

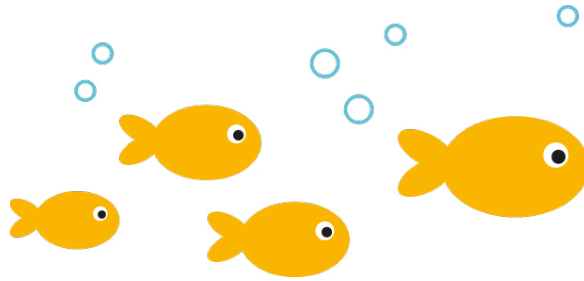


HULA – HULEVESIEN LAADULLINEN HALLINTA JA HAITALLISTEN AINEIDEN MONITOROINTI

Tuija Ranta-Korhonen & Leena Pekurinen (toim.)



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu



Tuija Ranta-Korhonen & Leena Pekurinen (toim.)

HULA – HULEVESIEN LAADULLINEN HALLINTA JA HAITALLISTEN AINEIDEN MONITOROINTI



XAMK KEHITTÄÄ 206

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2022

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Manu Eloaho

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-499-7 (nid.)

ISBN: 978-952-344-500-0 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN: 2489-3102 (verkko)

julkaisut@xamk.fi

LUKIJALLE

Hula – Hulevesien laadullinen hallinta ja haitallisten aineiden monitorointi -hanke toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusallalla. Hankkeessa kartoitettiin hulevesien laatua ja tutkittiin hulevesirakenteiden toimivuutta hulevesien laadullisessa hallinnassa kolmessa eri pilot-kohteessa Mikkelissä. Samalla testattiin eri mittaus- ja monitorointimenetelmien soveltuvuutta hulevesien seurantaan. Hankkeessa kehitettiin myös välineitä monitoroinnin avuksi.

Hula-hanketta rahoitti ympäristöministeriö Vesiensuojelun tehostamisohjelmasta (www.ym.fi/vedenvuoro) 132 996 eurolla. Hanketta toteutettiin ajalla 1.3.2021–30.11.2022. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa hankkeen projektipäällikkönä toimi FM, ins. (AMK) Tuija Ranta-Korhonen, tutkimusinsinöörinä ins. (AMK) Marleena Tirkkonen (ajalla 1.8.2021–30.11.2022) sekä projektitutkijoina ins. (AMK) Aki Mykkänen (ajalla 1.8.2021–30.11.2022) ja ins. (ylempi AMK) Leena Pekurinen (ajalla 2.5.2022–30.11.2022). Hankkeessa toimi palkattomana harjoittelijana Anssi Göös (välillä 2.5.–31.8.2022). Hula-hankkeen vastuullisena johtajana toimi tutkimusjohtaja, FT Lasse Pulkkinen, hankkeen yhteyshenkilönä tutkimusryhmäpäällikkö, TKT Hanne Soininen ja hankeasiantuntijana Hanna-Maija Penttinen.

Hanketyön etenemistä ohjasi ja valvoi ohjausryhmä, johon kuuluivat EcoSairilan koordinaattori Panu Jouhkimo Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy:stä, ryhmäpäällikkö Markus Sillanpää Suomen ympäristökeskuksesta, ympäristösuunnittelija Heikki Tanskanen Mikkelin seudun ympäristöpalveluista, suunnittelupäällikkö Antero Cederström Mikkelin kaupungin Infra- ja viheraluepalveluista sekä tutkimusryhmäpäällikkö Hanne Soininen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta. Hankkeen ohjausryhmässä rahoittajan edustajina toimivat Etelä-Savon ELY-keskuksen rahoitusasiantuntija Esa Pekonen, hankepäällikkö Anitta Sihvonen, hankekoordinaattori Riina Tuominen, sekä varajäsenenä ympäristösuunnittelija Tuula Vanhanen.

Hankkeen työryhmään ovat kuuluneet suunnittelupäällikkö Antero Cederström ja kehitysinsinööri Sari Hämäläinen Mikkelin kaupungin Infra- ja viheraluepalveluista, ympäristösuunnittelija Heikki Tanskanen Mikkelin seudun ympäristöpalveluista ja projektipäällikkö Iiro Kiukas Ramboll Finland Oy:stä.

Hanketoimijat kiittävät hankkeen rahoittajia kehittämistyön mahdollistamisesta sekä muita hankkeeseen osallistuneita aktiivisesta osallistumisesta hanketyöhön.

Mikkelissä 17.11.2022

Tuija Ranta-Korhonen, projektipäällikkö

TEKIJÄT

ANSSI GÖÖS, opiskelija, insinööri (AMK)

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

AKI MYKKÄNEN, insinööri (AMK), projektitutkija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

LEENA PEKURINEN, insinööri (YAMK), projektitutkija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

TUIJA RANTA-KORHONEN, FM, insinööri (AMK), TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

HANNE SOININEN, TkT, tutkimusryhmäpäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

MARLEENA TIRKKONEN, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

TUOMAS VENÄLÄINEN, insinööri (AMK), laboratorioinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala, Mikropolis-tutkimusyksikkö

SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
TEKIJÄT.....	4
HULA-HANKKEEN TAVOITTEET JA TOIMENPITEET	6
Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen	
PERUSTIETOA HULEVESISTÄ.....	8
Marleena Tirkkonen & Leena Pekurinen	
AVUKSI MONITOROINNISSA – HANKKEESSA KEHITETYT SONDIKELLUKE JA SEDIMENTTIKERÄIN.....	22
Tuija Ranta-Korhonen & Aki Mykkänen & Tuomas Venäläinen	
KARIKON HULEVESIALLAS – KOHDEKUVAUS JA MONITOROINTIKEINOT.....	27
Tuija Ranta-Korhonen & Aki Mykkänen & Marleena Tirkkonen	
KARIKON HULEVESIALLAS – MONITOROINNIN TULOKSET.....	35
Aki Mykkänen & Marleena Tirkkonen & Tuija Ranta-Korhonen & Anssi Göös	
KARIKON HULEVESIALLAS – MIKROMUOVIT VEDESTÄ JA SEDIMENTISTÄ.....	68
Tuija Ranta-Korhonen & Aki Mykkänen	
PITKÄJÄRVEN TUTKIMUSYMPÄRISTÖ – KOHDEKUVAUS JA MONITOROINTIKEINOT	79
Tuija Ranta-Korhonen & Aki Mykkänen	
PITKÄJÄRVEN SUODATINJÄRJESTELMÄ – MONITOROINNIN TULOKSET.....	87
Aki Mykkänen & Marleena Tirkkonen & Tuija Ranta-Korhonen & Anssi Göös	
NAISTINGIN HULEVESIKOSTEIKKO – KOHDEKUVAUS JA MONITOROINTIKEINOT	116
Tuija Ranta-Korhonen & Aki Mykkänen & Marleena Tirkkonen	
NAISTINGIN HULEVESIKOSTEIKKO – MONITOROINNIN TULOKSET.....	121
Aki Mykkänen & Marleena Tirkkonen & Tuija Ranta-Korhonen & Anssi Göös	
PILOT-KOhteiden ÖLJYHIILIVEDYT	135
Leena Pekurinen	
HULEVESIEN KÄSITTELYSUOSITUKSET JA TEKNIS-TALOUDELLISTA TARKASTELUA – HULA-HANKKEEN KOKEMUKSIA	147
Tuija Ranta-Korhonen & Aki Mykkänen & Marleena Tirkkonen	

