pisteestä havaitaan hieman pienempiä happamuusarvoja. Suurien hulevesitapahtumien aikaan kuitenkin arvojen vaihtelu on suurempaa käsittelemättömän veden tuloksissa.



**KUVA 15.** Vuonna 2020 tehtyjen 48 kenttämittauksen pH-arvon ruutu- ja janakaaviot (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit ja maksimit) kaikista mittauspisteistä. Happamuus laskee yläjuoksun mittapisteeltä noin 0,4 pH-yksikköä järjestelmän purkuputkelle.

Vaikka kaivojen välillä on muutoksia, ovat ne silti pieniä eikä niistä voida erotella selviä eroja kaivojen toiminnoissa. Suodatinkaivojen korkein happamuuden keskiarvo 7,18 havaitaan kaivossa HV3 (Kuusi 60 %) ja matalin 6,99 kaivossa HV5 (Sekalehti 60 %). Eron ollessa vain alle 0,2 pH-yksikön voidaan eroavaisuutta pitää hyvin pienenä. Happamuuden seuraaminen on silti tärkeä vedenlaadullinen parametri, jota on hyvä seurata erilaisten puhdistusprossien vuoksi.

## PAH-YHDISTEET

Vuoden 2020 monitorointijakson loppupuolella haluttiin myös tarkastella hulevedessä mahdollisesti liikkuvia PAH-yhdisteitä ja sitä, irtoaako niitä suodatinmateriaaleista. Näytteenottopisteiksi valittiin suodatinkaivojen poistovesien lisäksi tulokaivo sekä hulevesikasettien jälkeinen piste. Vesistä analysoitiin vain yleisiä PAH-yhdisteitä ja näytteet lähetettiin analysoitavaksi ulkopuoliseen akkreditoituun laboratorioon. Analyyseistä vastasi ALS Finland Oy. Missään näytteenottopisteessä ei havaittu PAH-yhdisteiden määritysrajoja ylittäviä pitoisuuksia. Taulukossa 8 on esitetty näytteenotossa tarkastellut PAH-yhdisteet.

**TAULUKKO 8.** 11.11.2020 tehdyssä näytteenotossa tarkastellut PAH-yhdisteet. Yhdisteissä ei havaittu määrittäysrajoja ylittäviä määriä (ALS Finland 2020).

Tarkastellut PAH-yhdisteet	
Naftaleeni	Bentso(a)antraseeni
Asenaftyleeni	Kryseeni
Asenaftteeni	Bentso(b)fluoranteeni
Fluoreeni	Bentso(k)fluoranteeni
Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni
Antraseeni	Indeno(123cd) pyreeni
Fluoranteeni	Bentso(ghi)peryleeni
Pyreeni	Dibentso(ah)antraseeni

Vaikka kyseisessä 11.11.2020 tehdyssä näytteenotossa ei havaittu PAH-yhdisteitä, on mahdollista, että PAH-yhdisteitä on joskus ollut hulevedessä. Esimerkiksi biohiilissä voi olla pienehköjä määriä PAH-yhdisteitä, jotka kulkeutuvat vesistöihin erityisesti käyttöönoton yhteydessä. Nämä pitoisuudet ovat todennäköisesti lienneet vuoden 2019 aikana.

## YHTEENVETO

Vuoden 2019 alkuvaikeuksien jälkeen Pitkäjärven hulevesien suodatinjärjestelmä saatiin vuonna 2020 muutostöiden avulla kuntoon, ja näin kohteessa pystyttiin suorittamaan suodatinmateriaalitestejä ja monitorointitoimintaa. Erityisesti virtaamien tasaiseksi saaminen rinnakkaisten suodatinkaivojen välille oli tärkeää vertailukelpoisten tulosten saamiseksi. Vaikka Huky-hankkeessa oli sekä koronaviruspandemian että virtaamaongelmien tuomia haasteita, saatiin järjestelmän avulla tuloksia suodatinmateriaalien toimivuudesta. Erityisesti sepelikontrollin erottuminen useiden parametrien osalta biohiiltä sisältäneistä kaivoista tukee hyvin biohiilien soveltuvuutta hulevesien puhdistukseen. Metallien osalta tulokset olivat lupaavia, joissa sepelikontrolli näkyi heikoiten metalleja puhdistavana kaivona. Kirjallisuus tukee tätä havaintoa hyvin, ja biohiilillä on todistettu olevan kyky vähentää vesissä olevia metallipitoisuuksia esimerkiksi hiekkasuodatukseen verrattuna. Myös kenttämitattujen yleisien vedenlaatuparametrien, kuten sameuden ja happipitoisuuden, osalta sepelikontrolli erottuu biohiilistä. Matalampi happipitoisuus biohiilikaivoissa viittaisi siihen, että biohiilessä tapahtuu happea kuluttavia prosesseja, kuten mikrobitoimintaa.

Havainnoista huolimatta tarkempia tutkimuksia vaadittaisiin tulosten varmentamiseksi ja tarkentamiseksi. Esimerkiksi selviä jatkuvia eroja biohiilien välille ei saatu osoitettua, vaikka kaikki biohiilikaivot sisälsivät eri materiaaleista valmistettua biohiiltä. Tähän kuitenkin on todennäköisesti vaikutusta sillä, että suodatinmateriaalit olivat olleet jo vuoden käytössä

ennen kuin vasta vuonna 2020 niiden puhdistustehoa päästiin tarkkailemaan kunnolla muutostöiden jälkeen. Tällöin biohiilien paras toimintakyky on saattanut jo hävitä ja materiaalit kyllästyneet muun muassa metalleilla sekä ravinteilla, vaikka ne olivat olleet liian tiiviin silttikangaspussin sisällä.

Uusi koesarja olisi hyödyllistä tehdä tuoreilla biohiilillä, mutta Huky-hankkeessa tähän ei riittänyt aikaa eikä resursseja. Myös biohiilistä tarkempien lisätietojen kerääminen, kuten tarkat tuotetiedot ja kaikkien materiaalien luotettava ominaispinta-ala, on oleellista kokeiden tulosten tulkintaa varten. Lisäksi kokeita ja näytteenottoja olisi hyvä painottaa hulevesita-pahtumien aikaan, jolloin hulevedessä riittää puhdistettavia aineita eroavaisuuksien esille saamiseksi. Tämä voi kuitenkin olla aikataulullisesti haastavaa toteuttaa. Kokemusten ja tulosten perusteella voidaan todeta, että Pitkäjärven järjestelmästä on saatu säädettävä ja monipuolinen ympäristö, jossa voidaan tehdä rinnakkaistutkimusta viidellä erillisellä suodatinmateriaalilla ja säädettävillä tulovirtaamilla. Järjestelmän käyttöä ja monitorointia on hyvä muokata ja soveltaa tehtävän tutkimuksen tavoitteiden ja resurssien mukaisesti. Järjestelmän jatkokäyttöä, käyttöönottoa ja huoltotoimenpiteitä on kuvattu tämän julkaisun artikkelissa ”Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmä – kohteen huolto ja jatkokäyttö”.

## LÄHTEET

ALS Finland Oy, 2020. 11.11.2020 suoritettu näytteenotto. Analyysiraportti 28415–07 Xamk Huky-hanke. Tulokset toimitettu 25.11.2020.

Metropolilab, 2020a. 11.6.2020 suoritettu näytteenotto. Testausseloste 2020–15657. Tulokset toimitettu 14.7.2020.

Metropolilab, 2020b. 29.9.2020 suoritettu näytteenotto. Testausseloste 2020–25140. Tulokset toimitettu 12.10.2020.

Riktvärdesgruppen 2009: Förslag till riktvärden för dagvattenutsläpp. Regionala dagvatten nätverket i Stockholms län. Regionplane- och trafikkontoret. Stockholms läns landsting.

Valtioneuvoston asetus (1022/2006, 868/2010) vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista. Annettu 23.11.2006 ja muutos annettu 7.10.2010.

# PITKÄJÄRVEN HULEVESIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ – HUOLTO JA JATKOKÄYTTÖ

Aki Mykkänen

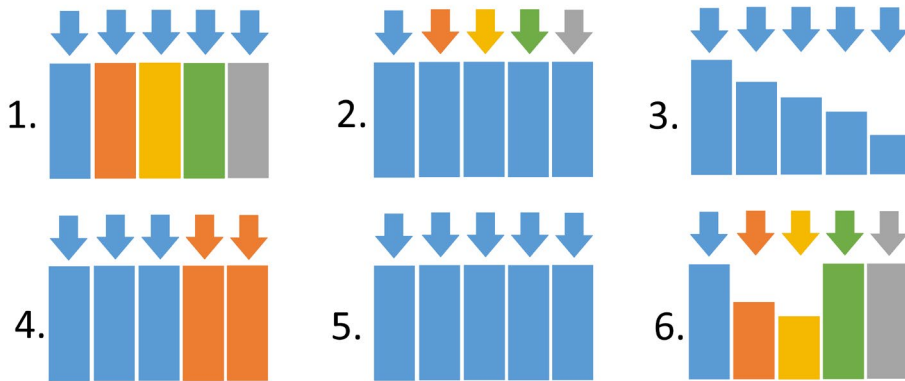
Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmä on Huky-hankkeen aikana kehittynyt paljon. Erityisesti säädettävät kaivokohtaiset tulovirtaamat ovat täysin hankkeen aikana muodostunut ominaisuus, joka mahdollistaa kohteessa monipuolisempaa tutkimus- ja kehittämistoimintaa. Lisäksi järjestelmästä ja sen käyttämisestä on kerätty paljon tietoa ja kokemusta, joiden avulla tulevien tutkimus- ja kehittämiskokonaisuuksien suunnittelua ja toteutusta voidaan helpottaa. Lopullisten kokeiden kokoonpano ja toteutus voidaan säätää käyttäjän tarpeiden ja tavoitteiden mukaisesti. Uusia koesarjoja aloittaessa on kuitenkin hyvä huomioida järjestelmän huoltamiseen ja käyttöön liittyviä asioita, jotta kokeiden toteuttaminen on mahdollisimman ongelmaton ja luotettava.

## KOEASETELMA

Vuoden 2020 muutostöiden avulla järjestelmän hyödyntämisestä tuli huomattavasti monipuolisempaa säädettävien tulovesiventtiilien avulla. Aikaisemmin suodatinkaivojen tulovesimäärä oli täysin painovoimaisen hulevesivirtaaman mukainen, jolloin vesi jakautui epätasaisesti eikä sen tarkkaa määrää voitu tietää. Venttiilien avulla käyttäjä voi säätää suodatinkaivot haluttuun virtaamaan, jolloin ne pysyvät tasaisina koko tutkimuskauden ajan tuloveden riittäessä. Sama hallittava vesimäärä rinnakkaiselle viidelle kaivolle on erityisen tärkeää tulosten vertailtavuuden takia. Luotettavien tulosten saamiseksi koeasetelmien sekä niille tulevan veden ja sen määrän tulisi olla mahdollisimman identtisiä, ellei kokeessa testata erilaisten virtaamien vaikutusta.

Säädettävät tulovesiventtiilit mahdollistavat myös järjestelmässä kokeita, jotka eivät olleet mahdollisia aikaisemmalla kokoonpanolla. Sen sijaan, että muutoksia tehtäisiin pelkästään muokkaamalla suodatinmateriaaleja, voidaan muutostöiden ansiosta asetelmaa muokata myös säätämällä kaivokohtaista tulovesimäärää. Virtaamamäärää on myös helppo ja nopea vaihtaa, jolloin koeasetelmaa voidaan muokata jopa päivätasolla. Sen sijaan suodatinmateriaalien vaihtaminen on usean päivän kestävä prosessi, jossa tarvitaan työkoneita apuna. Kuvassa 1 on havainnollistettu joitakin esimerkkejä mahdollisista koeasetelmista, joilla järjestelmässä voisi tehdä kokeita.





**KUVA 1.** Esimerkkejä Pitkäjärven hulevesijärjestelmässä käytettävistä koeasetelmista, jotka voidaan saavuttaa säätämällä tulovirtaamamääriä sekä vaihtamalla suodatinmateriaaleja ja niiden patjapaksuutta (Kuva Aki Mykkänen).

Kuvassa 1 oleva koeasetelma 1 edustaa Huky-hankkeessa käytettyä koeasetelmaa, jossa suodatinkaivoihin asetetaan erilaisia suodatinmateriaaleja. Niille virtaa sama määrä vettä. Koeasetelmassa 2 suodatinmateriaalit pidetään täysin rinnakkaisina, mutta puhdistustulosten eroja sen sijaan tarkastellaan vaihtelemalla tulovirtaamamäärää säädettävien venttiilien avulla. Koeasetelmassa 3 suodatinkaivoja tutkitaan rinnakkaisilla materiaaleilla ja virtaamalla, mutta eri patjapaksuuksilla voidaan tarkastella suodatinmateriaalimäärän vaikutusta puhdistustulokseen. Koeasetelmassa 4 järjestelmässä käytetään kahta täysin toisistaan riippumatonta asetelmaa, joissa toisessa on kolme rinnakkaista ja toisessa kaksi. Koeasetelmassa 5 kaikkien kaivojen materiaalit ja tulovirtaamat ovat identtisiä eli rinnakkaisia. Tällöin saadaan erityisen tarkkaa kuvaa yhden tietyn materiaalin toiminnasta. Koeasetelmassa 6 jokainen kaivo on oma itsenäinen kokeensa. Nämä asetelmat ovat vain esimerkkejä siitä, minkälaisia kokeita järjestelmässä voidaan tehdä. Lopullinen koeasetelma on täysin käyttäjän päätettävissä huomioiden, että järjestelmälle riittää tulovettä tasaisen virtaamaan takaamiseksi.

Toiminnan alettua erityisesti suodatinmateriaalien alkukäyttäytymiseen on hyvä kiinnittää huomiota. Esimerkiksi biohiilestä voi irrota alussa huomattavia määriä pientä biohiilipölyä. Tämän pölyn muodostumista voidaan estää esipesemällä hiili ja asentamalla järjestelmän poistoputkelle kerääjäpussi. Pussi on kuvattu myöhemmin tässä artikkelissa. Myös suodatinmateriaalista mahdollisesti liukenevia aineita on hyvä tarkastella heti niiden käyttöönoton jälkeen. Pitoisuudet voivat laimentua tai liueta kokonaan ajan myötä, jolloin mahdollisesti irtoavien haitta-aineiden tarkastelu olisi hyvä toteuttaa välittömästi. Lisäksi tämän avulla voidaan tarkastella, miten suodatinmateriaalien toiminta muuttuu ajan myötä. Esimerkiksi jotkin materiaalit voivat kyllästyä ravinteilla tai haitta-aineilla, jolloin ne eivät toimi niille tarkoitettulla tavalla.

## HUOLTOTYÖT JA SUODATINPATJOJEN RAKENTAMINEN

Järjestelmän huoltotyöillä tarkoitetaan toimia, joita on hyvä tehdä ennen tutkimuksen aloittamista. Tämä sisältää puhdistustoimia, aikaisempien suodatinmateriaalien poistoja sekä uusien materiaalien sijoittamista kaivoihin. Huoltotyöt on aloitettava aikaisempien suodatinmateriaalien poistamisella kaivoista, mikäli niitä ei ole aikaisemman käyttöjakson päätteeksi poistettu. Käytännössä tämä tarkoittaa alueen aitaamista sekä työkoneiden käyttöä (kuva 2). Huoltotöiden ajaksi järjestelmän tulokaivo tukitaan niin, että kaikki Karilan valuma-alueelta tuleva vesi ohjataan settipadon yli suoraan ylijooksuun. Tällöin huoltotyöt voidaan toteuttaa kuivissa kaivoissa. Järjestelmää on myös hyvä puhdistaa muun muassa tyhjentämällä tulokaivon ja hulevesikasettien pohjalle mahdollisesti muodostuneita sedimenttikerroksia pumppuauton avulla.



**KUVA 2.** Turvallisuuksyistä suodatinkaivot on aidattava huoltotöiden ajaksi. Huoltotöissä tarvitaan työkoneita kaivojen betonikansien ja suodatinmateriaalimassojen siirtämiseksi (kuva Aki Mykkänen).

Järjestelmän yläjuoksulla olevia suotopatoja tulee myös huoltaa. Käytännössä tämä tarkoittaa patojen kivirakenteiden tarkastelua ja tarvittaessa uudelleenkaasamista patorakenteeksi, mikäli esimerkiksi routa on siirtänyt kiviä niin, ettei vesi enää suotaudu patojen läpi, vaan virtaa niiden yli. Huky-hankkeen aikana tämä toteutettiin vuoden 2020 muutostöiden aikana, jolloin myös patojen rakennetta muutettiin hieman lisäämällä patoon suurempia

kiviä pidättämään patorakennetta paremmin paikallaan (kuva 3). Patojen päälle kertyi myös roskia, kuten virtaaman mukana tulleita oksia. Patojen kunnon varmistamiseksi roskat tulisi poistaa, jotta patojen läpivirtaama ei heikkene.



**KUVA 3.** Suotopato ennen (vasen) korjauksia ja niiden jälkeen (oikea) vuoden 2020 muutostöiden yhteydessä. Talven jäljiltä pato on romahtanut ja vesi virtaa patorakenteiden yli. Patojen rakenteet uusittiin muun muassa suurentamalla kivikokoa, jolloin rakenteet pysyvät paremmin yhdessä (Kuva Aki Mykkänen).