HULA-HANKKEEN TAVOITTEET JA TOIMENPITEET

Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soinen

Hula – Hulevesien laadullinen hallinta ja haitallisten aineiden monitorointi -hankkeessa kartoitettiin hulevesien laatua ja niiden sisältämien haitallisten aineiden päästölähteitä case-kohdealueilla Mikkelin kaupungissa. Hanke toteutti tutkimustyötä kolmessa eri pilot-kohteessa. Pilot-kohteita olivat Karikon hulevesiallas, Pitkäjärven hulevesien tutkimusympäristö sekä Naistingin hulevesikosteikko. Kohteiden monitoroinnin ja virtaaman mittaamisen avulla selvitettiin hulevesien aiheuttamaa kaupunkialueen vesien kuormitusta. Lisäksi hankkeen aikana arvioitiin monistettavien hulevesiratkaisujen ja -rakenteiden teknistaloudellista kannattavuutta.

TAVOITTEENA HULEVESIEN KÄSITTELYRAKENTEISSA TAPAHTUVIEN PROSESSIEN SEURAAMINEN

Hankkeen erityisenä tavoitteena oli seurata hulevesien käsittelyrakenteissa tapahtuvia prosesseja ja niiden vaikuttavuutta. Käsittelyrakenteiden seuranta toteutettiin muun muassa online-monitoroinnin ja näytteenoton avulla. Hankkeen toimenpiteet tuottivat tietoa erityyppisistä hulevesien käsittelyratkaisuista ja niiden soveltuvuudesta erilaisten taajama-toimintojen seurauksena syntyvien hulevesien käsittelyyn. Pilot-kohteiden monitoroinnin tulosten pohjalta laadittiin ohjeistus erilaisten hulevesien käsittelyjärjestelmien käytettävyydestä ja soveltuvuudesta eri päästölähteille.

HANKKEEN TOIMENPITEET

Hankkeen toimenpiteissä selvitettiin käytössä olevia hulevesien käsittelymenetelmiä ja ratkaisuja sekä tutkittiin hulevesien laatua eri keinoin. Lisäksi hankkeessa kehitettiin apuvälineitä näytteenottoon ja online-seurannan tueksi sekä tutkittiin uudenlaisten näytteenottimien soveltuvuutta hulevesien monitorointiin. Hankkeen toimenpiteet on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Hankkeen kolme toimenpidettä (kuva: Tuija Ranta-Korhonen).

TULOKSENA TIETOA HULEVESIEN SISÄLTÄMISTÄ HAITTA-AINEISTA

Hankkeen toimenpiteet tuottivat tietoa erityyppisistä hulevesien käsittelyratkaisuista ja niiden soveltuvuudesta erilaisten taajamatoimintojen seurauksena syntyvien hulevesien käsittelyyn. Pilot-kohteiden monitoroinnin tulosten pohjalta laadittiin ohjeistus erilaisten hulevesien käsittelyjärjestelmien käytettävyydestä ja soveltuvuudesta eri päästölähteille.

Kehittämällä hulevesirakenteita osana kaupunkien infrastruktuuria ja urbaania maisemaa voidaan suojella vesistöjen veden laatua sekä luoda kaupungin sisälle monimuotoisia ekosysteemejä. Hula-hankkeen tulokset ovat vapaasti alan toimijoiden, kaupunkien ja kuntien käytettävissä, ja niistä on toivottavasti hyötyä sekä olemassa olevien rakenteiden kehitystyössä että tulevaisuuden hulevesiratkaisuja suunniteltaessa ja rakennettaessa.

Pääset tutustumaan Hula-hankkeen tuloksiin tämän julkaisun artikkelien avulla. Artikkelit kertovat muun muassa hankkeen pilot-kohteista, niissä tehdyistä tutkimuksista ja niiden tuloksista. Lisäksi julkaisusta löytyy tietoa erilaisten hulevesirakenteiden toimivuudesta sekä hankkeessa kehitetyistä monitoroinnin apuvälineistä ja näytteenottimista.

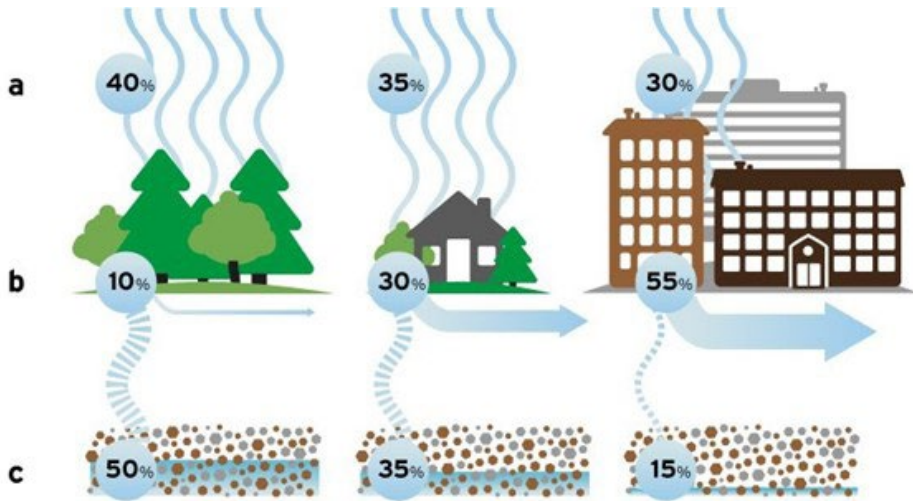
PERUSTIETOA HULEVESISTÄ

Marleena Tirkkonen & Leena Pekurinen

Hulevedeksi kutsutaan rakennetun alueen sade- ja sulamisvesiä, jotka eivät haihdu tai imeydy maaperään. Hulevesien määrä kasvaa sitä mukaan, kun kaupungistuminen lisääntyy ja rakennettujen alueiden pinta-alat kasvavat. Kaupungistuminen oli Suomessa voimakasta 1960-luvulla, ja Tilastokeskuksen mukaan 70 prosenttia suomalaisista asui kaupunkialueilla vuonna 2016 (Tilastokeskus 2017). Kaupunkialueilla tiet ja paikoitusalueet ovat useimmiten päällystettyjä, ja niiden hulevedet johdetaan hulevesien käsittelyjärjestelmiin. Kaupungistuminen vaikuttaa paitsi hulevesien syntymiseen myös sadantaan kaupunkialueella. Kuntien velvollisuutena on huolehtia hulevesien käsittelystä niin, että hulevedet eivät aiheuta pohja- tai pintavesien saastumista eivätkä haittaa ympäristölle tai terveydelle.

RAKENNETUN ALUEEN HULEVEDET

Hulevesivalunnan syntymiseen ja määrään vaikuttavat muun muassa vettä läpäisemättömien pintojen määrä, maaperän ominaisuudet, maanpinnan muodot, kasvipeitteen määrä, sadanta ja sadantaa edeltäneen kuivan jakson pituus. Rakennettu alue ja vettä läpäisemättömien pintojen, kuten teiden, pysäköintialueiden ja kattojen, suuri määrä muuttaa veden luontaista kiertokulkua eli veden haihduntaa, valuntaa ja suotautumista maaperään (kuva 1). Rakennetulla alueella veden haihdunta on vähäisempää kuin luonnontilaisella alueella, sillä kasvillisuus lisää veden haihduntaa. Läpäisemättömät pinnat vähentävät maaperään imeytyvän huleveden määrää, mikä takia pohjaveden muodostuminen vähenee kaupunkialueilla. Rakennettujen alueiden tiiviit pinnat sekä lisäävät muodostuvien hulevesien määrää että nopeuttavat hulevesien muodostumista. (Kuntaliitto 2012, 18–19, 91.)



Kuva 1. Rakennetun alueen ja vettä läpäisemättömien pintojen vaikutus hulevesien a) haihtumiseen, b) pintavalunnan muodostumiseen ja c) veden suotautumiseen maaperään (kuva: mukailten HSY s.a).

Sadantaa esiintyy 5–10 prosenttia enemmän taajama-alueilla kuin luonnontilaisilla alueilla, ja arviolta 40 prosenttia keskimääräisestä vuosittaisesta sademäärästä sataa lumena (Kuntaliitto 2012, 18, 131). Kaupunkialueilla sateen todennäköisyyttä lisäävät muun muassa karkeiden pintojen aikaansaama ilmavirtojen pyörteisyys sekä ilmaansaasteiden aiheuttama lisätiivistyminen. Kaupungistumisen on todettu lisäävän lumisateiden määrää ja vaikuttavan lumikauteen. Lumikausi on kaupunkialueilla lyhyempi verrattuna maaseutualueisiin. Kaupungin sisällä lumiolosuhteet vaihtelevat lumen aurauksen ja kasaamisen takia. Hulevettä muodostuu erityisesti vesisateiden aiheuttamassa lumen sulamisessa. (Kotola & Nurminen 2005, 12–16.)

Ilmastonmuutoksen myötä ajanjaksoon 2071–2100 mennessä kesäkuukauden sademäärien arvioidaan kasvavan noin 10–15 prosenttia ja rankempien vuorokausisateiden 10–30 prosenttia. Kaupunkialueella rankkasateet voivat aiheuttaa hulevesiviemäreiden ja -rakenteiden mitoituksen ylittymistä, jolloin syntyy taajamatulvia. (Aaltonen ym. 2008, 8.) Taajamatulvat voivat aiheuttaa haittaa rakennuksille, minkä takia on tärkeää suunnitella tulvareitit eli maanpäälliset huleveden virtausreitit, esimerkiksi viherpainanteet ja reunakiveykset. Tulvareittien avulla hulevedet ohjataan pois riskikohteiden läheisyydestä, jos hulevesiviemäreiden kapasiteetti ylittyy. (Kuntaliitto 2012, 15–19.)

LAINSÄÄDÄNTÖ JA RAJA-ARVOT

Hulevesien hallinnan järjestämisen kannalta tärkeimmät lait ovat maankäyttö- ja rakennuslaki (132/199, MRL), vesihuoltolaki (119/2001, VHL), vesilaki (587/2011, VL) sekä laki tulvariskien hallinnasta eli tulvariskilaki (620/2010). Myös laki vesienhoidon järjestämisestä eli vesienhoitolaki (1299/2004, VHJL), ympäristönsuojelulaki (86/2000, YSL), luonnonsuojelulaki (1096/1996), laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta (669/1978, KatuL), maantielaki (503/2005) sekä ratalaki (110/2007) sisältävät hulevesiin liittyviä säännöksiä. Lisäksi osittain vanhentuneessa Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on joitakin velvoittavia määräyksiä. (Kuntaliitto 2017, 14.)

MAANKÄYTTÖ- JA RAKENNUSLAKI

Maankäyttöä ja rakennuslain yleinen tavoite on alueiden käyttö ja rakentaminen niin, että edellytykset hyvälle elinympäristölle ja kestäväen kehityksen edistämiseksi ovat olemassa. Hulevesien hallintaa koskevat erityiset säännökset ovat luvussa 13 a. Se sisältää muun muassa hulevesien hallinnan tavoitteet, vastuut, valvonnan, kunnan hulevesijärjestelmän, hulevesien hallintaan liittyvät viranomaistehtävät, hulevesien hallinnan ohjaamisen sekä suunnittelun. Hulevesien hallintaa koskevat yleiset tavoitteet ovat

- hulevesien hallinnan suunnitelmallinen kehittäminen
- hulevesien imeyttäminen ja viivyttäminen
- hulevesistä ympäristölle ja kiinteistölle aiheutuvien haittojen ehkäiseminen
- hulevesien johtamisesta jätevesiviemäriverkostoon luopumisen edistäminen. (Maankäyttö- ja rakennuslaki, 103 c §.)

Jos kiinteistön hulevesistä on haittaa, kunta voi antaa yhden tai tarvittaessa useamman kiinteistön haltijalle määräyksen haitan poistamiseksi (Maankäyttö- ja rakennuslaki, 103 k §). Kunta voi periä kiinteistöiltä vuosittaista hulevesimaksua, jolla katetaan kustannuksia hulevesijärjestelmän toteuttamisesta. Kunnan kiinteistön omistajalle tai haltijalle toimittamassa laskussa on ilmoitettava maksun peruste, ohjeet muistutuksen tekemisestä sekä kunnan laskutuksesta vastaavan viranomaisen ja laskuttajan yhteystiedot. Hulevesimaksu on suoraan ulosottokelpoinen. (Maankäyttö- ja rakennuslaki, 103 n–o §.)

Maankäyttö- ja rakennuslakia uudistetaan parhaillaan. Hallituksen esitys uudeksi rakentamislaki ja siihen liittyviksi laeiksi on annettu eduskunnalle 15.9.2022. Eesityksen mukaan maankäyttö- ja rakennuslaista kumotaan rakentamista koskevat luvut ja jäljelle jäävät osat nimettäisiin alueidenkäyttölakeiksi. Uudistuksen on tarkoitus tulla voimaan vuoden 2024 alusta.

VESIHUOLTOLAKI JA VESILAKI

Vesihuoltolain tavoitteena on turvata kohtuullisin kustannuksin riittävä moitteettoman talousveden saanti sekä terveyden- ja ympäristönsuojelun kannalta asianmukainen viemärointi. Vesihuoltolakia sovelletaan vesihuoltoon sekä hulevesien viemärointiin silloin, kun siitä huolehtii vesihuoltolaitos. (Vesihuoltolaki 1–2 §.)