Huoltotöiden aikana putkistojen ja kaivojen kuntoa on tarkasteltava mahdollisten vaurioiden varalta. Huky-hankkeessa tämä toteutettiin tarkastamalla tyhjätkäivot mahdollisten halkeamien löytämiseksi sekä esimerkiksi kaivamalla suodatinkaivojen poistoputket esille mahdollisten tukkeutumisten estämiseksi (kuva 4). Kaivojen ollessa tyhjinä myös mahdollisia muutoksia on helpompi toteuttaa.





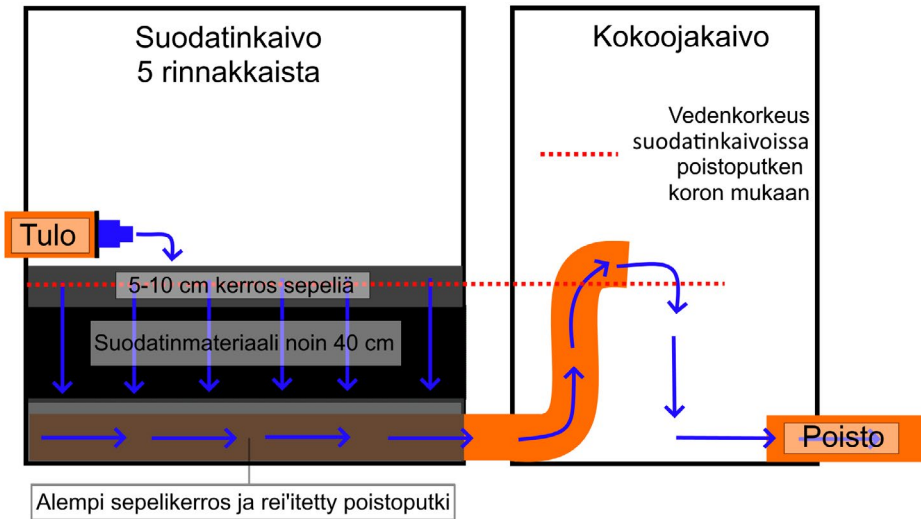
**KUVA 4.** Kannettomasta ja suodatinmateriaalittomasta kaivosta poistoputken kunto- tarkastus muutostöiden yhteydessä (kuva Aki Mykkänen).

Järjestelmää on myös hyvä ”huuhdella” kaivojen ollessa tyhjinä ohjaamalla kaikki mahdollinen vesi suodatinkaivojen läpi, jolloin virtaama huuhtoo mukanaan mahdollisesti kertynyttä likaa ja roskia. Tätä varten koko järjestelmän poistoputkelle on hyvä asentaa kerääjäpussi, jonka avulla valtaosa irtoavasta aineksesta saadaan kiinni ennen kuin se voi laskea Pitkäjärveen (kuva 5). Pussi poistetaan suodatinmateriaalien käyttöönoton myötä, jottei se padota vettä kokoojakaivoon ja näin estä mittaus- ja näytteenottoa.



**KUVA 5.** Silttikankaasta tehty kerääjapussi järjestelmän poistoputkella. Pussilla saadaan kiinni huoltotöiden aikana irtoava lika ja roskat. Pussi poistetaan huoltotöiden jälkeen, koska se padottaa vettä merkittävästi (kuva Aki Mykkänen).

Huoltotoimenpiteiden ja mahdollisten muutostöiden jälkeen suodatinkaivoihin voidaan rakentaa suodatinpatjat. Huky-hankkeessa tämä toteutettiin niin, että kaikkien kaivojen pohjalla pidettiin poistoputken peittävää sepelikerrosta estämään tukkeutumista. Tämän kerroksen päälle kasattiin noin 1,5 m<sup>3</sup> (patjapaksuus 40 cm) suodatinmateriaalia, jonka päälle lisättiin 5–10 cm:n kerros sepeliä. Päälimmäisen sepelikerroksen tarkoituksena on pitää Huky-hankkeen tapauksessa biohiili paikoillaan, koska se muuten saattaa kellua. Kelluessaan biohiili pääsee liikkumaan, jolloin se voi hioutua pienemmäksi biohiileksi ja vaikuttaa täten tuloksiin. Suodatinkerroksen tulee olla tuloventtiilin alapuolella, jotta sitä voidaan käydä myöhemmin säätämässä. Koska kokoojakaivojen poistoputkia on korotettu, nousee veden pinnankorkeus niin, että se peittää pelkästään suodatinmateriaalikerroksen eikä päällistä sepelikerrosta. Tällä varmistetaan suodatinmateriaalien veden alla pysyminen ja kuivat työskentelymahdollisuudet kaivossa. Kuvassa 6 on havainnollistettu kaivoihin Huky-hankkeessa asennetun koearkistuksen rakennetta ja veden pinnankorkeutta. Kaivoihin voidaan kuitenkin rakentaa erilaisia käyttäjän tarpeiden ja tavoitteiden mukaisia suodatinmateriaalikerroksia. Myös veden korkeutta saadaan säädettyä vaihtamalla kokoojakaivoon uudet poistoputket.



**KUVA 6.** Havainnekuva Huky-hankkeen aikana käytetyn koeasetelman rakenteesta. Veden pinnankorkeus määräytyy poistoputken koron mukaan niin, että päällimmäinen sepelikerros ei ole veden alla. Veden virtaussuunta esitettyinä sinisillä viivoilla (kuva Aki Mykkänen).

Huky-hankkeessa käytetty koeasetelma koettiin hyväksi erityisesti sen helppokäyttöisyyden ja varmuuden takia. Huomioitavaa on kuitenkin kaikkiin kaivoihin lisätyt sepelikerrokset, joilla voi olla vaikutusta puhdistustuloksiin. Hukyssä jokaisessa suodatinmateriaalikerroksessa oli jo valmiiksi sepeliä, jolloin ylä- ja alasepelikerroksia ei nähty ongelmallisina. Tämä on kuitenkin hyvä huomioida, mikäli kaivoissa halutaan tutkia esimerkiksi pelkkää puhdasta biohiiltä. Tällöin materiaalien paikallaan pitämiseen olisi hyvä keksiä uusi ratkaisu, esimerkiksi veteen reagoimattomasta materiaalista tehdyt painot tai verkkopussi. Koeasetelman rakennetta sekä toteuttamista kuitenkin tulee aina tarkastella tapauskohtaisesti.

## VIRTAAMAMITTAUKSET

Laadukkaat ja luotettavat virtaamamittaukset ovat myös tärkeässä osassa hyvän tulostulkinnan saamiseksi. Huky-hankkeen aikana käytetty astiamittaus osoittautui riittäväksi keinoksi saada virtaustietoa, mutta koska se vaatii aina ihmisen tekemää mittausta, jää valtavat määrät virtaamatieta keräämättä. Erityisesti yöllä sekä hulevesitapahtumien aikaan tapahtuvat äkilliset muutokset virtaamissa jäävät tarkastelusta havaitsematta. Tätä voisi korjata automatisoidulla virtaamamittauksella. Erityisesti myös suodatinkaivojen tulosuuttimiin esimerkiksi Ristiinan biosuodatusjärjestelmässä käytettävän ultraäänivirtaamamittareiden asentaminen kasvattaisi valtavasti kerättyä virtaamatieta. Virtaamamittareiden avulla myös kaivojen rinnakkaisuutta voitaisiin seurata helpommin, koska virtaaman tasainen jakautuminen viiden kaivon välille on äärimmäisen tärkeää kokeiden luottavuuden kannalta. Virtaamamittarit olisivat myös turvassa säältä ja vandalismilta suodatinkaivojen sisällä.



Myös ojissa käytettäviä Thomson-virtaamapatoja olisi hyvä kehittää. Automatisoidun virtaamatiedon kerääminen patorakenteesta on huomattavasti vaikeampaa kuin järjestelmän sisältä putkivirtaamista, mutta ei mahdotonta. Tärkeämpää olisi kuitenkin suurentaa patojen maksimivetoisuutta kasvattamalla niiden kokoa. Tällöin myös suurien syysateiden aikaan virtaamatietoa saataisiin kerättyä helpommin. Huky-hankkeen aikana käytetyistä vanerista ja kestopelteistä rakennetuista Thomson-padoista tulisi tehdä kiinteitä rakenteita niiden kestävyuden varmistamiseksi. Järjestelmän poistouomalle vuonna 2020 rakennettu virtaamapato vääntyi lähes välittömästi veden massan alla, mutta pysyi pystyssä koko vuoden 2020 ajan. Pato olisi hyvä korvata kiinteällä rakenteella, koska se myös estää takaisinvirtaaman järjestelmään. Kiinteä rakennelma voitaisiin toteuttaa esimerkiksi maa-aineksella paikallaan pidettävistä metallilevyistä niin, että siinä olisi V-aukko, joka helpottaisi virtaamamittausten tekoa. Tilanteen salliessa rakenteen voisi myös toteuttaa esimerkiksi betonista, jolloin esimerkiksi riski maa-aineksen huuhtoutumisesta suurien virtaamien myötä poistuisi.

## YHTEENVETO

Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmä on osoittautunut monipuoliseksi ympäristöksi hulevesien suodatinmateriaalien tutkimus- ja kehittämistoimintaa varten. Järjestelmä mahdollistaa monien erilaisten koeasetelmien hyödyntämisen samanaikaisesti. Järjestelmää voi myös muokata käyttäjän ja tehtävän toiminnan tarpeiden sekä tavoitteiden mukaisesti. Viidessä rinnakkaisessa suodatinkaivossa voidaan myös tarvittaessa ajaa esimerkiksi kahta täysin itsenäistä koetta samanaikaisesti, kun kaivot on jaettu eri kokeiden välille.

Uuden käyttöjakson alkaessa järjestelmälle on hyvä toteuttaa tarvittavia puhdistus- ja huoltotoimenpiteitä, joilla toimintaa saadaan varmistettua. Uuden koejakson alkaessa kaikki kaivot ja patorakenteet on hyvä puhdistaa mahdollisesti kertyneestä liasta ja sedimentistä, millä voidaan taata mahdollisimman hyvä koeasetelma. Eryitystä huomiota on kiinnitettävä suodatinpatojen rakentamiseen. Väärin toteutettu suodatinkerros voi estää virtaamia ja johtaa kaivojen välisiin epätasaisuuksiin, jolloin kokeiden luotettavuus kärsii. Panostamalla kokeiden suunnitteluun ja käyttämällä järjestelmää oikein saadaan Pitkäjärven koeympäristöllä aikaiseksi laadukasta hulevesitutkimusta monipuolisessa ja todellisen mukaisessa T&K-ympäristössä.



# RISTIINAN VANHAN KAATO- PAIKAN SUOTOVESIEN BIOSUODATUSLAITTEISTO – TOIMINTA JA MONITOROINTI

Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen & Juha-Pekka Saarelainen  
& Sari Hämäläinen

Suomessa vanhat kaatopaikat ovat yleisiä pintavesien pistepäästölähteitä, joilla voi olla merkittävä vaikutus alapuolisiin vesistöihin. Haasteita kaatopaikkojen aiheuttamien kuormien määrittämiselle lisää se, että kaatopaikan sisältö sekä esimerkiksi suotovesien muodostumismäärät ja virtaamat voivat olla heikosti tiedossa. Suotovesien muodostumismäärät eivät välttämättä ole suuria, mutta ne voivat olla pitoisuuksiltaan hyvin väkeviä. Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristönä ja Huky-hankkeen toisena monitoroitavana kohteena toimi Ristiinan vanha kaatopaikka sekä sinne Mikkelin kaupungin rakennuttama lavapohjainen biosuodatuslaitteisto, jonka pääasiallisena tavoitteena on vähentää kaatopaikan suotoveden korkeita ammoniumtyyppipitoisuuksia. Huky-hankkeessa tutkimusta kohteelle tehtiin vuosien 2019 ja 2020 aikana, ja tarkemmat tulokset on esitetty tämän julkaisun artikkelissa ”Ristiinan vanhan kaatopaikan biosuodatuslaitteisto – tulokset 2019–2020”.

## RISTIINAN VANHA KAATOPAIKKA

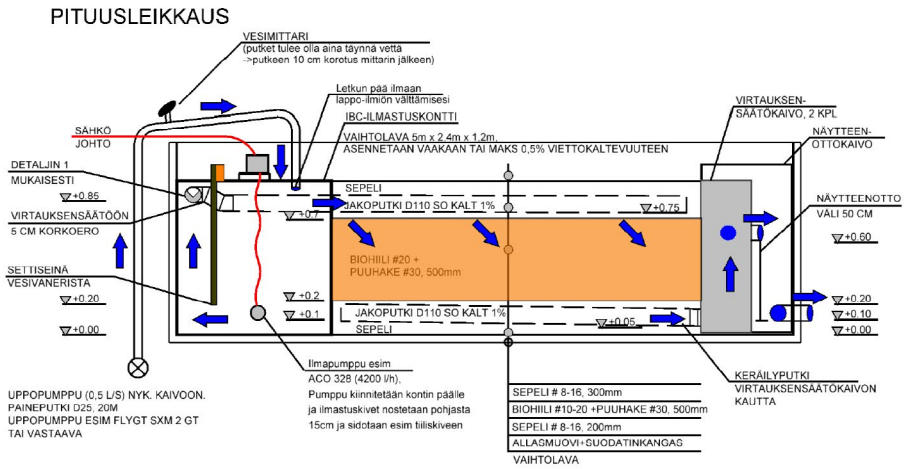
Vuonna 2007 suljettu Ristiinan kaatopaikka on hyvin tyypillinen suomalainen vanha kaatopaikka, joka sijaitsee noin kolme kilometriä Ristiinan taajaman pohjoispuolella. Ristiinan kunnan kaatopaikka vastaanotti 1974–2004 Ristiinan kunnan alueella syntyviä yhdyskuntajätteitä. Kaatopaikalle sen elinaikana sijoitetun kokonaisjättemäärän on arvioitu olevan noin 50 000–65 000 m<sup>3</sup>. Kaatopaikka on perustettu suoraan maakerrostumien päälle ilman pohjarakennekerroksia. Vuonna 1995 kaatopaikalla on vastaanotettu loppusijoitettavaa yhdyskuntajätettä noin 940 tonnia, rakennusjätettä noin 140 tonnia, ylijäämämaita noin 2100 tonnia ja kuivattua yhdyskuntajätevesilietettä noin 380 tonnia sekä lisäksi Schauman Wood Oy:n Pelloksen tehtaiden puhdistamolietettä ja kuorijätettä. Kuorijätteen vastaanottaminen on loppunut pääosin kesällä 1997. Lisäksi kaatopaikalle on otettu vastaan puu- ja metallijätettä sekä ongelmajätteitä. Puhdistamolietteen lajittaminen jätetäyttöalueen eteläosaan on loppunut vuonna 1997.

Kaatopaikalle rakennettiin 1996 suotovesien käsittelyyn juurakkopuhdistamo. Käytännössä juurakkopuhdistamoa ei ole pystytty käyttämään täysin suunnitellulla tavalla pääosin puhdistamon ja purkuojan keskinäisestä korkeusasemasta johtuen. Marraskuussa 2000 puhdistamon säätö- ja valvontamahdollisuuksia yritettiin parantaa. Suunnitelmien mukaisesti muodostuvat suotovedet ohjautuvat tarkkailukaivon kautta tasausaltaaseen. Tasausaltaasta vedet on suunniteltu ohjattavaksi altaan pohjoispuolella sijaitsevaan juurakkopuhdistamoon ja edelleen ojaston kautta Sorsalampeen, mistä edelleen Saimaan Juurisalmeen. Jätetäytön (noin 2,0 ha) päälle rakennettiin tiiviit pintarakenteet vuonna 2007, millä vähennetään sadevesien imeytymistä jätetäyttöön. Ristiina liittyi osaksi Mikkeliä vuonna 2013, jonka jälkeen kaatopaikka siirtyi Mikkelin kaupungin hoidettavaksi. Vuonna 2018 suunniteltiin kaatopaikalta tulevien suotovesien koeluontoinen pumppaamalla johtaminen alapuolisen Sorsalampeen ohi. Sorsalampea on ilmastettu syksystä 2006 lähtien sen veden laadun ja happitilanteen parantamiseksi. Koeluontoisella ohi pumppauksella halutaan selvittää, voidaanko lammen tilaa parantaa edelleen.

Vanhoilta kaatopaikoilta suotovesiä syntyy tyypillisesti noin 3–5 m<sup>3</sup>/vrk/ha, eikä Ristiinan kaatopaikka ole tästä poikkeus. Velvoitetarkkailussa kohteen suotovedet ovat laadullisesti hyvin tyypillisiä kaatopaikkavesiä. Kohonneita arvoja vedessä havaitaan kloridissa, raudassa, mangaanissa sekä erityisesti ammoniumtyypessä (NH<sub>4</sub>), jonka havaitut pitoisuudet Ristiinassa ovat olleet 100–200 mg/l. (Mikkeli 2016). Esimerkiksi sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista ammoniumtyypelle laatusuosituksiksi on annettu 0,5 mg/l. Valtioneuvoston asetuksessa vesienhoidon järjestämisessä on sen sijaan annettu liitteessä 7 pohjavedelle laatu normiksi ammoniumtyypen osalta 0,25 mg/l. Ristiinan kaatopaikan suotovedestä havaitut ammoniumtyyppipitoisuudet ovat siis erittäin korkeat.