Vesihuoltolain 3 a luvussa säädetään huleveden viemäroinnin järjestämisestä ja hoitamisesta. Kunta voi vesihuoltolaitoksen kanssa neuvoteltuaan päättää huleveden viemäroinnistä vesihuoltolaitoksen kanssa silloin, kun vesihuoltolaitos kykenee huolehtimaan siitä ja maksut viemäroinnin kustannusten kattamiseksi ovat kohtuulliset ja tasapuoliset. Vesihuoltolaitoksen viemäroinnin alueella olevat kiinteistöt on liitettävä laitoksen hulevesiviemäriin. Jos viemäriin johdettavan huleveden laatu tai määrä aiheuttaa laitokselle ongelmia, se voi kieltäytyä liittämästä kiinteistöä hulevesiviemäriin. Kiinteistön omistaja voi tarvittaessa hakea vapautusta liittymisvelvollisuudesta. Hakemus tehdään kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle. Hulevesiä voi johtaa jätevesiviemäriin, jos jätevesiviemäri on rakennettu ennen vuotta 2015 ja se on mitoitettu huleveden pois johtamiseen, alueella ei ole huleveden viemäriverkostoa ja vesihuoltolaitos pystyy huolehtimaan jätevesiviemäriin johdettavasta hulevedestä. (Vesihuoltolaki, 17 a–d §.)

Vesilain tavoitteena on yhteiskunnallisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä vesivarojen ja vesiympäristön käytön edistäminen, järjestäminen ja yhteensovittaminen, vedestä ja vesiympäristön käytöstä aiheutuvien haittojen ehkäiseminen ja vähentäminen sekä vesivarojen ja vesiympäristön tilan parantaminen. Lakia sovelletaan vesitalousasioihin, kuten veden ottamiseen, ojitukseen ja vesistön säännöstelyyn. (Vesilaki, 1–2 §.)

LAKI TULVARISKIEN HALLINNASTA ELI TULVARISKILAKI

Tulvariskilaissa säädetään tulvariskien hallinnasta. Tarkoituksena on vähentää tulvariskejä, ehkäistä ja lieventää tulvista aiheutuvia vahinkoja sekä edistää varautumista tulviin. Lain täytäntöönpanoa ohjaa ja seuraa maa- ja metsätalousministeriö yhteistyössä sisäasiainministeriön, liikenne- ja viestintäministeriön sekä ympäristöministeriön kanssa. Tulvariskilaissa säädetään eri viranomaisten vastuut tulvariskien hallinnassa. Ylimpänä viranomaisena toimii elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus). Se tekee vesistöalueiden ja merenrannikon tulvariskien alustavia arviointeja, valmistelee niille ehdotukset merkittävien tulvariskialueiden nimeämiseksi ja laatii niille tulvavaara- ja tulvariskikartat ja ehdotukset tulvariskien hallintasuunnitelmiksi. Lisäksi ELY-keskus avustaa kuntia hulevesitulvariskien alustavassa arvioinnissa, merkittävien tulvariskialueiden nimeämisessä sekä tulvariskien hallintasuunnitelmien laatimisessa. (Tulvariskilaki, 1 §, 3–4 §.)

Kuntien tehtävänä on laatia alustavia arviointeja hulevesitulvista aiheutuvista tulvariskeistä, nimetä hulevesitulvien merkittävät tulvariskialueet ja laatia alueille tulvavaarakartat ja tulvariskikartat. Kunta laatii ja hyväksyy hulevesitulvan vuoksi merkittäviksi tulvariskialueiksi nimetyille alueille tulvariskien hallintasuunnitelman. (Tulvariskilaki, 19 §.)

KUNNAN VASTUUT

Kunnan on järjestettävä tarpeelliset hulevesien käsittelypalvelut silloin, kun hulevesiä ei voida hallita kiinteistöllä. Käytännössä se tarkoittaa hulevesijärjestelmän toteuttamista. Eriksen kunta voi antaa hulevesiviemäröinnin vesihuoltolaitoksen tehtäväksi, jolloin kunnan huolehdittavaksi jää hulevesien muu hallinta. (Kuntaliitto 2017, 14.) Kunnan laatimassa hulevesisuunnitelmassa on huomioitava asemakaava, katusuunnitelma sekä yleisten alueiden suunnitelma. Lisäksi sen pitää täyttää toimivuutta, turvallisuutta ja viihtyisyyttä koskevat vaatimukset myös sademäärän ja rankkasateiden lisääntyessä. Kunnan hulevesijärjestelmän toteutuksessa on huolehdittava asemakaavan mukaisen maankäytön tarpeet, mikäli niistä aiheutuvat kustannukset eivät ole kohtuuttomat kiinteistön omistajalle tai haltijalle. (Maankäyttö- ja rakennuslaki, 103 l–m §.)

Kunnan määräämä monijäseninen toimielin (viranomainen) voi antaa hulevesien hallinnasta määräyksiä koskien hulevesien laatua, määrää, maahan imeyttämistä, viivyttämistä ja tarkkailua sekä hulevesien käsittelyä kiinteistöllä. Lisäksi se voi antaa määräyksiä kiinteistön hulevesijärjestelmän liittämisestä kunnan hulevesijärjestelmään sekä muita hulevesien hallintaa koskevista seikoista. Kunta määrää kiinteistön ja kunnan hulevesijärjestelmän rajakohdan, jossa vastuu hulevesien johtamisesta ja käsittelystä siirtyy kiinteistöltä kunnalle. Rajakohta vastaa käytännössä vesihuoltolain mukaista liitântäkohtaa, ja kiinteistöllä voi olla useampia liitântäkohtia. (Maankäyttö- ja rakennuslaki, 103 g, 103 i–j §.)

Kunnan tehtävänä on tiedottaa hulevesiä koskevista asioista. Keskeisiä kohderyhmiä ovat kuntalaiset, rakentajat ja urakoitsijat, suunnittelijat, tiedotusvälineet, toimittajat, eri viranomaiset, päätöksentekijät ja elinkeinoelämä. Se, mitä tiedotus- ja viestintäkanavaa käytetään, riippuu kohderyhmästä ja tiedotettavasta asiasta.

KIINTEISTÖN OMISTAJAN VASTUUT

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan kiinteistöllä muodostuvien hulevesien hallinnasta vastaa kiinteistön omistaja. Jos hulevesiä ei voi imeyttää kiinteistöllä tai niitä ei johdeta hulevesiviemäriverkostoon, hulevedet tulee johtaa kunnan hulevesijärjestelmään. Kiinteistön omistajan tai haltijan on hankittava hulevesijärjestelmään kuuluvat laitteistot ja rakenteet sekä huolehdittava niiden yhteensopivuudesta kunnan hulevesijärjestelmän kanssa. Kiinteistön omistaja tai haltija voi hakemuksesta vapautua edellä mainitusta velvoitteesta, jos hän voi huolehtia hulevesien hallinnasta asianmukaisesti muulla tavoin. (Maankäyttö- ja rakennuslaki, 103 e–f, h §.)