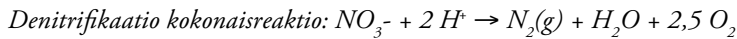
## SUOTOVESIEN BIOSUODATUSLAITTEISTO

Ristiinan vanhalle kaatopaikalle Mikkelin kaupungin investointihankkeessa (A74989) rakennettu suotovesien biosuodatuslaitteisto (kuva 1) on siirtolavalle rakennettu, erityisesti typen ja metallien poistoon optimoitu puhdistusjärjestelmä. Järjestelmässä voidaan käyttää kahden erillisen virtaamalinjan avulla kahta koeasetelmaa samanaikaisesti. Puhdistus perustuu luonnonmukaiseen nitrifikaatio-denitrifikaatioon, jossa kaatopaikan suotovedessä olevaa ammoniumtyyppiä (NH<sub>4</sub>) muunnetaan typpikaasuksi (N<sub>2</sub>) kaksivaiheisen biologisen prosessin avulla. Prosessi tapahtuu pumppaamalla suotovesi lavalle, jossa se hapetetaan (nitrifikaatio), saostuvat metallit laskeutetaan ja johdetaan bioreaktorin puuhake-biohiilikerrokseen denitrifikaatiota varten. Poistuvat vedet johdetaan kaatopaikan tasausaltaaseen. Puhdistuslaitteisto on rakennettu siirtolavan sisälle, jolloin se on helposti siirrettävissä esimerkiksi puhdistusta tai muutostöitä varten. Laitteiston suunnittelijana toimi Juha-Pekka Saarelainen (Sipti Infra Oy), ja toteutuksesta vastasi Maanrakennus Talpa Oy. Laitteisto rakennettiin kesällä 2019 ja käyttöön otettiin elokuussa 2019.

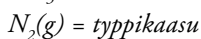
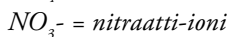
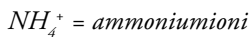


**KUVA 1.** Ristiinan vanhan kaatopaikan biosuodatuslaitteiston alkuperäinen pituusleikkaus. Veden kulku esitetty sinisillä nuolilla (Saarelainen 2019).

Järjestelmässä voidaan käyttää biohiiltä ja muita suodatinmateriaaleja suotovesien käsitteilyyn, erityisesti typenpoistoon. Typenpoisto biosuodatuskerroksessa tapahtuu luonnollisen nitrifikaatio-denitrifikaation avulla. Nitrifikaatiossa biologinen prosessi muuntaa aerobisissa oloissa ammoniumtypen ( $\text{NH}_4$ ) nitriitiksi ( $\text{NO}_2^-$ ), joka taas muuntautuu nitraatiksi ( $\text{NO}_3^-$ ). Nitrifikaation jälkeen vedelle tapahtuu denitrifikaatio, jossa nitraatti pelkistyy typpikaasuksi ( $\text{N}_2$ ). Denitrifikaatio on anaerobinen prosessi, ja se tarvitsee hiiltä toimiakseen. Järjestelmässä typenpoistoprosessi suoritetaan hapettamalla tuleva suotovesi, jolloin veteen luodaan nitrifikaatiolle soveltuva aerobinen ympäristö. Hapetettu vesi kulkee typpioptimoituihin biosuodatuskerroksiin, jossa typenpoistoprosessit alkavat. Nitrifikaatio kuluttaa vedessä olevan hapen, jolloin vesi muuttuu anaerobiseksi ja denitrifikaatioprosessi voi alkaa. Tämä tarkoittaa sitä, että teoriassa toimintaa voisi seurata tarkkailemalla suodatuskerrokselle tulevan sekä poistuvan veden sisältämän hapen pitoisuuksia. Yksinkertaistettu nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessi on kuvattu kaavalla:



jossa



Valmiissa laitteistossa (kuva 2) monitorointia tehtiin vuonna 2019 elokuusta marraskuuhun. Molemmille linjoille sijoitettiin suodatinkerros, joka koostui biohiilestä ja puuhakkeesta. Laitteistoon nostettiin vettä uoppopumpulla kaivosta, johon kaatopaikalta tulevat suotovedet kootaan ennen kuin ne lasketaan eteenpäin kaatopaikan tasausaltaaseen. Tulevan veden putkeen oli sijoitettu virtaamamittari. Tämän jälkeen vedelle suoritetaan hapetus, josta se jaetaan virtaamansäätöventtiileillä kahden linjan välille, joissa itse biosuodatus tapahtuu. Suunnitelman mukaan vesi jaetaan näiden kahden linjan välille niin, että ensimmäiselle käsiteltävästä vedestä menee 2/3 ja toiselle 1/3. Näin voitiin monitoroida saman suodatinmateriaalin toimintaa erilaisilla vesimäärillä. Käsitteilyn jälkeen vesi purkautuu näytteenottokaivosta ulos ja siitä tasausaltaaseen.

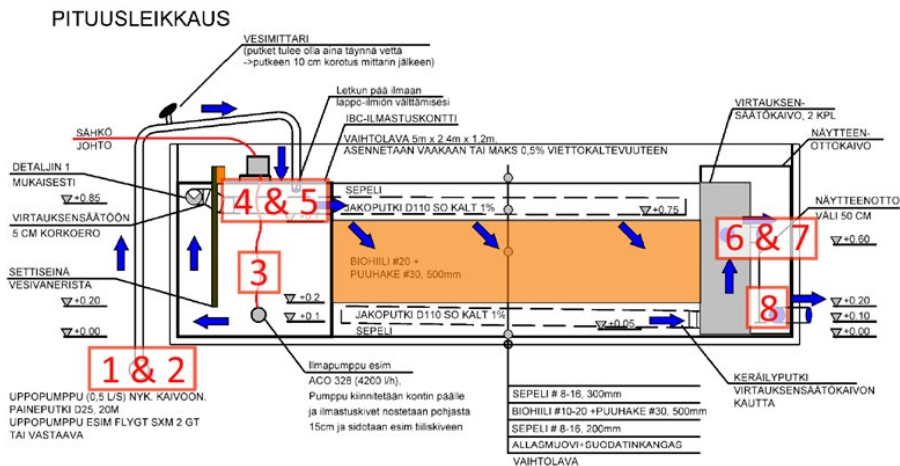


**KUVA 2.** Biosuodatuslaitteisto syksyllä 2019. Kuvassa oikealla nähtävissä tulokaivo, josta suotovesi johdetaan letkulla lavalle. Laitteiston harmaa poistoputki vasemmalla (kuva Aki Mykkänen).

Ennen suotovesien pumpaamisen aloittamista suodatinmateriaalit kyllästettiin tasausaltaan vedellä. Järjestelmälle tehtiin mittaus- ja näytteenottosuunnitelma, jonka mukaan suoritettiin virtaama- ja kenttämittauksia sekä näytteenottoja. Järjestelmästä määritettiin kahdeksan kenttämittauspistettä sekä kolme pistettä näytteenottoja varten, joilla kohteessa tapahtuvia muutoksia saataisiin kuvattua parhaiten (kuva 3 ja taulukko 1). Kenttämittauksia suoritettiin kohteista kaksi kertaa viikossa YSI ProDSS -moniparametrikenttämittarilla, jolla saatiin mitattua veden lämpötila, sähkönjohtokyky, pH, ORP, liuennut happi sekä sameus. Kenttämittausten lisäksi kohteista otettiin kuukausittain vesinäytteet ravinneanalyysiin ja muutamia kertoja vuodessa tarkempiin vesianalyysihin ulkopuoliseen, akkreditoituun laboratorioon. Virtaamamittaukset otettiin sekä tulevista että poistuvista vesistä.

**TAULUKKO 1.** Ristiinan biosuodatusjärjestelmän mittauspisteet vuonna 2019. Näytteenottopisteet merkitty (N).

Mittauspiste	Kuvaus
1	Konttijärjestelmän tulokaivon tuloputki. Vesi kerätään ämpäriin mittausta varten. Vedenlaatu ennen käsittelyä. Näytteenottopisteet merkitty (N).
2	Suotovesikaivon pohja. Vedenlaatu ennen käsittelyä.
3	Ilmastus. Vedenlaatu heti lavalle tulon ja ilmastuksen jälkeen.
4	Linja 1 tulo. Vedenlaatu heti ilmastuksen jälkeen ennen suodatusta.
5	Linja 2 tulo. Vedenlaatu heti ilmastuksen jälkeen ennen suodatusta.
6	Linja 1 poisto. Vesi kerätään ämpäriin mittausta varten. Vedenlaatu suodatuksen jälkeen. (N)
7	Linja 2 poisto. Vesi kerätään ämpäriin mittausta varten. Vedenlaatu suodatuksen jälkeen (N).
8	Näytteenottokaivon pohja. Järjestelmästä poistuvan veden laatu.



**KUVA 3.** Ristiinan biosuodatuslaitteiston kahdeksan mittauspistettä vuonna 2019 järjestelmän sivuleikkauksessa (Saarelainen 2019 mukailleen).

Toiminnan alusta asti oli selvää, että veden korkea rautapitoisuus aiheutti virtaamaongelmia tukkimalla virtaamanjakoventtiilejä sekä itse suodatinmateriaaleja. Puhdistettavan suotoveden rautapitoisuus on hankkeen aikana havaittuna keskimäärin noin 100 mg/l. Ilmastusaltaassa suuri osa vedessä olevasta raudasta hapettuu, jolloin rauta saostuu vedestä paksuna ruosteen värisenä sakkana. Saostumisessa suotoveden sisältämän raudan kahdenarvoinen ferroioni ensiksi hapettuu kolmenarvoiseksi ferri-ioniksi, minkä jälkeen



syntynyt ferrirauta hydrolysoituu ferrihydroksidihydraatiksi. Ferrimuotoinen rauta on veteen erittäin heikosti liukeneva, jolloin se voidaan poistaa vedestä esimerkiksi laskeuttamalla ja suodattamalla (Karttunen ym. 2004). Erityisesti tulopuolen altaisiin vedestä saostui huomattavat määrät paksua rautasakkaa, joka kerääntyi altain pohjalle (kuva 4). Raudan saostuminen kuluttaa myös vedessä olevaa happea, jolloin se kilpailee saatavilla olevasta hapesta typenpoistoprosessin kanssa.



**KUVA 4.** Tuloltaan pohjalle kolmen kuukauden aikana muodostunutta rautasakkaa altaan tyhjennyksen aikana (kuva Aki Mykkänen).

Syksyn aikana kohteeseen tehtiin monia pieniä muutoksia toiminnan parantamiseksi. Esimerkiksi heikosti toiminut ja jatkuvasti tukkeutuva mekaaninen virtaamamittari vaihdettiin ultraäänimittariin. Virtaamansäätöjä pyrittiin myös korjaamaan, mutta niiden rautasakalla tukkeutumista ei saatu estettyä. Tätä varten järjestelmään lisättiin kiintoaineen esipuhdistin, joka tyhjennettiin viikoittain. Lokakuun aikana puhdistustuloksien heikentymisen myötä saatiin myös viitteitä siitä, että suodatinmateriaalit olivat tukkeutuneet rautasakalla. Toiminnan lopettamisen yhteydessä myös esimerkiksi tulopumppu sekä putkisto olivat hyvin vahvasti pinttyneet rautasakalla vain kolmen kuukauden toiminnan jälkeen (kuva 5).



**KUVA 5.** Vuoden 2019 noin kolmen kuukauden jälkeisen toiminnan jälkiä. Vasemmalla ylhäällä tuloputken sisäpuoli, joka on pinttynyt rautasakalla alle puoleen halkaisijastaan. Vasemmalla alhaalla ultraäänivirtaamamittari, joka myös on sisältä vahvojen rautapinttymien peitossa. Oikealla tulopumppu, joka kolmen kuukauden käytön jälkeen on pinttynyt ruskeaksi ja käyttökelvottomaksi (kuvat Aki Mykkänen).



Toiminta lopetettiin marraskuussa 2019 ensimmäisten pakkasten aikaan. Koska järjestelmä on maanpäällinen, ei sen haluttu jäätyvän vaurioitumisriskin takia. Altaat tyhjennettiin vedestä, mutta suodatinmateriaalit jätettiin talveksi paikalleen. Suodatinmateriaalit tyhjennettiin lopulta keväällä 2020, jolloin niiden tukkeutuminen havaittiin selvästi (kuva 6). Biohiili-puuhakekerros on kerännyt itseensä huomattavat määrät rautasakkaa ja on täysin sen peitossa.



**KUVA 6.** Vuoden 2019 noin kolmen kuukauden käytön jälkeiset suodatinmateriaalit, jotka ovat selkeästi suotovedestä saostuvan rautasakan peittämiä (kuva Aki Mykkänen).

Tyhjennystöiden yhteydessä altaiden välillä ei huomattu selkeitä eroja, koska niiden virtaamamäärät olivat vaihdelleet suuresti koejakson aikana. Valtaosa sakasta oli kertynyt putkien alapuolisiin suodatinmateriaaleihin, eikä pohjakerroksissa enää havaittu suuria määriä sakkaa.

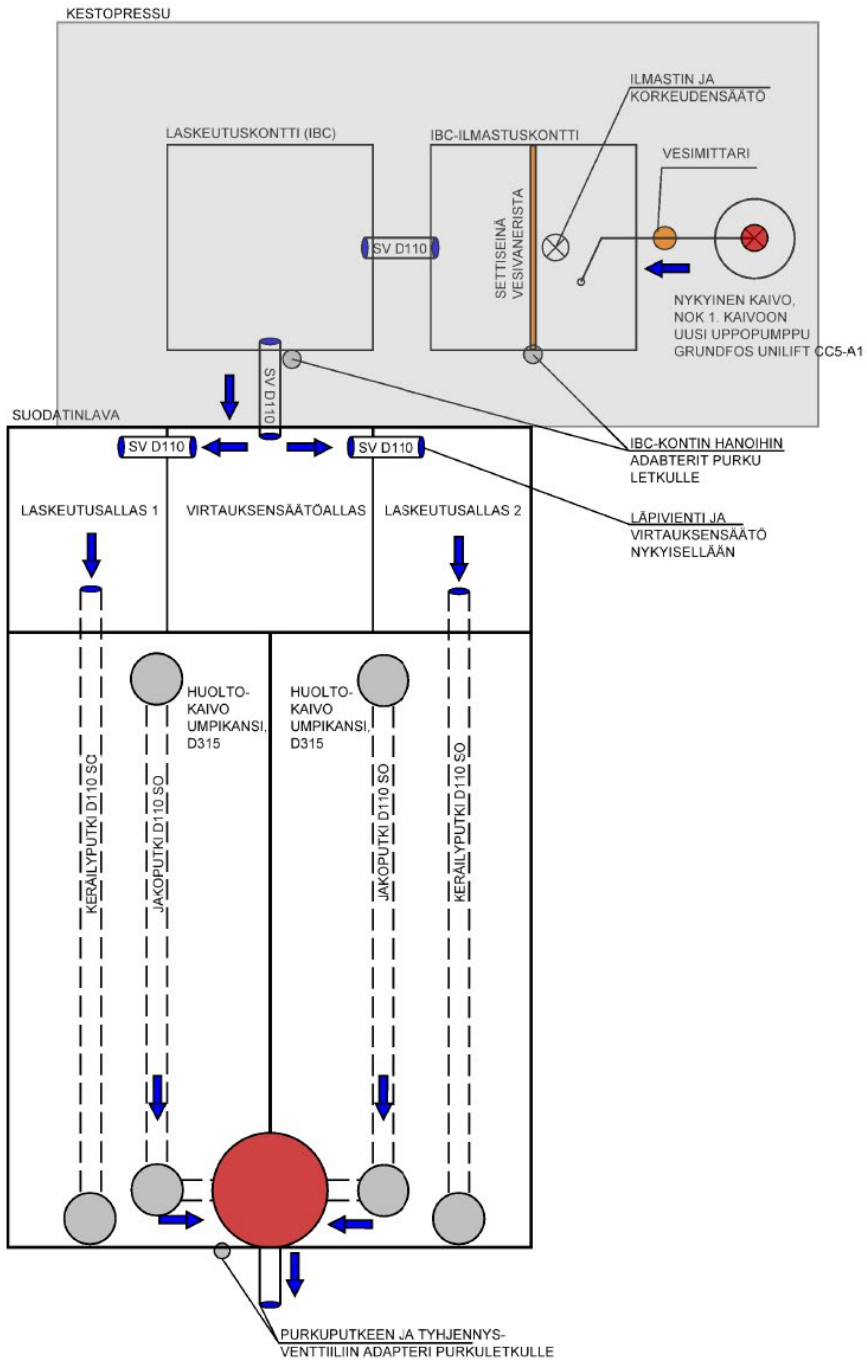


## MUUTOSTYÖT VUONNA 2020

Vuoden 2019 tehtyjen kokeiden perusteella oli selvää, että laitteistoa tulisi muokata toiminnan varmistamiseksi sekä huoltovälin kasvattamiseksi. Kevättalvella 2020 järjestelmään tehtäviä muutostöitä suunniteltiin yhdessä järjestelmän suunnittelijan Juha-Pekka Saarelaisen, Mikkelin kaupungin sekä Maanrakennus Talpan kanssa. Suurimmaksi ongelmaksi todettiin suuret rautasakkamäärät, jotka aiheuttivat ongelmia joka puolilla järjestelmää. Rautasakan määrän vähentämiseksi nähtiin parhaaksi lisätä järjestelmän etupuolelle esipuhdistusaltaat (kuva 7), joissa rautamääriä saataisiin vähennettyä niin, ettei syntyvä sakka pääsisi vaikuttamaan itse biosuodatukseen. Esipuhdistusaltaat suunniteltiin niin, että niihin kertynyttä sakkamäärää voitaisiin helposti tarkastella ja tyhjentää altaiden täyttymisen myötä.