Jos kiinteistö on tehnyt sopimuksen vesihuoltolaitoksen kanssa, ei maankäyttö- ja rakennuslain mukaista sopimusta tarvita. Se, sovelletaanko hulevesien johtamiseen ja hulevesiviemäriin liittymiseen maankäyttö- ja rakennuslakia vai vesihuoltolakia, riippuu siitä, johdetaanko kiinteistön hulevedet kunnan hulevesijärjestelmään vai vesihuoltolaitoksen hulevesiviemäriin. Kiinteistön omistaja tai haltija on vastuussa myös rakentamisaikaisten hulevesien hallinnasta ja johtamisesta. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 165 §.)

HULEVESIEN HAITALLISTEN AINEIDEN RAJA-ARVOT

Suomessa hulevesien sisältämille haitta-aineille ei ole annettu raja-arvoja. Suomalaisissa hulevesitutkimuksissa verrataan saatuja tuloksia usein ruotsalaisiin Tukholman läänin hulevedelle ehdotettuihin raja-arvoihin. Airolan ym. (2014) tekemässä tutkimuksessa selvitettiin Helsingin kaupungin hulevesien laatua eri maankäyttöalueilla. Taulukossa 1 on esitetty tuloksien vertailussa käytetyt Tukholman läänin huleveden raja-arvot sekä valtioneuvoston asetuksen ja sen muutosten vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista raja-arvot (1022/2006, 868/2010, 1090/2016).

Tukholman läänin huleveden raja-arvojen määrittämisessä on käytetty perustana useita tutkimuksia sekä vesipuitedirektiivin ympäristölaatuunormeja. Raja-arvoehdotus on viisiportainen, ja raja-arvot määräytyvät valuma-alueen sijainnin ja vesistön koon mukaan. Mitä pienempi vesistö ja mitä lähempänä vesistöä päästö tapahtuu, sitä tiukempi raja-arvo on. Alin raja-arvo koskee suoraan pieneen vesistöön tulevaa hulevettä ja ylin raja-arvo hulevesiojan kautta suureen järveen tai mereen tulevaa hulevettä. Raja-arvot ovat vuosikeskiarvoja, ja niiden määrittämisessä on huomioitu taustapitoisuudet, normaalimitoitettun puhdistuslaitoksen puhdistuskyvyt ja se, missä kyseistä ainetta kannattaa puhdistaa. (Airola ym. 2014, 20–21.)

Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006) täydentävine asetuksineen (868/2010 ja 1090/2016) perustuu EU-säädökseen niin sanotuista prioriteettiaineista. Siinä on annettu eri aineille ympäristölaatuunormit sekä lueteltu 15 ainetta, joiden päästäminen pintavedeen tai vesihuoltolaitoksen viemäriin on kielletty. Ympäristölaatuunormi AA-EQS tarkoittaa aineen pintavedessä olevan pitoisuuden vuosikeskiarvoa ja MAC-EQS hetkellistä sallittua enimmäispitoisuutta. (Airola ym. 2014, 22.)

Taulukko 1. Taulukossa on esitetty Tukholman läänin hulevesille asettamat raja-arvot sekä valtioneuvoston asetuksen vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista ja sen muutosasetuksien (1022/2006, 868/2010, 1090/2016) sisältämät ympäristölaatonormit. Taulukosta jätettiin pois PAH-yhdisteet. Alhaisin pitoisuus on merkitty sinisellä värillä.

Haitta-aine	Yksikkö	Tukholman läänin raja-arvot		VNA (1022/2006, VNA 868/2010, VNA 1090/2016)	
		alin raja-arvo	ylin raja-arvo	AA-EQS ⁽³⁾	MAC-EQS ⁽³⁾
Elohopea	µg/l	0,03	0,07		0,07 ⁽¹⁾
Fosfori	µg/l	160	250		
Kadmium	µg/l	0,4	0,5	0,08–0,25 ^{(1) (4)}	0,45–1,5 ^{(1) (4)}
Kiintoaine	mg/l	40	75		
Kromi	µg/l	10	25		
Kupari	µg/l	18	40		
Lyijy	µg/l	8	15	1,2 ^{(1) (2)}	14 ⁽¹⁾
Nikkeli	µg/l	15	30	4 ^{(1) (2)}	34 ⁽¹⁾
Sinkki	µg/l	75	125		
Typpi	mg/l	2	3		
Öljy	mg/l	0,4	0,7		

¹ Metallien (elohopea, kadmium, lyijy ja nikkeli) ympäristölaatonormi viittaa liukoiseen pitoisuuteen eli vesinäytteen liuosfaasiin. Vesinäyte on suodatettu 0,45 µm:n suodattimella tai esikäsitelty jollain muulla vastaavalla tavalla. Seurantatuloksia verrattaessa ympäristölaatonormeihin voidaan huomioida metallien ja metalliyhdisteiden luonnolliset taustapitoisuudet sekä veden laadun parametrit, jotka vaikuttavat metallien biosaatavuuteen (esim. pH). Asiantuntija-arviolla voidaan poiketa taustapitoisuuden arvoista kohteissa, joissa geologisista syistä pitoisuudet ovat korkeita.

² Tarkoittaa aineiden biosaataavaa pitoisuutta

³ Sisämaan pintavesien ympäristölaatonormit. Sisämaan pintavesillä tarkoitetaan jokia ja järviä sekä niihin liittyviä voimakkaasti muutettuja tai keinotekoisia vesimuodostumia.

⁴ Ympäristölaatonormit vaihtelevat veden kovuusluokasta riippuen.

Liikenneviraston teettämässä tutkimuksessa (Inha ym. 2013) tutkittiin maanteiden hulevesien laatua. Haitta-aineiden pitoisuuksille saatuja tuloksia verrattiin valtioneuvoston asetuksen vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006, 341/2009) säädettyihin pohjaveden laatonormeihin sekä sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetuksessa talousveden laatuvaatimuksista ja suosituksista (401/2001) annettuihin talousveden laatuvaatimuksiin ja -suosituksiin. Taulukkoon 2 on koottu valtioneuvoston asetuksessa annetut pohjaveden laatonormit sekä talousvesiasetuksessa haitta-aineille annetut laatuvaatimukset ja suositukset.

Taulukko 2. Valtioneuvoston asetuksen (1040/2006, 341/2009) pohjaveden laatuvaatimukset ja suosituksissa (401/2001) haitta-aineille annetut laatuvaatimukset ja suosituksia. Taulukkoon on valittu ne parametrit, joita tarkasteltiin Hula-hankkeessa.

Haitta-aine	Yksikkö	VN (1040/2006, 341/2009)	STM 401/2001	
			Laatu- vaatimus	Laatu- suositus
antimoni	µg/l	2,5	5,0	
alumiini	µg/l			200
arseeni	µg/l	5	10,0	
boori	mg/l		1,0	
elohopea	µg/l	0,06	1,0	
kadmium	µg/l	0,4	5,0	
kromi	µg/l	10	50	
kupari	mg/l		2,0	
koboltti	µg/l	2		
kloridi	mg/l	25		100
lyijy	µg/l	5	10	
mangaani	µg/l			50
nikkeli	µg/l	10	20	
nitraatit	mg/l	50	50	
rauta	µg/l			200
sinkki	µg/l	60		
öljyjakeet (C10–C40)	µg/l	50		

Vaikka Airolan ym. (2014) tutkimuksessa käyttämän VN:n (1022/2006, 838/2010) sekä Inhan ym. (2013) tutkimuksessa käyttämät VN:n (1040/2006, 341/2009) ja STM:n (401/2001) eivät koske suoraan hulevesiä kansallisten hulevesien raja-arvojen puuttumisen takia, voidaan kyseisten asetusten raja-arvojen soveltamista pitää perusteltuina.