Ilmastus siirrettiin ensimmäiseen esisuodatusaltaaseen (IBC-ilmastuskontti), johon vesi nostetaan suotokaivosta pumppaamalla. Tästä vesi johdetaan väliseinän kautta laskeutuskonttiin, joka antaa rautasakalle lisää aikaa laskeutua altaan pohjalle. Laskeutusaltaasta vesi siirtyy eteenpäin virtauksensäätöaltaaseen ja siitä linjojen laskeutusaltaiden kautta lopulta suodatinmateriaaleille. Biosuodatuslavan altaisiin lisättiin myös poistoventtiilejä, joiden avulla altaiden tyhjennys voitiin suorittaa helposti ja vesi johtaa eteenpäin letkujen avulla. Lisäksi vuoden 2019 aikana oli viitteitä siitä, että yksi lavan kulmista oli hieman uponnut maaperään. Tämän myötä muutostöiden yhteydessä lavan maapohjaa tiivistettiin sekä lavan kulmille lisättiin vesiväät, joiden avulla mahdolliset epätasaisuudet voitiin helpommin huomata.

# LEIKKAUS PÄÄLTÄ



**KUVA 7.** Suodatusjärjestelmään vuonna 2020 suunnitellut muutostyöt. Lisättävät esisuodatusaltaat kuvassa vasemmalla harmaalla pohjalla (Saarelainen 2020)

Esisuodatusaltaat toteutettiin IBC-konteista, koska ne tarvitsisivat vain pieniä muutostöitä ja valmiiden hanojen ansiosta ne voitiin tyhjentää tarvittaessa niihin kertyneestä vedestä ja rautasakasta. Altaat rakennettiin korotetun ja peitetyn alustan päälle, josta vuototilanteessa vedet valuvat suoraan takaisin suotovesikaivoon. Koska esisuodatusaltaat ovat korollisesti biosuodatusjärjestelmää korkeammalla, vesi siirtyy painovoimaisesti eteenpäin järjestelmässä eikä ylimääräistä pumppausta tarvita biosuodatuslaitteistoon. Uusi kuusibiohiili-haapahakeseos lisättiin järjestelmän molemmille linjoille ja sen toiminta käynnistettiin uudelleen 7.5.2020 ensiksi kyllästämällä materiaalit tasausaltaan vedellä, minkä jälkeen aloitettiin pumppaus suotovesikaivoista. Muutostöiden jälkeinen biosuodatuslaitteisto on kuvassa 8.



**KUVA 8.** Kevään 2020 muutostöiden jälkeinen Ristiinan vanhan kaatopaikan biosuodatuslaitteisto. Vasemmalla kaksi IBC-konteista tehtyä esiselkeytysallasta (kuva Aki Mykkänen).

Muutostöiden myötä myös mittauspisteitä lisättiin ja muutettiin vuonna 2020 (taulukko 2 ja kuva 9). Myös järjestelmän vieressä olevan tasausaltaan veden laatua monitoroitiin vuonna 2020 kenttämittauksin. Lopullisia mittauspisteitä vuodelle 2020 oli yhdeksän kappaletta. Näytteenottoja suoritettiin neljästä pisteestä, joissa järjestelmässä tapahtuvat muutokset saataisiin havaittua mahdollisimman hyvin.



Esipuhdistusaltaat vähensivät selvästi suodatinmateriaaleille pääseviä sakkamääriä. Linjojen tuloaltaissa näkyvä vesi oli vuoteen 2019 verrattu selvästi selkeämpää, mutta silti hyvin rautapitoista ja sameaa (kuva 10). Esipuhdistusaltaiden täyttyessä sakalla tuloaltaiden pinnalle alkoi myös muodostua selkeitä lauttoja sakkaa, jota voitiin hyvin käyttää indikaatioina siitä, että esipuhdistusaltaat olivat tyhjennyksen tarpeessa.



**KUVA 10.** Toisen linjan tuloaltaan veden sameus ja sakkamäärä vuosien 2019 ja 2020 välillä. Vuoden 2019 (vasen) aikana lähes koko kolmen toimintakauden ajan altaissa oli jatkuvasti selkeitä sakkalauttoja ja veden väri oli tummempi. Esipuhdistusaltaiden myötä (keski) vesi kirkastui selkeästi, ja sakkapatjoja havaittiin vasta esipuhdistusaltaiden sakalla täyttymisen myötä (oikea). Kuvissa näkyvä putki vie veden suoraan suodatinmateriaaleille (kuva Aki Mykkänen).

Esipuhdistusaltaita tyhjennettiin vuoden 2020 aikana kaksi kertaa niihin kertyneestä sakasta. Tyhjennys suoritettiin aluksi ylhäältä päin pumpaamalla, jotta kertynyttä sakkamäärää voitiin arvioida. Altaita tyhjennettiin myös suoraan poistoventtiileiden avulla. Molemmilla tyhjennyskerroilla oli selvää, että ilmastusaltaassa sakkaa oli eniten ja määrät laskivat siitä linjojen tuloaltille mentäessä. Ilmastusaltaaseen kertynyt sakka oli myös selkeästi pinttynyt altaan seiniin ja kiinnikkeisiin (kuva 1).





**KUVA 11.** Ilmastusaltaassa havaitut sakkamäärät sekä niiden pinttyminen altaan reunoille ja hapettimen kiinnittimiin (kuvat Aki Mykkänen).

Toimintaa jatkettiin vuonna 2020 toukokuusta marraskuuhun saakka eli yhteensä seitsemän kuukauden ajan. Tänä aikana muun muassa tulopumppu jouduttiin vaihtamaan kahdesti ja esipuhdistusaltaat tyhjentämään kahdesti sekä lavalle tulleita vesivuotoja jouduttiin korjaamaan. Vaikka kaikki ongelmat eivät ratkenneet, paransivat tehdyt muutostyöt järjestelmän toimintaa merkittävästi.

Ristiinan vanhan kaatopaikan biosuodatusjärjestelmästä Huky-hankkeen aikana saadut tulokset on esitetty tämän kokoelmajulkaisun artikkelissa ”Ristiinan vanhan kaatopaikan biosuodatuslaitteisto – tulokset 2019–2020”.

## LÄHTEET

Karttunen, E., Tuhkanen, T. & Kiuru, H. (2004). RIL 124-2 Vesihuolto II, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, 684 s.

Mikkeli 2016. Ympäristölautakunnan pöytäkirja 15.6.2016 § 52. Rautio J. 2013. Mikkelin kaupungin hulevesiohjelma 2014–2020.

Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä, 1040 / 2006.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista, 401 / 2001.

# RISTIINAN VANHAN KAATO- PAIKAN SUOTOVESIEN BIO- SUODATUSLAITTEISTO – HUKY-HANKKEEN TULOKSET VUOSINA 2019 JA 2020

Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen & Juha-Pekka Saarelainen

Ristiinan vanhan kaatopaikan suotovesien biosuodatuslaitteistossa tehtyjen kokeiden avulla kohteen ominaisuuksista sekä biosuodatusjärjestelmän toimivuudesta saatiin kattavaa tietoa Huky-hankkeen kahden toimintavuoden aikana. Biosuodatuslaitteiston kaltaisten pilot-mittakaavan ratkaisujen toimivuuden tarkkailu vaatii monitorointityötä niiden toimintakyvyn varmistamiseksi sekä ongelmien tunnistamiseksi. Saadun tiedon avulla biosuodatuslaitteistoa voidaan jatkokehittää entisestään sekä yleisesti hankkeen aikana kerättyä tietoa voidaan käyttää muun muassa kaatopaikan suotoveden aiheuttaman kuormituksen tarkkailuun. Ristiinan vanhan kaatopaikan biosuodatusjärjestelmän kuvaus sekä lisätietoa Huky-hankkeesta tehdyistä mittauksista ja näytteenotoista on tämän kokoelmajulkaisun artikkelissa ”Ristiinan vanhan kaatopaikan suotovesien biosuodatuslaitteisto – toiminta ja monitorointi”.

## VIRTAAMAT

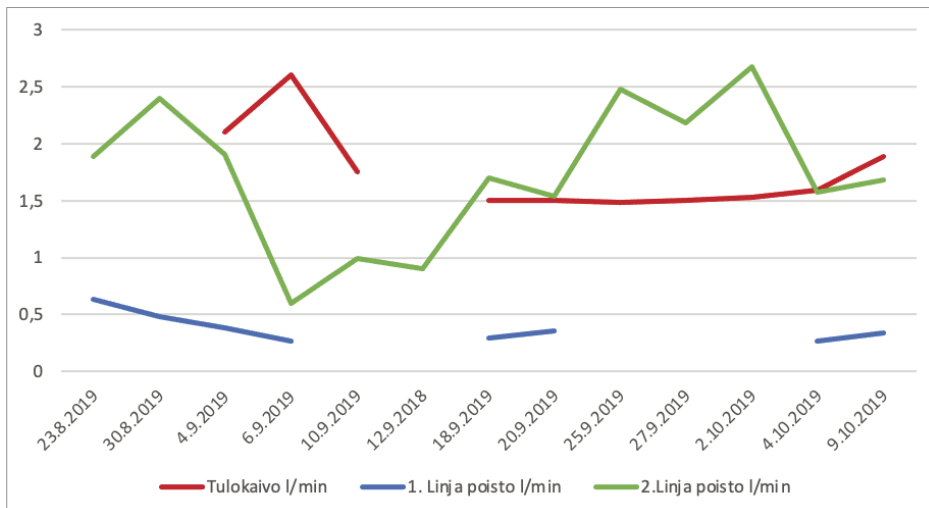
Ristiinan vanhalta kaatopaikalta ei ollut ennakoon suuria määriä virtaamatietoa, joista saisi kokonaiskuvaa alueella muodostuvista suotovesistä. Alueen valumia on määritetty aikaisemminkin, mutta muodostuvan suotoveden määristä ei ollut kattavaa tietoa. Huky-hankkeen tutkimustoiminnan yhteydessä kohteen virtaamia mitattiin viikoittain kaksi kertaa astiamittauksella suoraan tulokaivon tuloputkesta sekä molempien linjojen poistoputkista. Esimerkiksi kaatopaikan velvoitetarkkailussa mittauksia on tehty 2–4 kertaa vuodessa. Nykyään velvoitetarkkailua tehdään kolmen vuoden välein. Näiden lisäksi myös järjestelmän tulopuolen virtaamamittarin avulla saatiin lisäkuvaa tulevista virtaamista. Astiamittauksien tuloksissa on huomattavaa se, että tulokset ovat suuntaa antavia haastavan astiamittauksen ja siitä syntyvän todennäköisen virheen takia. Erityisesti tulokaivon tuloputkesta astiamittaus on erittäin vaikeaa, koska tuloputki on yli metrin maan alla kaivon sisällä. Tällöin se vaatii astialle jatkovarren, jota on hyvin vaikea pitää paikoillaan putken suulla (kuva 1).





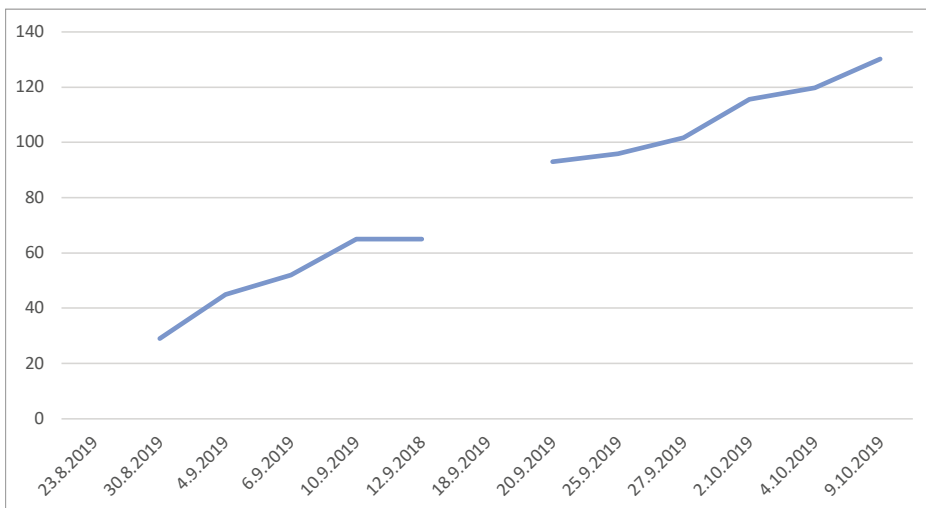
**KUVA 1.** Suotovesikaivon tulovesiputkesta tehtävä virtaaman astiamittaus. Jatkovarren päässä olevaa ämpäriä on erittäin vaikea pitää luotettavasti paikoillaan, jolloin virtaamamittauksissa esiintyy helposti mittausvirhettä (kuva Aki Mykkänen).

Vuonna 2019 järjestelmän linjojen virtaamamittauksissa koettiin erityisen paljon rautasakasta aiheutuvaa tukkeutumista sekä sen myötä ongelmia virtaamanjaossa linjojen välillä (kuva 2). Vesi ei jakaantunut suunnitellun 1/3 ja 2/3 mukaisesti linjojen välille. Erityisesti hitaamman virtaaman linja 1:n virtaamanjakoon muodostui useasti kiinteä sakkakerros, joka esti veden virtaamista kyseiselle linjalle. Virtaamaongelmien takia mittauksia ei voitu myöskään aina toteuttaa, mikäli toiselle linjalle vettä ei kulkenut. Tulokaivon pumppu myös nostaa vettä pulsseissa, joten poistuvien vesien määriä ei voida pitää luotettavina, vaan virtaamamäärien mittaamiseksi poistoputkilta tarvittaisiin päivittäiset kokoomanäytteet.



**KUVA 2.** Vuoden 2019 tulokaivon sekä linjojen poistojen astiamittatut virtaamat l/min.

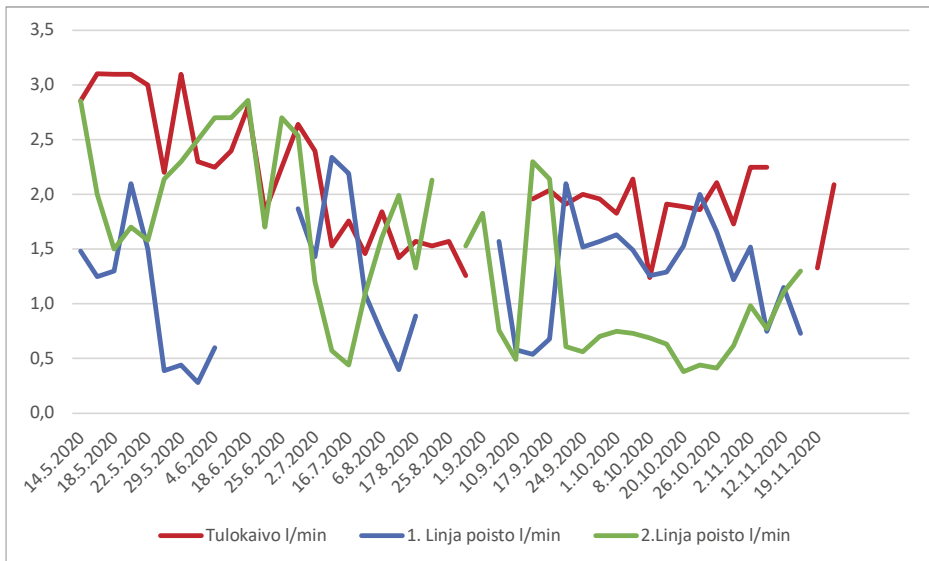
Tulevan suotoveden virtaama on hyvin tasaista vuoden ympäri, eikä vuoden 2019 aikana muun muassa vesisateilla nähty olevan vaikutusta suotoveden määrään. Kolmen kuukauden aikana havainnoituna tuloveden määrä oli keskimäärin noin 1,8 l/min eli noin 2,5 m<sup>3</sup>/vrk. Virtaamamittarista saadusta kumulatiivisesta vesimäärästä (kuva 3) saadaan myös samankaltaisia tulovirtaamamääriä. Kuten astiamittauksissakin, aiheutti rautasakka ongelmia virtaamamittauksessa. Syyskuussa tapahtuneen tauon aikana järjestelmän virtaamamittari vaihdettiin uuteen.



**KUVA 3.** Vuonna 2019 tuloveden virtaamamittarista havaittu kumulatiivinen vesimäärä (m<sup>3</sup>). Välissä olevan mittaustauon välissä järjestelmän mekaaninen virtaamamittari vaihdettiin ultraäänimittariin.