HAITTA-AINEET ERI MAANKÄYTTÖALUEILLA

Hulevedet kuljettavat mukanaan rakennettujen alueiden pinnoilta peräisin olevia haitta-aineita. Haitta-aineet voivat olla joko partikkelimaisessa tai liukoisessa muodossa. Sääolosuhteiden lisäksi valuma-alueen maankäyttömuoto vaikuttaa hulevesissä esiintyviin haitta-aineisiin. (Kuntaliitto 2012, 124–127.)

LIIKENNE- JA TIEALUEET

Yleisesti esiintyviä haitta-aineita liikenne- ja tiealueilla ovat metallit, kiintoaine, PAH-yhdisteet, öljyhiilivedyt ja liukkaudentorjunta-aineet (Kuntaliitto 2012, 124–137). Mikromuoveja esiintyy myös liikenne- ja tiealueen hulevesissä muun muassa ajoneuvojen renkaiden ja tiepintojen kulumisen takia (Ignatius ym. 2019). Liikenne- ja tiealueilta haitta-aineita päätyy hulevesiin muun muassa liukkauden torjunnan, pakokaasupäästöjen ja tiepintojen kulumisen takia. Liikennemäärällä, ajonopeudella, kuivan ajanjakson pituudella sekä hulevesitapahtuman intensiteetillä ja kestolla on vaikutus haitta-aineiden pitoisuuksiin ja leviämisalueeseen. (Göbel ym. 2006; Kuntaliitto 2012, 124–137.)

Liukkaudentorjunnassa käytettävä tiesuola ei pidäty maaperään vesiliukoisuutensa takia, ja se voi edistää esimerkiksi metallien liukenemistä. Lisäksi liikenne- ja tiealueilla mahdollisesti esiintyvä bensiinin lisäaine MTBE ei tiesuolan tavoin pidäty hyvin maaperään. Liukoisuutensa takia liukkaudentorjunta-aineet ja MTBE ovat pohjaveden laatua vaarantavia haitta-aineita. (Kuntaliitto 2012, 124–134.)

TEOLLISUUSALUEET

Teollisuusalueiden hulevesissä esiintyvät haitta-aineet vaihtelevat huomattavasti. Hätinen (2010) selvitti Hollolan teollisuusalueiden hulevesien sisältämiä haitta-aineita ottamalla näytteitä maaperästä sekä imeytys- ja hiekanerotuskaivoista. Haitta-aineet vaihtelivat, mutta useissa näytteissä havaittiin VOC- ja PAH-yhdisteitä, metalleja (kuparia ja sinkkiä) sekä raskaita öljyhiilivetyjä. Edellä mainittujen haitta-aineiden lisäksi joistain näytteistä löydettiin myös teollisuustoiminnasta peräisin olevia haitta-aineita, kuten toluenia. (Kuntaliitto 2012, 126.)

Teollisuus- ja liikealueilla haitta-aineiden päästölähteitä ovat kulkuneuvojen huolto ja vuodot, lastausalueet sekä raaka-aineiden ja materiaalien käsittely ja varastointi (Kuntaliitto 2012, 126). Teollisuudessa ja energiantuotannossa syntyvät, ilmaan vapautuvat haitta-aineet päätyvät hulevesiin kuiva- tai märkälasseumana. Laskeuma voi olla kaukokulkeutunutta tai peräisin paikallisesta lähteestä. (Airola ym. 2014, 14–15.)

ASUIN- JA VIHERALUEET

Asuin- ja viheralueiden hulevesissä esiintyy yleensä lannoitteita, ravinteita (typpi ja fosfori) ja torjunta-aineita. Lisäksi puunsuoja-aineita voi esiintyä asuinalueiden hulevesissä. (Kuntaliitto 2012, 126–127.) Verrattuna liike- ja teollisuusalueiden hulevesiin asuinalueiden hulevesissä tavataan pienempinä määrinä orgaanista hiiltä ja metalleja, mutta usein suurempia määriä bakteereja ja fosforia. Asukastiheyden kasvun on havaittu lisäävän muun muassa huleveden suolistoperäisten bakteerien ja biologisen hapenkulutuksen määrää. (Kotola & Nurminen 2005, 13.)

MUUT PÄÄSTÖLÄHTEET

Hulevesissä haitta-ainepitoisuuksiin vaikuttavat myös rakennus- ja päällystemateriaalit (Kuntaliitto 2012, 86). Rakennusmateriaaleista erityisesti käsittelemättömistä sinkitetyistä tai kuparisista peltikatoista huuhtoutuu huomattavasti metalleja hulevesiin. Metallien lisäksi sadevesien mukana rakenteista ja rakennusmateriaaleista päätyy hulevesiin muun muassa orgaanista ainetta ja PCB-yhdisteitä. (Airola ym. 2014.)

Rakennustyömailla tehtävät kaivutyöt sekä kasvillisuuden poistaminen lisäävät huomattavasti huleveden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksia (Kuntaliitto 2012, 76, 128). Lisäksi julkisivujen kunnostustyössä muodostuvat vedet voivat olla emäksisiä ja sisältää kiintoaineen lisäksi kunnostettavilta pinnoilta irronneita haitta-aineita. Tämän takia hulevesien hallintaan on kiinnitettävä huomiota jo ennen rakennustöiden aloittamista. (Helsingin kaupunki 2013, 3.)

Mikromuoveja päätyy hulevesiin liikenteen lisäksi muun muassa rakentamisen ja roskaamisen seurauksena. Tekonurmikenttien täyteaineena käytettävää SBR-kumirouhetta voi päätyä hulevesiverkostoon muun muassa sateen ja lumen sulamisvesien mukana, mikäli kentän ylläpidossa syntyneitä kumirouhekasvoja ei poisteta asianmukaisesti. (Setälä & Suikkanen 2020, 66–67, 95–96.)

Bakteereja hulevesiin voi päätyä jätevesiviemäreiden vuodoista tai väärinkytkennoistä ja eläinten ulosteista. Lisäksi haitta-aineita voi päätyä hulevesiin onnettomuuksien seurauksena tai hotspot-alueilta eli kemikaalipäästön riskin alueilta, kuten huoltoasemilta. Muita haitta-aineiden päästölähteitä hulevesiin ovat roskat ja jätteet. (Kuntaliitto 2012, 124–127, 202.)

YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Hulevedet aiheuttavat vesistöissä akuutteja ja kroonisia laatuvaikutuksia. Akuutit laatuvaikutukset, kuten äkilliset kalakuolemat, ilmenevät nopeasti vesistössä esimerkiksi kemikaalivuodon tai sekaviemäröinnin ylivuodon seurauksena. Krooniset laatuvaikutukset puolestaan aiheutuvat haitta-aineiden kertymisestä, minkä takia laatuvaikutukset ilmenevät vesistössä pitkällä aikavälillä. Haitta-aineiden pitkäaikainen kertyminen ilmenee muun muassa vesistön rehevöitymisenä ja haitta-aineiden kertymisenä sedimenttiin. (Kuntaliitto 2012, 132–134.) Pääosa hulevesien aiheuttamista laatuvaikutuksista on kroonisia, mikä vaikeuttaa laatuvaikutusten havaitsemista ja arvioimista (Valtanen ym. 2010, 15).

Hulevedet vaikuttavat myös valuntaan ja virtaamiin, minkä seurauksena purkuvesistössä voi tapahtua laadullisia muutoksia. Esimerkiksi hulevesien ylivirtaamat ja virtaamavaihtelut aiheuttavat purovesistöissä eroosiota ja kasvattavat uomien kiintoainekulkeumaa. Kesäaikaan lämmenneiltä pinnoilta tulevat hulevedet voivat aiheuttaa purojen lämpötilan nousemista, mikä voi muun muassa vähentää vesistön happipitoisuutta. (Kuntaliitto 2012, 134.)

Rakennetulla alueella vettä läpäisemättömät pinnat vähentävät pohjaveden muodostumista ja voivat aiheuttaa haittaa pohjaveden laadulle. Pohjaveden laadulle eniten haittaa aiheuttavat liukoissa muodossa olevat haitta-aineet, jotka eivät pidäty maaperään. Erityisesti tiesuola, bensiinin lisäaine MTBE ja torjunta-aineet ovat pohjaveden laatua pilaavia haitta-aineita. (Kuntaliitto 2012, 124–136.)

HULEVEDEN HALLINTAMENETELMÄT

Hulevesien hallinnan tarkoituksena on edistää rakennettujen alueiden veden kiertokulkua, parantaa hulevesien laatua, suojella ja parantaa pinta- ja pohjavesien tilaa, kuivattaa taajamia sekä ehkäistä taajamatulvien syntymistä. Hulevesien hallinnan yleisten periaatteiden mukaan ensisijaisesti tulisi rajoittaa hulevesien syntymistä sekä vähentää hulevesien määrää käsittelemällä ja hyödyntämällä hulevedet jo niiden muodostumispaikalla. Hulevesien johtamista suodattavaan ja hidastavaan järjestelmään tai hidastus- ja viivytyalueille tulee suosia, mikäli hulevesien syntymisen ehkäiseminen ja määrän vähentäminen ei ole mahdollista. Hulevesien hallinnassa prioriteettijärjestyksen viimeinen periaate on hulevesien johtaminen putkijärjestelmissä purkuvesistöihin tai pois rakennetulta alueelta. (Kuntaliitto 2012, 19–22.)

Hulevesien muodostumista voidaan ehkäistä ei-rakenteellisilla ja rakenteellisilla toimenpiteillä. Ei-rakenteellisia toimenpiteitä ovat muun muassa maankäytön suunnittelu ja ohjeistukset. Rakenteellisia toimenpiteitä ovat puolestaan huleveden maaperään imeytymistä parantavat toimet, joita ovat esimerkiksi kasvillisuuden lisääminen ja läpäisevien päällysteiden asentaminen. Läpäisevät päällysteet vähentävät huleveden määrää varastoimalla hulevettä rakennekerrokseen, joista hulevesi imeytyy edelleen maaperään tai johdetaan salaojilla muualle. (Kuntaliitto 2012, 142–149.)

Rakennetulla alueella muodostuvia hulevesiä johdetaan pinta- tai putkijärjestelmillä. Putkijärjestelmillä tarkoitetaan hulevesiviemäreitä ja salaojia. Pintajohtamisjärjestelmiä ovat esimerkiksi avo-ojat ja viherpainanteet, joiden tarkoituksena on hidastaa hulevesivirtausta, mikä mahdollistaa hulevesien imeytymisen ja epäpuhtauksien laskeutumisen. Avo-ojat ovat syviä ja jyrkkäluiskaisia rakenteita, kun taas viherpainanteet ovat matalia, loivia ja kasvillisuuden peittämiä rakenteita. (Kuntaliitto 2012, 158–160.)

Hulevesien viivyttämiseen perustuvia hulevesien hallintamenetelmiä ovat muun muassa kosteikot ja altaat. Viivytyksen menetelmät hidastavat ja pidättävät hulevesivirtausta. Hulevesialtaalla tarkoitetaan pysyvää avovesipintaista aluetta, jonka ympärille on istutettu kasvillisuutta. Kosteikko on yhdestä tai useammasta avovesialtaasta ja matalammasta kasvillisuuden peittämästä alueesta muodostuva kokonaisuus. Hulevesialtaissa ja -kosteikoissa huleveden sisältämä kiintoaine ja epäpuhtaudet laskeutuvat, hajoavat mikrobitoiminnan seurauksena tai sitoutuvat kasvillisuuteen. (Kuntaliitto 2012, 172–176.)

Hulevesien käsittelymenetelmät vähentävät hulevesien sisältämiä haitta-aineita, mutta eivät syntyvän huleveden määrää. Suodatusrakenteissa, kuten suodatinkaivoissa, hulevesien puhdistus perustuu hulevesien johtamisella suodatettavan materiaalin läpi. Suodatusjärjestelmät voivat olla esimerkiksi rakenteellisia hiekkasuodattimia. (Kuntaliitto 2012, 183–185.)

LÄHTEET

Airola, J., Nurmi, P. & Pellikka, K. 2014. Huleveden laatu Helsingissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 12/2014. PDF-dokumentti. Saatavissa: [Microsoft Word - 12_2014_Huleveden laatu Helsingissä](#) [viitattu 2.11.2022].

Göbel, P., Dierkes, C. & Coldewey, W.G. 2006. Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology* 91, 26–42. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2006.08.008> [viitattu 2.11.2022].

Helsingin kaupunki. 2013. Helsingin kaupungin työmaavesiohje. Päivitetty 19.4.2013. Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/ymk/esitteet/tyomaavesi.pdf> [viitattu 3.11.2022].

HSY. s.a. Hulevesi kaupunkiympäristössä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/hulevesi-kaupunkiymparistossa/> [viitattu 20.10.2022].

Ignatius, S., Hakala, O., Kerkkänen, J., Kuoppamäki, K., Pankkonen, P., Sillanpää, N. & Sänkiäho, L. 2019. Uusia hulevesiratkaisuja tiiviissä kaupunkiympäristössä. *Vesitalous* 2019:2. PDF-dokumentti. Saatavissa: www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902_lowres.pdf [viitattu 2.11.2022].

Inha, L., Kettunen, R. & Hell, K. 2013. Maanteiden hulevesien laatu. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 12/2013. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.doria.fi/handle/10024/121259> [viitattu 2.11.2022].

Kotola, J. & Nurminen, J. 2005. Kaupunkirakentamisen hydrologiset vaikutukset. Teoksessa Vakkilainen, P., Kotola, J. & Nurminen (toim.) *Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta*. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 12–31. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40647/SY_776.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 3.11.2022].