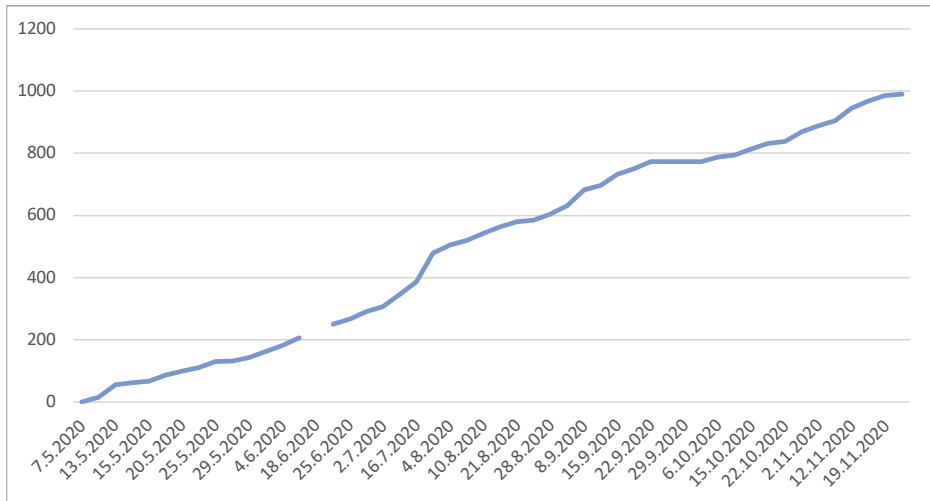
Virtaamamittarin tuloksista laskettuna vuoden 2019 mittausten aikana tulovettä tuli päivittäin noin 2,2 m<sup>3</sup>:n verran, joka on hyvin lähellä astiamittauksin havaittua arvoa. Virtaamamittarin tuloksissa ei myöskään huomata selviä piikkejä, jotka viittaisivat selviin poikkeaviin virtaamatapahtumiin, kuten vesisateista aiheutuviin virtaamapulsseihin. Vaikuttaisi siis siltä, että ainakin syksyllä 2019 tulevan suotoveden määrät olivat hyvin tasaisia. Kevään 2020 muutostöiden yhteydessä huomattiin myös, että lavan toinen reuna oli hieman uponnut maahan. Tällä on todennäköisesti ollut vaikutusta virtaamien epätasaiseen jakautumiseen linjojen välille. Lava oikaistiin tiivistämällä ja tasaamalla sen alapuolista maata kevään 2020 muutostöiden yhteydessä.

Vuonna 2020 rakennettujen esipuhdistusaltaiden avulla tukkeutumisia ja virtaamanjaollisia ongelmia saatiin helpotettua, mutta silti tavoiteltu 1/3:n ja 2/3:n jakauma linjojen välille osoittautui vaikeaksi toteuttaa. Vesi jakautui hyvin epätasaisesti vuoden 2020 tutkimusajan linjojen välille (kuva 4). Aika ajoittain toisesta linjasta ei välttämättä virrannut vettä ollenkaan tai sen määrä oli yksittäisiä pisaroita, jolloin astiamittausta ei suoritettu. Kuten aikaisempanakin vuonna, veden pumppaus tapahtui pulsseissa, jolloin poistuvista vesistä tehtyjä virtaamamittauksia ei voida pitää luotettavina. Tulovirtaamaa myös havainnoitiin samalla tavalla kuin vuonna 2019.



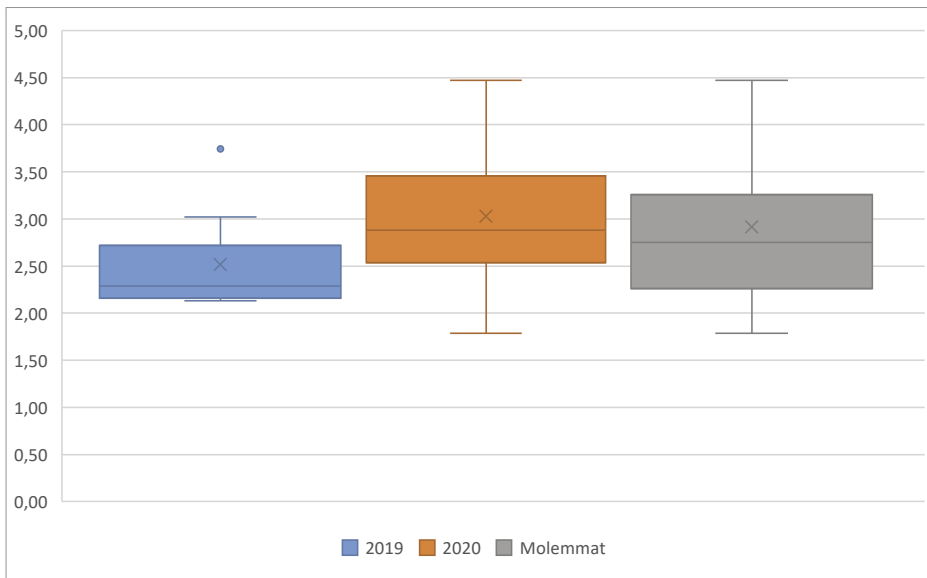
**KUVA 4.** Vuoden 2020 tulokaivon sekä linjojen poistojen astiamittatut virtaamat l/min.

Tuloksista huomataan, että erityisesti touko–kesäkuussa tulovirtaamassa havaittiin korkeampia noin 3 l/min lukemia, jotka tasoittuivat kesään mennessä arvoihin noin 2 l/min. Tämä voi viitata lumien sekä roudan sulamisen näkymiseen suotoveden määrissä. Virtaamamittarilla vuonna 2020 kerätystä kumulatiivisesta tulovirtaamasta (kuva 5) selvää eroa keväässä ja alkukesässä ei nähdä.



**KUVA 5.** Vuonna 2020 tuloveden virtaamamittarilla havaittu kumulatiivinen vesimäärä (m<sup>3</sup>).

Syyskuun lopussa 2020 virtaamamittari tukkeutui ja lakkasi toimimasta, jolloin se vaihdettiin uuteen vastaavanlaiseen malliin. Tukkeutumisen syynä oli virtaamamittarin sisäpintoihin kiinnittynyt rautasakka, jota ei saatu puhdistettua niin, että mittari olisi vielä toiminut. Havainto kevään korkeammista virtaamista voi siis johtua myös mittausvirheestä. Astialla mitatusta tuloveden määrästä saadaan vuoden 2020 osalta keskiarvoksi 2,1 l/min eli noin 3 m<sup>3</sup>/vrk, joka on lähellä vuoden 2019 noin 2,5 m<sup>3</sup>/vrk havaintoa. Tarkasteltaessa molempien vuosien sekä yhteenlaskettuja tulovirtaaman keskilukuja (kuva 6) on selvää, että tuloksissa on paljon heittelyä. Kaikista kahden vuoden virtaamamittauksista saatiin keskiarvoksi 2,95 m<sup>3</sup>/vrk sekä keskihajonnaksi 0,74 m<sup>3</sup>/vrk.



**KUVA 6.** Kahden vuoden virtaamamittausten sekä kaikkien 50 havainnon ruutu- ja janakaavio m<sup>3</sup>/vrk (mediaani, keskiarvo x, ala- ja yläkvartiilit ja ääriarvot)

Vaikka näissä virtaamamittauksissa on paljon virhetekijöitä eikä astiamittauksia ole tehty esimerkiksi yöaikoihin, ei silti ole viitteitä siitä, että suotoveden virtaamamäärä vaihtelisi suuresti vuodenaikojen mukaan. Myöskään vesisateilla ei vaikuttaisi olevan merkittävää vaikutusta suotoveden määriin. Huky-hankkeen aikana tehtyjen astiamittausten perusteella kyseiseen P10-suotovesikaivoon tulee keskimäärin noin  $2,95 \pm 0,74$  m<sup>3</sup> vettä vuorokaudessa kevät–syyskaudella. Tätä tulosta voitaisiin tarkentaa helpottamalla astiamittauksen tekemistä sekä jatkuvatoimisella virtaamamittauksella suoraan tulokaivosta.

## TYPPI

Hankkeen tavoitteena typen osalta oli vähentää erityisesti ammoniumtypen pitoisuutta Ristiinan vanhalta kaatopaikalta poistuvista suotovesistä. Ammoniumtyppi poistuu järjestelmän ilmastusaltaissa sekä biosuodatuskerroksessa nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessilla. Nitrifikaatioprosessi käynnistyy ilmastusaltaassa aerobisissa olosuhteissa, jolloin ammoniumtyppi (NH<sub>4</sub>) muuntuu nitriitin (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) kautta nitraatiksi (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Nitrifikaation jälkeen vesi kulkeutuu järjestelmässä hapettomaan suodatinpatjaan, jossa nitraatti pelkistyy anaerobisissa olosuhteissa typpikaasuksi (N<sub>2</sub>) käyttämällä puuhakkeesta olevaa orgaanista hiiltä prosessissa.

Akkreditoidun laboratorion ammoniumtyppianalyysien tuloksissa oli analyysimenetelmävirhe, joka koskee sekä vuotta 2019 että kahta ensimmäistä vuoden 2020 näytteenottoa Ristiinasta, jonka myötä tulokset eivät ole luotettavia ammoniumtypen osalta. Suotoveden

erittäin korkea rautapitoisuus todennäköisesti vaikutti menetelmien soveltavuuteen. Koska käsittelemättömässä suotovedessä tiedetään olevan yli 100 mg/l ammoniumtyypeä, eivät tulovedestä havaitut alle 1 mg/l pitoisuudet ole totuudenmukaisia. Tämän myötä myös kaikki eri kohdista järjestelmää saadut ammoniumtypen tulokset hylättiin. Analysoivaa laboratorioita vaihdettiin 29.10.2020 alkaen, ja tämän myötä ammoniumtypen tulokset muuttuivat loogisemmiksi (taulukko 1).

**TAULUKKO 1.** Tulovedestä, esipuhdistuksen jälkeisestä pisteestä sekä linjojen poistovesistä havaitut ammoniumtypen pitoisuudet hankkeen aikana. 29.10.2020 edeltävien tulosten pitoisuudet eivät ole luotettavia.

Ammoniumtyppi (mg/l)				
Päivämäärä	Tulovesi	Esipuhdistus	Linja 1 poisto	Linja 2 poisto
4.9.2019	140		1,40*	1,40*
13.11.2019	0,32*		1,20*	0,79*
29.6.2020	0,39*	1,70*	1,30*	1,10*
29.9.2020	1,90*	2,80*	2,70*	2,80*
29.10.2020	130	120	130	120
5.11.2020	120	120	120	120
12.11.2020	120	120	120	130
19.11.2020	120	120	120	120

\*Epälooginen tulos, ei luotettava

29.10.2020 eteenpäin analyysitulokset ovat johdonmukaisia ja osoittavat ammoniumtypen pitoisuuden pysyvän tulovedessä tasaisena loka–marraskuun ajan. Samalla myös muista loka–marraskuun 2020 tuloksista ei kuitenkaan todeta selviä muutoksia ammoniumtypen pitoisuudessa missään vaiheessa prosessia. Ammoniumtyppipitoisuudelle ei ole siis tapahtunut muutosta ainakaan syksyllä 2020.

Tyypenpoiston toiminnan heikkoudesta kertoo myös nitriitti- sekä nitraattityppianalyysien tulokset. Nitraattityppeä ei havaittu missään näytteenotoissa, mutta nitriittityppeä havaittiin pieniä määriä tulovedestä muutamissa näytteenotoissa (taulukko 2). Teoriassa nitriitti- ja nitraattityypen pitoisuuksien tulisi nousta esipuhdistuksen ilmastuksen yhteydessä ja laskea poistolinjojen näytteissä. Suunnitellusti ammoniumtyppi muuttuisi ensiksi nitriitiksi ja siitä nitraatiksi. Nitraatti sen sijaan muuttuisi typpikaasuksi, joka poistuisi kokonaan vesifaasista. Mikäli poistovesistä havaittaisiin kasvaneita nitraatti- tai nitriittipitoisuuksia, viittaisi se siihen, että tyypenpoistoprosessi on käynnistynyt, mutta keskeytyy biosuodatuskerroksessa.

**TAULUKKO 2.** Tulovedestä, esipuhdistuksen jälkeisestä pisteestä sekä linjojen poistovesistä havaitut nitriittitypen pitoisuudet hankkeen aikana.

Nitriittityppi (mg/l)				
Päivämäärä	Tulovesi	Esipuhdistus	Linja 1 poisto	Linja 2 poisto
4.9.2019	0,015		0,002*	0,002*
13.11.2019	0,024		0,002*	0,002*
29.6.2020	0,002*	0,002*	0,002*	0,002*
29.9.2020	0,002*	0,002*	0,002*	0,002*
29.10.2020	0,030*	0,030*	0,030*	0,030*
5.11.2020	0,030*	0,030*	0,030*	0,030*
12.11.2020	0,030*	0,030*	0,030*	0,030*
19.11.2020	0,062	0,030*	0,030*	0,030*

\*Alle määrittäjärajan = ei havaittu

Nitraatti- ja nitriittipitoisuuksien perusteella järjestelmän suunniteltu nitrifikaatioprosessi ei käynnisty ilmastuksen yhteydessä, jonka seurauksena myöskään denitrifikaatioprosessia ei tapahdu. Edellä mainittujen typpifraktioiden perusteella järjestelmän typenpoisto-ominaisuudet ovat olleet 2019–2020 puutteellisia. Myös kokonaistypen arvoista saadaan viitteitä järjestelmän puutteellisesta toiminnasta (taulukko 3).

**TAULUKKO 3.** Tulovedestä, esipuhdistuksen jälkeisestä pisteestä sekä linjojen poistovesistä havaitut kokonaistypen pitoisuudet hankkeen aikana. Valtaosa kokonaistypestä on ammoniumtyyppiä.

Kokonaistyyppi (mg/l) (Akkreditoituidut ulkopuoliset laboratoriot)				
Päivämäärä	Tulovesi	Esipuhdistus	L1 poisto	L1 poisto
4.9.2019	170	-	150	150
13.11.2019	190	-	170	200
29.6.2020	160	140	120	140
29.9.2020	130	160	160	160
29.10.2020	150	130	130	120
5.11.2020	130	120	130	130
12.11.2020	140	130	130	140
19.11.2020	130	130	120	120

Tulokset ovat samankaltaiset sekä akkreditoidun laboratorion että Xamkin sisäisissä analyysituloksissa (taulukko 4). Kaikissa tuloksissa on huomioitavaa se, että järjestelmän vesi on jatkuvasti virtaavaa. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi tulovedestä mitattu arvo on useiden tuntien, jopa päivän jälkeen järjestelmän poistoputkilla. Tällöin samaan aikaan eri puolilta järjestelmää otetut näytteet eivät ole parhaalla tavalla toisiinsa verrattavia. Tämän takia esimerkiksi joissakin pisteissä voi esiintyä korkeampia tuloksia myöhemmissä kohdissa järjestelmää. Tämän viipymän korjaamiseksi veden virtaamiseen kuluva aika tulisi selvittää, minkä jälkeen se voitaisiin kompensoida ottamalla näytteet oikeisiin ajankohtiin.

**TAULUKKO 4.** Tulovedestä, esipuhdistuksen jälkeisestä pisteestä sekä linjojen poistovesistä havaitut kokonaistypen pitoisuudet hankkeen aikana. Xamkin sisäinen analyysi, Kjeldahl-menetelmä.

Ristiina kokonaistyyppi mg/l (Xamk, Kjeldahl)				
Päivämäärä	Tulo	Jako	L1 poisto	L2 poisto
21.8.2019	142	-	105	137
18.9.2019	151	-	154	140
23.10.2019	101	-	139	143
13.11.2019	139	-	134	139
22.6.2020	144	-	143	140
25.6.2020	143	148	-	146
6.8.2020	151	148	145	146
29.9.2020	143	143	140	137
29.10.2020	133	139	140	137
5.11.2020	127	139	136	133
12.11.2020	140	136	132	134
19.11.2020	126	144	139	137

Koska ammonium-, nitraatti- sekä nitriittityppi ovat kaikki osa kokonaistypen tulosta, ei niistä itsessään voida arvioida järjestelmän toimintaa. Kuitenkin toimiessaan nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessi muuntaa ammoniumtyyppiä typpikaasuksi  $N_2$ , jolloin se siirtyy ilmakehään. Täten prosessin toimiessa oikein tulisi poistolinjoissa nähdä pienentyneitä kokonaistypen pitoisuuksia. Molempien vuosien ensimmäisissä näytteissä nähdään vähenemää poistolinjoissa, mutta on mahdotonta sanoa, johtuuko tämä oikeasti typen vähenemisestä vai näytteiden välisistä aikaeroista. Muissa näytteissä selviä eroja tuloveden sekä poistuvien vesien välillä ei nähdä kokonaistypessä. Tällöin yhdessä muiden typpifraktioiden tulosten kanssa voidaan todeta, ettei järjestelmä ole toiminut typenpoistossa halutulla tavalla.



Suotovedelle tai yleisesti pistemäisille päästölähteille ei ole selkeitä raja-arvoja, mutta esimerkiksi pintavesille yleensä yli 1 mg/l kokonaistyyppiä havaitaan luonnollisissa ruskeissa vesistöissä. Runsaasti viljellyillä alueilla taas kokonaistyyppien pitoisuudet voivat nousta yli 5 mg/l kokonaistyyppiä (Oravainen, 1999). Kaikissa biosuodatusjärjestelmästä otetuissa kokonaistyyppien näytteissä pitoisuus on yli 100 mg/l, kun taas käsittelemättömän tuloveden havaittu keskiarvopitoisuus hankkeen ajalta on noin 140 mg/l. Tämä tarkoittaa sitä, että havaitulla, noin 2,9 m<sup>3</sup>/vrk virtaamalla vuodessa kaatopaikalta tasausaltaaseen laskee arviolta noin 150 kg tyyppiä.

Järjestelmän tyyppipoiston osalta ei saavutettu tavoitteita hankkeen aikana. Nitrifikaatioprosessi ei pääse alkamaan järjestelmässä, vaikka ilmastuksessa veteen saadaan liukenemaan happea. Havaintojen perusteella tämä johtuu suotoveden sisältämästä liuenneesta raudasta. Rauta saostuessaan kuluttaa veteen lisätyn hapen, jolloin happea ei jää riittävästi nitrifikaatiolle. Tyyppipoistoprosessin toiminnan parantamiseksi veden esipuhdistusta tulisi parantaa niin, että vedessä ei olisi muita prosesseja, jotka kuluttavat happea.

## FOSFORI

Kuten typpikin, on fosfori myös vesistöjä kuormittava ravinne. Vaikka järjestelmän pääasiallinen tavoite oli vähentää typpipäästöjä eikä suotovedessä ole todettu suuria fosforipitoisuuksia, hankkeen toiminta-aikana tarkkailtiin silti fosforipitoisuuksia (taulukko 5). Koska suotovedet poikkeavat suuresti pintavesistä ominaisuuksiltaan, ei niille suoraan ole raja- tai viitearvoja. Pintavesien kuitenkin katsotaan olevan erittäin reheviä kokonaisfosforin ollessa 0,05–0,1 mg/l (Oravainen 1999).

**TAULUKKO 5.** Tulovedestä, esipuhdistuksen jälkeisestä pisteestä sekä linjojen poistovesistä havaitut kokonaisfosforin pitoisuudet hankkeen aikana.

Kokonaisfosfori mg/l (Akkreditoitu laboratorio)				
Päivämäärä	Tulo	Jako	L1 Poisto	L2 Poisto
4.9.2019	0,08	-	0,13	0,14
13.11.2019	0,05	-	0,01	0,02
29.6.2020	0,07	0,05	0,11	0,08
29.9.2020	0,06	0,03	0,03	0,03

Vertaamalla pintavesiarvoihin suotoveden kokonaisfosforin arvot kertovat veden olevan selvästi rehevien vesien puolella, mutta arvot ovat silti pieniä suhteutettuna Ristiinan vanhan kaatopaikan suotoveden kokonaistyyppipitoisuuksiin. Rauta saostuessaan sitoo itseensä fosforia, mikä ilmenee hyvin kokonaisfosforipitoisuuksien laskiessa ilmastuksen myötä. Saostuva ferrihydroksidi (rautasakka) sitoo itseensä fosfaatti-ionin, jonka avulla fosfori poistuu vedestä. Vaikka fosforimäärät ovat koholla, tulevat ne myös teoriassa pienenemään raudan saostamisen myötä.

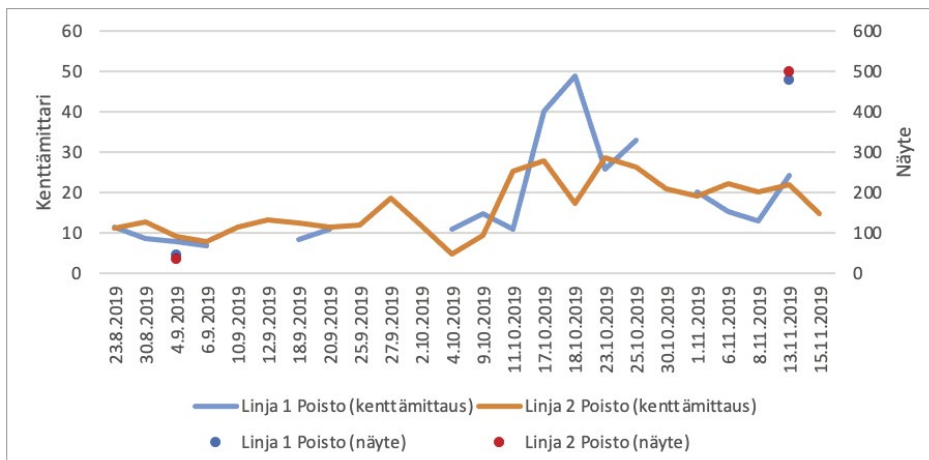
## RAUTAPITOISUUS

Suotoveden korkeat rautapitoisuudet olivat koko Ristiinan laitteiston suurin haaste hankkeen toiminta-aikana. Vuonna 2019 (taulukko 6) rautaa havainnoitiin kaksi kertaa, joissa ensimmäisellä 4.9.2019 otetuissa näytteissä vähenemä oli noin 95 prosenttia tuloveden arvoista, mutta 13.11.2019 otetuissa näytteissä vähenemä oli pienentynyt vain noin 50 prosenttia. Tämän selittää todennäköisesti se, että syyskuussa otetuissa näytteissä suodatinmateriaalit vielä sitoivat suotovedestä rautaa. Marraskuuhun mennessä suodatinmateriaalit olivat kyllästyneet rautasakalla, jolloin vedestä ei enää sitoutunut rautaa yhtä tehokkaasti.

**TAULUKKO 6.** Järjestelmässä havaitut rautapitoisuudet ja prosentuaaliset muutokset 2019.

Rauta Fe (mg/l) 2019					
Päivämäärä	Tulovesi	Linja 1 poisto	Linja 2 poisto	%-muutos linja 1	%-muutos linja 2
4.9.2019	95	4	5	-96 %	-95 %
13.11.2019	89	44	49	-51 %	-45 %

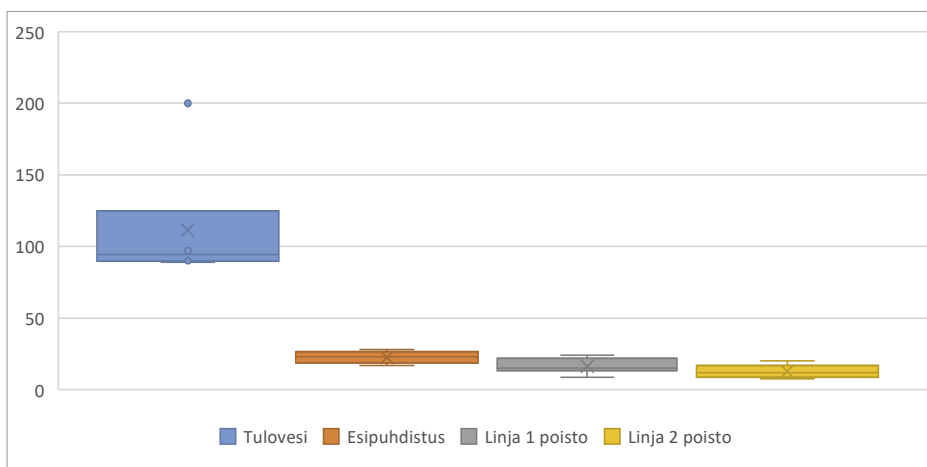
Vuoden 2019 raudan tulostulkintaa tukee kenttämittauksin tehty havainto (kuva 7), jossa syksyn edetessä poistovesistä todetaan jatkuvasti korkeampia sameusarvoja. Syksyn myötä lisääntyvä rautasakkamäärä aiheutti myös useita virtaamallisia ongelmia, joten useita viitteitä suodatinmateriaalien tukkeutumiseen oli.



**KUVA 7.** Vuonna 2019 havaitut sameusmäärät kenttämittauksin sekä näytteenotoin.

Näytteenottojen ja kenttämittausten suuri ero selittyy menetelmien eroilla. Näytteiden sameusanalyysi suoritettiin akkreditoidussa laboratoriossa standardin SFS-EN ISO 7027:2016 mukaan. Standardin mukaan ennen sameuden määrittämistä vesinäyte tulee sekoittaa ja homogenisoida hyvin, minkä jälkeen mittaus voidaan suorittaa. Tällöin vesinäytteessä mukana olleet kiintoainemäärät nostattavat sameuden laboratoriomitattua arvoa. Molempia tuloksia tarkasteltaessa loppusyksystä kuitenkin havaitaan selkeästi korkeampia arvoja, jotka viittaavat suodatinmateriaalien tukkeutumiseen sekä rautasakan ja muiden kiintoaineksen pääsemiseen järjestelmän läpi.

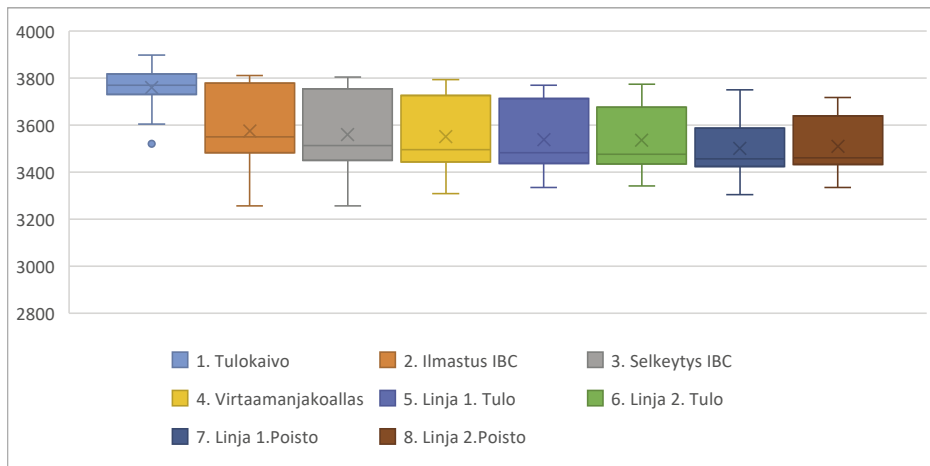
Vuonna 2020 lisättyjen esipuhdistuslaitteiden avulla rautamääriä saatiin vähennettyä ennen suodatinmateriaaleja merkittävästi (kuva 8). Esipuhdistuksen jälkeiset näytteet on otettu biosuodatusjärjestelmän virtaamanjakoaltaasta. Kaikissa havainnoissa esipuhdistus on vähentänyt vedessä olevaa rautamäärää noin 80 prosentilla.



**KUVA 8.** Vuoden 2020 kuuden havaintokerran rautapitoisuuden mg/l ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, ala- ja yläkvartiilit ja ääriarvot). Korkeimmat arvot havaitaan selkeästi tulovedessä, minkä jälkeen tulokset laskevat selvästi jo esipuhdistuksessa ja vain hieman suodatinpatjoissa.

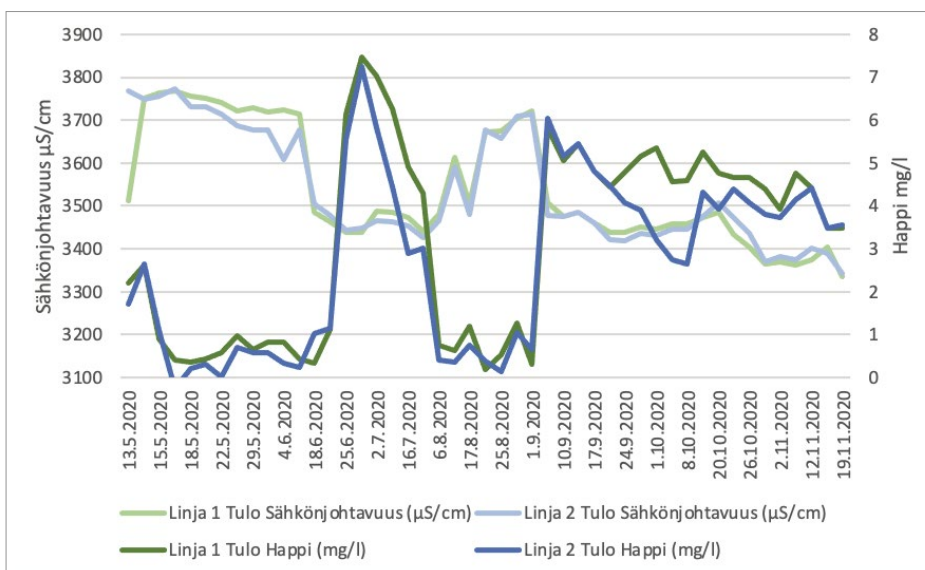
Rautapitoisuus jatkaa vähentymistään vielä hieman biosuodatuskerroksessa. Tämä todennäköisesti on vielä suodatinpatjassa tapahtuvaa saostumista sekä raudan suodattumista suodatinmateriaaleihin. Esipuhdistuksen jälkeisen pisteen rautapitoisuus on kaikkien havaintojen osalta noin 25 mg/l, ja poistuvissa vesissä todetaan noin 15 mg/l rautaa. Havainnoista on selvää, että nämäkin rautapitoisuudet ovat riittäneet tukkeuttamaan biosuodatuskerrosta.

Koska metallit lisäävät veden sähkönjohtavuutta, voidaan raudan vähenemistä tarkkailla myös kenttämitattua sähkönjohtavuutta tarkastelemalla. Valtaosa sähkönjohtavuudesta aiheutuu kuitenkin veden korkeasta (yli 100 mg/l) kloridipitoisuudesta. Sähkönjohtavuuden keskilukuja tarkasteltaessa on selvää, että valtaosa raudan poistumisesta tapahtuu jo esipuhdistuksessa (kuva 9).



**KUVA 9.** Vuoden 2020 sähkönjohtavuuden  $\mu\text{S}/\text{cm}$  kenttämittausten ruutu- ja jana-kaavio (mediaani, keskiarvo  $x$ , ala- ja yläkvartiilit ja ääriarvot). Korkeimmat tulokset ja pienimmät vaihtelut havaitaan tulokaivossa, jonka jälkeen suurin lasku tapahtuu jo esipuhdistuksessa. Linjojen poistoissa havaitaan myös hieman sähkönjohtavuuden laskua.

Ilmastuksen toimivuus havaitaan hyvin kenttämittarilla saaduista happipitoisuuksista sekä sen tuoma raudan vähenemä sähkönjohtavuuden alenemisena (kuva 10). Kuvaajasta nähdään selkeästi, että happipitoisuuden noustessa esimerkiksi kesäkuussa samanaikaisesti sähkönjohtavuus pienenee noin  $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Suurin osa suotoveden korkeasta sähkönjohtavuudesta aiheutuu veden korkeasta kloridipitoisuudesta, joka on noin  $120 \text{ mg}/\text{l}$ . Kuvasta 10 voidaan myös havaita hapettimen tukkeutuminen elokuussa, jolloin happipitoisuus laskee linjojen tulovedessä noin  $1 \text{ mg}/\text{l}$  arvoihin.



**KUVA 10.** Vuoden 2020 kenttämittausten sähkönjohtavuus sekä happipitoisuus linjojen tuloaltailla. Hapen arvoista ilmenee hapettimen toimivuus, jolloin happipitoisuuden ollessa korkea sähkönjohtavuudessa nähdään samaan aikaan selvä reduktio raudan saostumisen yhteydessä.

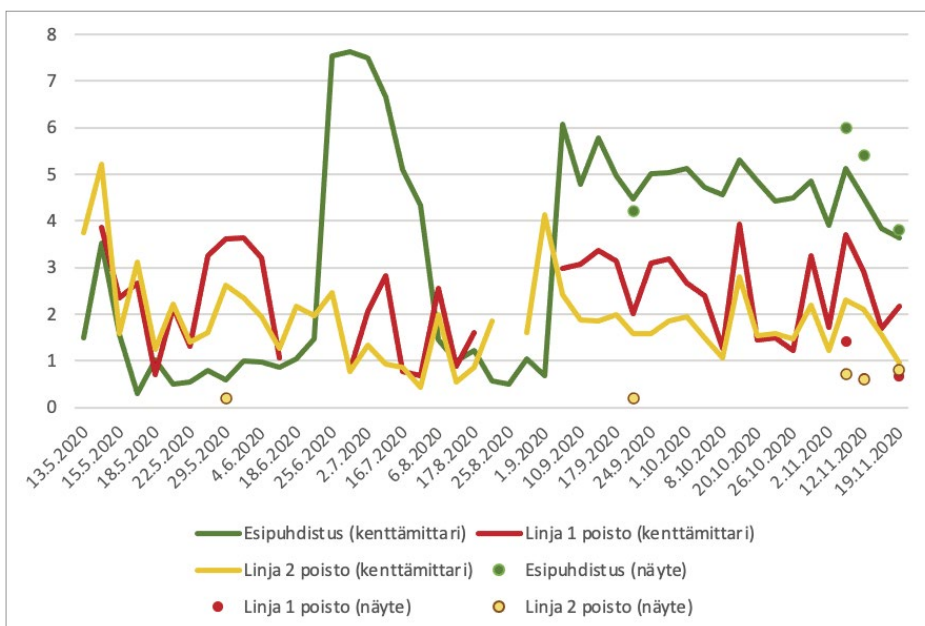
Syyskuussa hapettimen ilmastuskivet vaihdettiin rei'itettyyn letkuun sen huoltovapauden ja varmemman toiminnan takia. Tämä myös näkyy hyvin syyskuusta lähtien tasaisina happimäärinä sekä sähkönjohtavuuden pienenemisenä. Rei'itetty letku koettiin erittäin hyväksi korvaajaksi ilmastuskiville.

Vaikka rautamääriä saatiin vähennettyä hyvin, oli silti linjoille menevissä vesimäärissä suuria määriä rautaa. Marraskuussa 2020 järjestelmän purkamisen yhteydessä oli selvää, että tutkimuskauden aikana suodatinmateriaalit olivat päässeet tukkeutumaan rautasakalla (kuva 11).



**KUVA 11.** Suodatinpatjassa näkyvä rautasakka järjestelmän tyhjennyksen aikana marraskuussa 2020 (kuva Lasse Hämäläinen).

Korkea rautapitoisuus aiheuttaa ongelmia järjestelmän typenpoistoprosessiin, koska nitrifikaatio myös tarvitsee vedessä olevaa happea. Tällöin raudan saostuminen sekä aerobinen nitrifikaatio kilpailevat vedessä olevasta hapesta. Poistovesistä havaituista happipitoisuuksista (kuva 12) nähdään biosuodatuskerroksessa jonkin prosessin kuluttavan happea. Kenttämittauksin tehdyt mittaukset antavat kuitenkin vääristyneitä tuloksia, koska mittauksen suorittamiseksi vesi pitää ensiksi kerätä näyteastian, josta se voidaan mitata. Tämän aikana veteen ehtii sitoutua ilmasta happea. Tämä voidaan varmistaa ottamalla vedestä happinäytteitä standardin SFS-EN ISO 5814:2013 mukaisesti, jolloin suotovesi kestäväidään välittömästi näytteenoton jälkeen. Näytteiden analyysituloksista todetaan, että poistuvissa vesissä on koko toiminta-ajalta selvästi kenttämittauksia pienempiä happipitoisuusarvoja. Yleisesti poistovesissä on alle menetelmän määrittämissä oleva happipitoisuus, jolloin voidaan sanoa, ettei poistuva vesi sisällä merkittäviä määriä happea.



**KUVA 12.** Esipuhdistuksen jälkeen sekä poistovesistä vuonna 2020 kenttämittarilla että näytteistä havaitut happipitoisuudet mg/l.

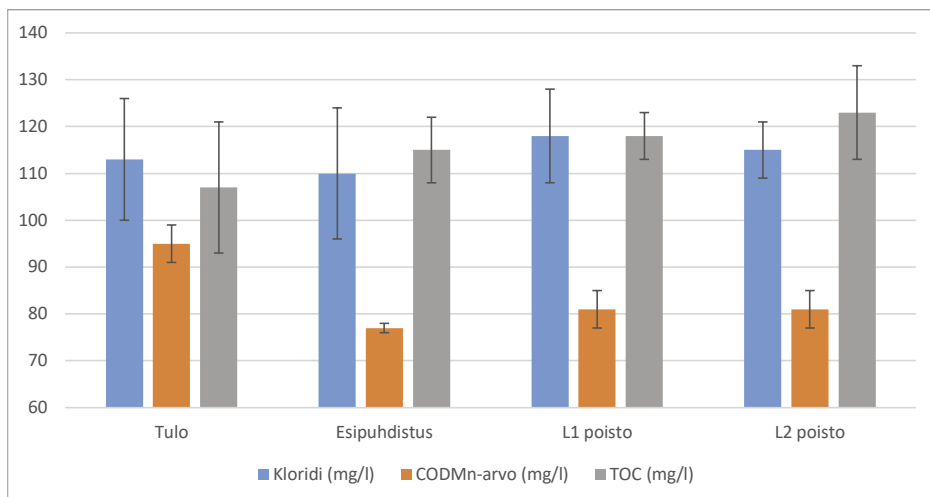
On selvää, että jokin prosessi kuluttaa veteen lisättyä happea biosuodatuskerroksessa. Järjestelmän toimiessa oikein hapen kuluttaisi nitrifikaatio, mutta koska typen arvoissa ei nähdä muutoksia, on selvää, että raudan saostuminen kuluttaa kaiken veteen lisätyn hapen.

Kuten ravinteissakin, ei rautapitoisuudelle ole selkeitä raja-arvoja suotovesille tai piste-lähteille. Kirkkaissa vesissä rautapitoisuus on yleensä noin 0,05–0,2 mg/l, humusvesissä 0,4–0,6 mg/l sekä erittäin ruskeissa ja humusta sisältävissä suovesissä jopa 0,1 mg/l. Huuhtouman aiheuttava eroosio voi nostattaa rautapitoisuuksia jokivesissä jopa yli 0,1 mg/l arvoihin. Hapettomissa oloissa rauta liukenee veteen helpommin, jolloin hapettomassa alusvedessä pitoisuus voi olla jopa 10 mg/l (Oravainen 1999). Hankkeen aikana todettu rautapitoisuuden keskiarvo oli noin 110 mg/l. Ristiinan vanhan kaatopaikan suotovesi on siis äärimmäisen rautapitoista. Suhteutettuna havaittuun noin 2,9 m<sup>3</sup>/vrk tulovirtaamaan laskee vuodessa kaatopaikalta tasausaltaaseen arviolta noin 120 kg rautaa. Mikäli suotoveden ammoniumtyppimääriä halutaan vähentää nitrifikaatio-denitrifikaatioon perustuvalla biosuodatusjärjestelmällä, tulee veden rautapitoisuus saada ennen biosuodatusta riittävän alhaiseksi, jotta happea riittää nitrifikaatiota varten.



## KLORIDI, KEMIALLINEN HAPENKULUTUS SEKÄ ORGAANINEN KOKONAISHIILI

Järjestelmästä tarkasteltiin myös kloridipitoisuutta, kemiallista hapenkulutusta ( $COD_{Mn}$ ) sekä orgaanisen kokonaishiilen (TOC) määrää (kuva 13). Kloridia todettiin myös korkeita määriä, ja sen keskiarvo tulovedessä oli noin 115 mg/l. Sosiaali- ja terveysministeriön talousveden laatuvaatimuksia ja valvontatutkimuksia koskevan asetuksen mukaan kloridille annetaan raja-arvoksi 100 mg/l kaivovedelle ja 250 mg/l yleisen vesilaitoksen vedelle lisämaininnalla, että vesi ei saa aiheuttaa putkien syöpymistä. Kloridi on kuitenkin normaalia luonnonvesissä sekä erityisesti suotovesissä. Korkeiden kloridipitoisuuksien vaikutuksesta biosuodatuksen toimintaan ei kuitenkaan ole selvää tietoa, mutta ei myöskään ole viitteitä siitä, että sillä olisi vaikutusta järjestelmän toimivuuteen.



**KUVA 13.** Kahden vuoden aikana kloridin, kemiallisen hapenkulutuksen sekä orgaanisen hiilen (TOC) määrien keskiarvot sekä keskihajonnat.

Kemiallinen hapenkulutus ( $COD_{Mn}$ ) kuvaa vedessä olevia kemiallisesti hapettavien orgaanisten aineiden määrää. Humusvesistä havaitaan yleensä 10–20 mg/l  $COD_{Mn}$ -arvoja, ja se on aina riippuvainen valuma-alueesta. Jätevesissä yleisesti havaitaan aina  $COD_{Mn}$ -arvon nousua, minkä takia voidaan määrittää voimakkaammin hapettava  $COD_{Cr}$ -arvo eli dikromaattikulutus. Esimerkiksi jätevesidirektiivissä kehoitetaan määrittämään  $COD_{Cr}$ -kulutus (Oravainen 1999). Kloridipitoisuudella on vaikutusta  $COD_{Mn}$ -arvoon, jolloin kloridimäärän kasvaessa myös  $COD_{Mn}$  kasvaa (Li ym. 2015). Ristiinan vanhan kaatopaikan suotovedessä kloridipitoisuudet ovat korkeat, millä on todennäköisesti ollut vaikutusta  $COD_{Mn}$ -arvoon. Tulevassa suotovedessä  $COD_{Mn}$ -arvo on noin 95 mg/l, josta se laskee esipuhdistuksen myötä



noin arvoon 75 mg/l. Suurin osa COD<sub>Mn</sub>-arvon laskusta johtuu todennäköisesti raudan saostumisesta eli kaksiarvoisen ferroraudan saostumisesta ferrihydroksidihydraatiksi. Biosuodatuskerroksessa yhtä selvää muutosta COD<sub>Mn</sub>-arvolle ei havaita, mutta se vaikuttaisi kasvavan hieman. Koska suotoveden ominaisuudet ovat hyvin haastavia COD<sub>Mn</sub>-arvon määrittämiselle, tulee tuloksiin suhtautua kyseenalaistavasti.

Orgaanisen kokonaishiilen (TOC) tuloksista nähdään arvojen olevan kaikissa pisteissä yli 100 mg/l, joten suotoveden voidaan todeta sisältävän suuria määriä orgaanisia yhdisteitä. Orgaaninen kokonaishiili sisältää nimensä mukaisesti kaikki hiilen orgaanisiin yhdisteisiin sitoutuneet hiilen eri yhdistemuodot, kuten haihtuneet orgaaniset yhdisteet (VOC), liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) sekä partikkelimuodossa olevan orgaanisen hiilen (POC). TOC-arvo ei ole riippuvainen aineiden hapettavuudesta, joten sillä saa paremman kuvan orgaanisten aineiden kokonaismäärästä kuin COD<sub>Mn</sub>-arvolla (Valvira, 2020). Koska suotovesi kulkeutuu maaperän läpi, on siinä luonnollisesti korkeammat orgaanisen kokonaishiilen pitoisuudet kuin esimerkiksi pintavesissä. Tämän myötä raja- tai viitearvoja suotovesille ei ole olemassa. Orgaanisen kokonaishiilen määrä vaikuttaisi hieman kasvavan biosuodatuskerroksen läpi kuljettuaan, mikä on looginen tulos biosuodatuskerroksen rakenteen (puuhaketta ja biohiiltä) takia. Jatkotutkimuksissa olisi hyvä selvittää, mistä hiilifraktioista käsittelemättömän suotoveden orgaaninen kokonaishiili koostuu.

## MUUT METALLIT

Vesinäytteistä tutkittiin myös muita metalleja niiden määrien ja mahdollisten muutosten seuraamiseksi. Tutkittavina olivat arseeni, elohopea, kadmium, kromi, kupari, lyijy, nikkeli sekä sinkki. Taulukossa 7 olevat tulokset on esitetty kaikista näytteistä havaittuina keskiarvopitoisuuksina. Verrattuna esimerkiksi raudan pitoisuuksiin (keskiarvo 11 000 µg/l) ovat näiden muiden metallien pitoisuudet pieniä (alle 40 µg/l).

**TAULUKKO 7.** Tulovedestä, esipuhdistuksen jälkeisestä pisteestä sekä linjojen poistovesistä havaitut metallien keskiarvopitoisuudet 2019–2020 (µg/l).

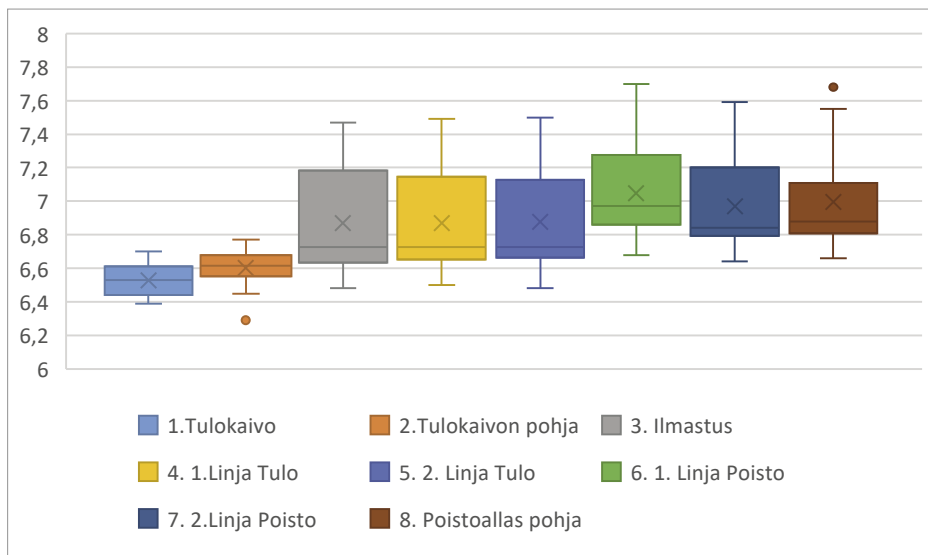
2019–2020 otettujen näytteiden keskiarvot (µg/l)				
	Tulo	Jako	L1 poisto	L2 poisto
Arseeni, As	12,0	3,8	4,4	3,9
Elohopea, Hg	0,05	0,04	0,04	0,04
Kadmium, Cd	0,02*	0,02*	0,02*	0,02*
Kromi, Cr	31,5	24,5	25,5	26,3
Kupari, Cu	0,6	0,4	0,6	0,6
Lyijy, Pb	0,6	0,2	0,1*	0,1*
Nikkeli, Ni	8,7	8,6	9,2	9,7
Sinkki, Zn	12,0	6,5	9,5	8,0

\*Alle määrittämissärajaa = ei havaittu

Tutkituista metalleista viitteitä järjestelmässä ilmenevästä muutoksesta nähdään tapahtuvan arseenissa, kromissa sekä sinkissä. Vähemmän vaikuttaisivat tapahtuvan jo esipuhdistuksessa, joten ne todennäköisesti sitoutuvat muodostuvaan rautasakkaan tai saostuvat samalla tavalla raudan kanssa. Tarkempia tutkimuksia tai selvityksiä näiden metallien osalta hankkeessa ei tehty.

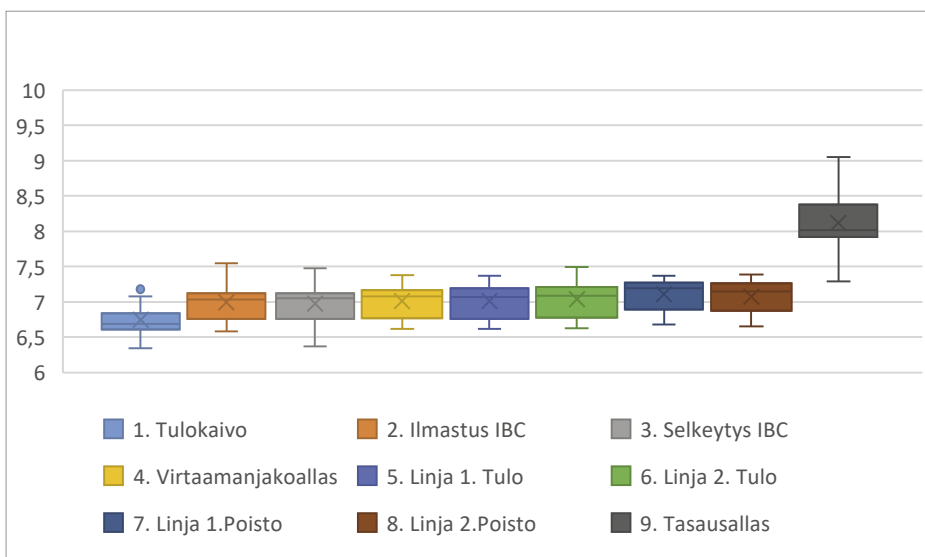
## HAPPAMUUS

Koko tutkimusaikana happamuutta mitattiin kenttämittareilla ja tuloksia varmennettiin myös näytteenotoilla. Kaatopaikalta suotautuvan veden happamuus ei vaihtele suuresti kahden vuoden havaintojen välillä. Tuloveden pH-arvo on keskimäärin noin 6,6 kahden vuoden havainnoilla. Kuvassa 14 on esitetty havaitut happamuuden keskiluvut kaikilta havainnoilta vuonna 2019.



**KUVA 14.** Vuoden 2019 happamuuden ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, ala- ja yläkvartiilit ja ääriarvot). Happamuus kasvaa järjestelmässä sekä uudestaan suodatinmateriaaleilla.

Happamuuden havaitaan kasvavan pumppauksen sekä ilmastuksen myötä noin 0,3 pH-yksikköä. Tämän jälkeen merkittäviä muutoksia happamuudessa ei tapahdu. Sama muutos havaitaan myös vuonna 2020 (kuva 15), jolloin merkittäviä pH-arvon muutoksia ei tapahdu pumppauksen eikä ilmastuksen jälkeen.



**KUVA 15.** Vuoden 2020 happamuuden ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo  $\bar{x}$ , alaja yläkvartiilit ja ääriarvot). Happamuus kasvaa hieman järjestelmässä sekä uudestaan suodatinmateriaaleilla. Tasausaltaan vesi on selvästi emäksistä.

Happamuuden seuranta on erityisen tärkeää biosuodatusjärjestelmässä, koska happamuus säätelee mikrobitoimintaa. Saatujen tulosten perusteella kuitenkin veden pH-arvo on hyvällä alueella mikrobitoimintaa varten, jolloin sillä ei todennäköisesti ole vaikutusta typenpoiston toimimattomuuteen.

## KEHITYSEHDOTUKSET HANKKEEN TULOSTEN PERUSTEELLA

Huky-hankkeen aikana Ristiinan vanhan kaatopaikan biosuodatusjärjestelmällä ei tois-taiseksi saavutettu ammoniumtypen poistossa haluttua tehokkuutta, mutta järjestelmän toiminnasta ja käyttämisestä saatiin paljon tietoa. Järjestelmää jatkokehittäessä hankkeen aikana kerättyjä tietoja voidaan hyödyntää suunnittelutyössä ja näin parantaa järjestelmän toimintaa sekä käytön helppoutta.

Kaatopaikalta muodostuvan suotoveden suurimmaksi haasteeksi osoittautui veden korkea, yli 100 mg/l rautapitoisuus. Suotovettä hapetettaessa rauta saostuu, mikä tukkii suodatinmateriaaleja ja virtaaman jakoja. Lisäksi raudan saostuminen kuluttaa veteen lisätyn hapen niin, ettei sitä jää typenpoistoa aloittavalle nitrifikaatioprosessille. Vuonna 2020 rakennettu esipuhdistus paransi tätä tilannetta, mutta ei riittävästi. Järjestelmää jatkokehittäessä raudan esipuhdistukseen tulisi kiinnittää huomiota, jotta prosessi saataisiin toimimaan kunnolla.

Koska laitteistoa halutaan kehittää niin, että siinä hyödynnetään pelkästään luonnollisiin menetelmiin perustuvaa vedenpuhdistusta, realistisimpia ratkaisuja ongelmaan ovat esipuhdistuksen ilmastuksen tehostaminen ja allaskokojen kasvattaminen. 2020 käytössä olleilla 1 m<sup>3</sup>:n kokoisissa IBC-esipuhdistusaltaissa saavutettiin jo merkittäviä, noin 80 prosentin vähennyksiä raudalle, mutta altaita piti tyhjentää useasti. Allastilavuutta on hyvä kasvattaa jopa hieman tarvittavan kapasiteetin yli, jolloin saadaan lisätilaa kertyvälle sakalle. Tällä saataisiin kasvatettua tyhjennyksiin tarvittavaa huoltoväliä. Hapetusprosessin aikana veden pinnalle muodostuu myös huomattavia määriä vaahtoa (kuva 16), joka voi kulkeutua veden pinnalla sekä pinttyä esimerkiksi virtaaman säätöihin. Tätä estettiin väliseinillä, jolloin vaahto ei päässyt liikkumaan. Useampien väliseinien avulla allastilavuutta voidaan myös jakaa erilaisia prosesseja varten.



**KUVA 16.** Alkuperäisestä ilmastusaltaasta havaittavia, ilmastuksesta syntyviä vaahtokerrostumia (kuva Aki Mykkänen).

Allastilavuutta kasvattaessa tulee myös kasvattaa ilmastuksen tehoa. Biosuodatusjärjestelmässä aikaisemmin käytössä olleet ilmastuskivet osoittautuivat paljon huoltoa vaativiksi rautasakan takia, jonka myötä kivet vaihdettiin rei'itettyihin letkuihin. Letkujen havaittiin toimivan hyvin, sillä ne kuljettivat happea veteen eikä niitä tarvinnut huoltaa lähes ollenkaan. Koska tällaisen letkuilmastimen kustannukset ovat hyvin pienet, voisi ilmastusta myös ylimitoitaa esipuhdistimessa. Mikäli veteen tulisi liikaa happea, voitaisiin yksittäisiä letkuja kytkeä pois päältä. Prosessia pystyttäisiin säätämään myös esimerkiksi vuodenajan

vaihteluiden mukaan. Kasvavan allastilavuuden takia on pidettävä myös huolta siitä, että biosuodatukseen siirtyessään vedessä on varmasti happea. Tämä voitaisiin toteuttaa lisäämällä alkuperäiseen, lavalla olevaan ilmastusaltaaseen oma, pienempi ilmastin. Esipuhdistuksen toimiessa oikein ei tässä vaiheessa prosessia vedessä tulisi olla enää merkittäviä määriä rautaa, jolloin saostumista ei enää tapahdu.

Esipuhdistuksen allastilavuus, viipymä sekä ilmastusteho tulee suunnitella kohteeseen sopivaksi mahdollisimman hyvin. Myös muutostöiden toteutuksessa olisi hyvä edetä asteittain, ja esipuhdistuksen toiminta varmennetaan ennen biosuodatusmateriaalien käyttöönottoa. Tällä estettäisiin suodatinmateriaalien mahdollinen tukkeutuminen, mikäli esipuhdistus ei olekaan riittävä raudan poistamiseen. Samalla voitaisiin tarkastella yleisesti järjestelmän virtaaman toimivuutta ja mahdollisiin ongelmiin olisi helpompi reagoida. Vedestä varmennettaisiin rautapitoisuuden alenema biosuodatuslavan puolella, minkä jälkeen järjestelmään voitaisiin lisätä biohiili-puuhakeseosta ja aloittaa typenpoistokoe.

Huky-hankkeen aikana muita havainnoituja asioita olivat myös tulovirtaaman mittaamisen haastavuus. Tätä olisi helppo parantaa lisäämällä P10-tulokaivon suotoveden tuloputkelle pieni nokka, josta virtaamamittaus sekä näytteenotot olisi helpompi toteuttaa. Jos myös tulovirtaamaa voisi mitata automaattisesti suoraan suotoveden tuloputkesta, saataisiin siitä paras mahdollinen kuva muodostuvan veden määrästä. Tuloputken haastavan sijainnin takia tätä voi kuitenkin olla vaikeaa toteuttaa.

Järjestelmässä voitaisiin myös hyödyntää jatkuvatoimista monitorointia prosessintarkkailussa. Erityisesti happipitoisuutta seuraamalla ennen ja jälkeen biosuodatusta saataisiin hyvää kuvaa järjestelmän toiminnasta. Ennen biosuodatuskerrokseen kulkeutumista vedessä tulisi olla happea nitrifikaatiota varten, mutta poistuvassa vedessä sen sijaan happea ei saisi olla, koska denitrifikaatio on anaerobinen prosessi. Jatkuvatoimisten mittausten avulla ongelmiin voitaisiin myös reagoida nopeasti ja esimerkiksi säädellä ilmastimien tehoa tarpeiden mukaisesti. Koska esimerkiksi veden pH-arvolla sekä lämpötilalla on vaikutusta nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessin toimintaan, olisi tällainen tehostettu seuranta ja säätömahdollisuus erinomainen lisä järjestelmän käytettävyydelle.

Myös virtaamien jako suunnitellulle Linja 1–1/3 vedestä, Linja 2–2/3 vedestä osoittautui vaikeaksi toteuttaa. Virtaamajaon tarkoitus oli selvittää mitoitusta, millä virtaamalla biohiilipuhakkeella saataisiin riittävä puhdistusteho. Virtaamaongelmien myötä tämä monesti johti siihen, että kaikki tuleva vesi kulki pelkästään toisen linjan läpi. Myös tulopumpun pulssimaisen pumppaamisen takia tätä oli erittäin vaikea seurata, koska vesien poistuminen ei ollut tasaista. Ongelmien myötä jatkossa voisi olla hyödyllisempää hyödyntää linjoja rinnakkaisina, jolloin niille pyrittäisiin johtamaan saman verran vettä. Tällöin tukkeutumisien ja virtaamaongelmien estäminen helpottuisi. Rinnakkaisuus olisi hyväksi myös tulosten tarkastelussa. Järjestelmän toiminnasta voitaisiin olla varmempia, jos molemmista linjoista todettaisiin samankaltaisia tuloksia.

## YHTEENVETO

Ristiinan vanhan kaatopaikan biosuodatuslaitteisto osoittautui Huky-hankkeen aikana vaativaksi tutkimuskohteeksi lähinnä suotoveden ominaisuuksien takia. Kaatopaikalta tulevan suotoveden yli 100 mg/l rautapitoisuus aiheuttaa muun muassa saostuessaan mekaanisia ongelmia tukkeuttamalla järjestelmää, ja suurimpana ongelmana raudan saostusprosessi kuluttaa veteen lisätyn hapen, jolloin happea ei riitä typenpoiston aloittavalle nitrifikaatioprosessille. Typen analyysituloksissa on todettavissa, ettei biosuodatuslaitteisto toimi halutulla tavalla eikä typelle tapahdu järjestelmässä minkäänlaista muutosta.

Saatujen tulosten ja havaintojen perusteella laitteisto vaatii tehokkaamman raudan esipuhdistimen, jonka avulla nitrifikaatio saataisiin käynnistettyä ja nitrifikaatio-denitrifikaatio-typenpoistoprosessi toimimaan. Käytännössä tämä tarkoittaisi allastilavuuden sekä ilmastustehokkuuden kasvattamista. Myös suunniteltu virtaamanjako osoittautui vaikeaksi toteuttaa, jolloin jatkossa olisi hyödyllistä ajatella vedenjakoa niin, että viereiset linjat toimisivat rinnakkaisina. Myös järjestelmän käytettävyyttä voitaisiin parantaa muutamilla hyvin kustannustehokkailla ratkaisuilla. Huky-hankkeen toiminta-aikana Ristiinan vanhalta kaatopaikalta sekä suotovesien biosuodatusjärjestelmästä kerättiin paljon tietoa, jota kohteesta ei ollut aikaisemmin kerätty. Esimerkiksi suotoveden tulokaivon tarkkoja virtaamamääriä oli havainnointu vain 2–4 kertaa vuodessa, joten niistä oli saatu vain suuntaa antava kuva kohteesta muodostuvista suotoveden määristä.

Ristiinan vanhan kaatopaikan suotovesien biosuodatuslaitteisto on osoittanut hyvin, kuinka haastavaa suotovesien käsittely voi olla. Suotovesien puhdistaminen suoraan paikan päällä on kuitenkin kannattavaa, koska niiden ravinne- ja haitta-ainepitoisuudet voivat olla huomattavan korkeita ja niiden off-site-puhdistaminen erittäin kallista. Vaikka hankkeessa typenpoiston tavoitteisiin biosuodatuksella ei vielä toistaiseksi päästy, kerättiin hankkeessa paljon tietoa sekä rakennettiin hyvää pohjaa tuleville puhdistuskokonaisuuksille.

## LÄHTEET

Li, Z., Sheng, Y., Shi, W., Sun, Q., & Mortimer, R. J. G. (2015). Influence of salinity on COD measurements in coastal water management. *Desalination and Water Treatment*, 57(39), 18338–18345. Saatavissa: <http://doi.org/10.1080/19443994.2015.1091996> [Viitattu 12.1.2021]

Oravainen, R. 1999. Vesistötulosten tulkinta – opasvihkonen. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. Saatavissa: <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf> [Viitattu 11.1.2021].

SFS-EN ISO 5814:2013. Water quality. Determination of dissolved oxygen. Electrochemical probe method.

SFS-EN ISO 7027-1:2016. Water quality. Determination of turbidity. Part 1: Quantitative methods.

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 17.11.2015/1352. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2015/20151352> [Viitattu 12.1.2021].

Valvira, 2020. Talousvesiasetuksen soveltamisohje. Osa III – Enimmäisarvojen perusteet. Saatavissa: [https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/talousvesi/talousvesiasetuksen\\_soveltamisohje](https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/talousvesi/talousvesiasetuksen_soveltamisohje) [Viitattu 2.3.2021]



# T&K-TOIMINNAN AKTIVOINTI JA TOIMIJAVERKOSTON KOKOAMINEN HYÖDYNTÄMÄÄN T&K-YMPÄRISTÖÄ

Jussi Heinimö

Etelä-Savon maakunnassa on tehty pitkäjänteistä työtä uusien biojalosteiden, erityisesti biohiilen, kehittämiseksi ja kaupallistamiseksi. Yksi mielenkiintoisimmaksi arvioitu uusi sovellus biohiilelle on hulevesien käsittelyssä. Hulevesien käsittely on myös tärkeää vesistöjen veden laadun kannalta. Mikkeliin on rakentumassa EcoSairila-kehittämislustan ja sinisen biotalouden osaamiskeskuksen (BEM) ympärille ainutlaatuinen vesiosaamisen tutkimus-, tuotekehitys- ja pilotointiympäristö, joka edistää suomalaista vesiosaamista ja vesiliiketoiminnan kehittymistä. Mikkeliin on myös kansainvälisen tason puhtaan veden tutkimusosaamista (LUT ja Xamk).

Aiemmin tehdyn työn ja esiselvitysten tuloksena Mikkelin kaupunki on valmistellut biohiiltä hyödyntävän hulevesien käsittelyratkaisun toteuttamista Pitkäjärven laskevien hulevesien laadun parantamiseksi ja Ristiinan suljetun kaatopaikan suotovesien käsittelyyn. Pitkäjärven hulevesien käsittelyratkaisun on tunnustettu voivan tarjota yksittäistä hulevesien käsittelyinvestointia huomattavasti laajempia mahdollisuuksia vahvistaa entisestään Mikkelin vesiosaamista, tukea EcoSairila-kehittämislustan mukaisia tavoitteita ja tarjota mahdollisuuksia yrityksille uusien hulevesien käsittelyratkaisuiden kehittämiseen ja testaamiseen.

Vuosina 2019–2021 toteutetun Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy:n, Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy:n ja Mikkelin kaupungin Hulevesien käsittelyn T&K ympäristö-hankekokonaisuuden yhtenä tavoitteena on ollut rakentaa ja ottaa käyttöön Mikkelin Pitkäjärvelle hulevesien käsittelyjärjestelmä, joka samalla vahvistaa entisestään Mikkelin vesiosaamista, tukee EcoSairila-kehittämislustan mukaisia tavoitteita sekä tarjoaa mahdollisuuksia yrityksille uusien vedenpuhdistuksen suodatinmateriaalien kehittämiseen ja testaamiseen.



**KUVA 1.** Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö Mikkelin Pitkäjärvellä (kuva Jussi Heini-mö).

## T&K-TOIMINNAN AKTIVOINTI JA TOIMIJAVERKOSTOJEN KOKOAMINEN: TAVOITTEET

Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n osuutena hankekokoaisuudessa on ollut Pitkäjärvelle rakennettua hulevesien käsittelyjärjestelmää hyödyntävän T&K-toiminnan aktivointi ja T&K-toimintaan liittyvien toimijaverkostojen kokoaminen. Tavoitteena on ollut myös tunnistaa potentiaalisia uusia yhteistyökumppaneita aiemmin hankkeen valmisteluvaiheessa tunnistettujen lisäksi, ja ne voisivat hyödyntää ympäristöä tutkimus-, kehitys- ja testaustoiminnassa. Lisäksi osuuteen kuului myös laatia T&K-ympäristöstä markkinointimateriaali ja aktivoida yrityksiä sekä T&K-toimijoita hyödyntämään yhdessä rakennettavaa ympäristöä.

## T&K-TOIMINNAN AKTIVOINTI JA TOIMIJAVERKOSTOJEN KOKOAMINEN: TOIMENPITEET JA TULOKSET

Hankkeen alkuvaiheessa järjestelmän ollessa rakenteilla järjestelmästä ja sen mahdollisuuksista laadittiin englanninkielinen esittelyvideo ”Water purification in Finland: new urban runoff water treatment system in Mikkeli, Finland”, joka on saatavilla YouTubessa osoitteessa <https://www.youtube.com/watch?v=Gk3-eQDKRYA>. Järjestelmän valmistuttua

valmisteltiin ja toteutettiin järjestelmän käyttöönottilaisuus 4.6.2019. Tilaisuus järjestettiin osana Mikkelissä järjestettyä Valtakunnallisen vesienkunnostusverkoston kesäpäivät -tapahtumaa. Tapahtumassa julkistettiin myös järjestelmästä ja sen mahdollisuudesta kertova video. Järjestelmän käyttöönottilaisuus sai runsaasti mediahuomiota, ja muun muassa YLE-Mikkeli teki aiheesta radiojutun.



**KUVA 2.** Hulevesien T&K-järjestelmän käyttöönottilaisuus 4.6.2019 (kuva Jussi Heinimö).

Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmän käyttöönottoaihe ja järjestelmän toimivuuden saattaminen vastaamaan suunnitteluarvoja vei alun perin suunniteltua enemmän aikaa. Tänä aikana järjestelmän mahdollisuuksia tuotiin esiin ja esiteltiin Miksein eri verkostoissa ja esimerkiksi eri projekteissa, muun muassa EU-hankkeissa, ja Suomen biohiililyhdistyksen tapaamisissa. Lisäksi Mikkelin kaupungin kanssa suunniteltiin ja valmisteltiin periaatteet ja toimintamalli, jonka puitteissa T&K-toimijat ja yritykset voivat hyödyntää järjestelmää testauksessa ja tuotekehityksessä.

Vuoden 2020 loppupuolella järjestelmästä laadittiin englanninkielinen teaser-tyyppinen markkinointimateriaali, joka sisältää aiemmin julkaistua videota tarkempia yksityiskohtia

järjestelmästä ja sen käyttömadollisuuksista. Markkinointimateriaalin ulkoasu suunniteltiin Blue Economy Mikkeli -brändin mukaiseksi. Teaser julkaistiin joulukuussa 2020, ja se löytyy Mikkelin kaupungin nettisivuilta osoitteesta <https://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2021/01/Pitkajarvi-RD-Facility-Teaser-171220.pdf>

Hankekokonaisuuden aikana on löytynyt järjestelmän käytöstä kiinnostuneita toimijoita, joiden kanssa on suunniteltu biohiilipohjaisten suodatinmateriaalien testausta ja joille on kartoitettu paikallisia potentiaalisia yhteistyökumppaneita. Hankkeen tuloksena on käynnistetty laajemman hankekokonaisuuden valmistelu, johon sisältyy suodatinmateriaalien testausta Pitkäjärven järjestelmässä. Hankekokonaisuuden rahoituspäätöksiä odotetaan vuoden 2021 puoliväliin mennessä. Hankkeen aikana ainakin yksi yritys on aloittanut biohiilen testaukseen liittyvän yhteistyön Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun kanssa.