Kuntaliitto. 2012. Hulevesiopus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2012/1481-hulevesiopus> [viitattu 20.10.2022].

Kuntaliitto. 2017. Hulevesioppaan päivitettyt luvut lainsäädännön muutosten osalta. Vuoden 2012 Hulevesioppaan liite. PDF-dokumentti. Saatavissa: [Hulevesioppaan päivitetty luvut lainsäädännön muutosten osalta | Kuntaliitto.fi](#) [viitattu 2.11.2022].

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.

Setälä, O. & Suikkanen, S. 2020. Suomen merialueen roskaantumisen lähteet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2020:9. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/313542/SYKEra_09-2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y [viitattu 20.10.2022].

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

Tilastokeskus. 2017. Kaupungistuminen haastaa asuntotuotannon. Uutisia 31.5.2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Kaupungistuminen haastaa asuntotuotannon | Tilastokeskus \(stat.fi\)](#) [viitattu 4.11.2022].

Tulvariskilaki 620/2010.

Valtanen, M., Sillanpää, N., Hättinen, N. & Setälä, H. 2010. Hulevesien imeyttäminen ja suodattaminen: haitta-aineet ja menetelmät. Stormwater-hanke kirjallisuusselvitys. Päivitetty 10.10.2010. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Nora-Sillanpaae/publication/230854077_Hulevesien_imeyttäminen_ja_suodattaminen_haitta-aineet_ja_menetelmat/data/0fcfd5056c95f82985000000/HY-kirjallisuusselvitys2010-valmis.pdf [viitattu 20.10.2022].

Vesihuoltolaki 119/2001.

Vesilaki 587/2011.

VNa 1040/2006. Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä.

AVUKSI MONITOROINNISSA – HANKKEESSA KEHITETYT SONDIKELLUKE JA SEDIMENTTIKERÄIN

Tuija Ranta-Korhonen & Aki Mykkänen & Tuomas Venäläinen

Hula-hankkeessa kehiteltiin monitoroinnin avuksi kustannustehokkaita ja helposti hankittavia apuvälineitä ja näyttөөntimimä. Karikon hulevesialtaassa veden laadun mittauksia toteutettiin jatkuvatoimisilla antureilla, joilla saadaan luotettavasti selville veden laadussa tapahtuvat muutokset erilaisissa valuma- ja virtaamatilanteissa. Jatkuvatoimisten mittareiden altaaseen sijoittamista varten tarvittiin kelluva asennusteline. Telineen tarkoituksena ei ole pelkästään suojata mittalaitteita, vaan myös helpottaa huoltotoimenpiteitä. Veden laadun mittausten lisäksi haluttiin tarkastella altaaseen kertyviä sedimenttejä tunnetulla ajanjaksolla, minkä vuoksi päädyttiin suunnittelemaan ja rakentamaan altaan pohjaan sijoitettavat sedimenttikeräimet. Sonditeline sekä sedimenttikeräimet suunniteltiin yhteistyössä Xamkin Mikropolis-tutkimusyksikön kanssa ja ne rakennettiin yleisistä kaupallisesti saatavilla olevista tarvikkeista.

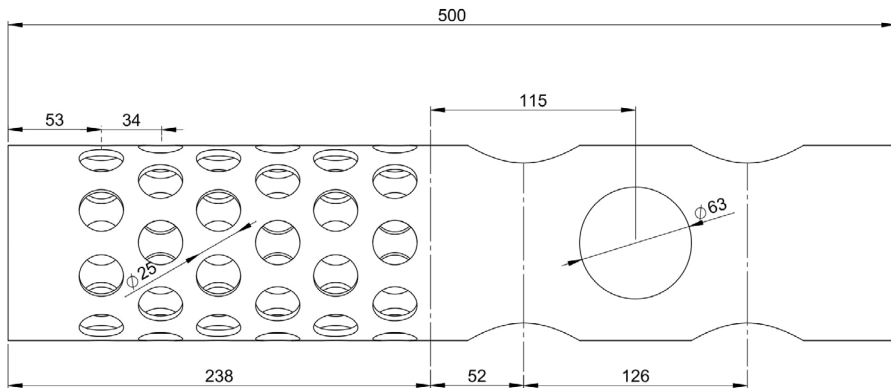
JATKUVATOIMISTEN VEDENLAATUMITTAREIDEN KELLUKKEET

Karikon hulevesialtaan mataluus (altaan suunnitelmien mukainen keskivedensyvyys ainoastaan 50 cm) aiheutti päänvaivaa YSI EXO-3 -vedenlaatusondien käyttöönotossa monitorointikautena 2022. Yleensä jatkuvatoimisia vedenlaatumittareita voidaan käyttää esimerkiksi ripustamalla ne vaijerin varaan siltarakenteista tai laitureilta, jolloin ne ovat pystyasennossa. Pystyasennossa ollessaan ne tarvitsevat noin 25 senttimetriä vettä luotettavien tulosten saamiseksi. Karikon altaassa tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista kiinnittämisen mahdollistavien rakenteiden puuttumisen vuoksi. Lisäksi veden pinnan ollessa matalalla kuivan kauden aikana pystyasennossa olevan sondin anturipäät saattaisivat osua altaan pohjaan ja vaurioitua. Tästä johtuen mittarit päätettiin asentaa vaaka-asentoon.

Alkuperäisenä ideana oli rakentaa altaan pohjalle laitettava kehikko, johon mittarit voitaisiin kiinnittää. Tämän vaihtoehdon ongelmana kuitenkin nähtiin asennuksen ja mittareiden huollon vaikeus sekä altaan pohjaan todennäköisesti kasaantuvat sedimentit. YSI-mittareille on saatavilla valmistajalta esimerkiksi metallinen NexSens EXO -sondihäkki, mutta

valmiita kaupallisia kelluvia telineratkaisuja ei vuoden 2022 keväällä löydetty. Ratkaisuksi ongelmaan kehitettiin kelluva sonditeline yhteistyössä Xamkin Mikkelin kampuksen Mikopolis-tutkimusyksikön kanssa. Mikopolis vastasi myös telineen rakennustyöstä. Tavoitteena oli rakentaa kustannustehokas ja helppokäyttöinen teline, ja niinpä rakennusmateriaaleina päätettiin käyttää helposti saatavilla olevia LVI-putkiosia.

Telineet on rakennettu kahdesta vierekkäisestä muoviputkesta, jotka on kiinnitetty toisiinsa putkipitimillä ja kierretangoilla. Näiden kellukeputkien alapuolelle on kiinnitetty kolmas putki, jonka sisälle vedenlaatusondi voidaan asentaa. Tämä mittariputki rei'itettiin YSI EXO -käyttöohjeen mukaan niin, että häiriöt veden virtaamaan olisivat mahdollisimman vähäiset ja putkessa oleva vesi vaihtuisi virtauksen mukana (kuva 1). Putken tavoitteena ei ole pelkästään pidellä sondia paikallaan, vaan myös suojata sitä esimerkiksi suurilta vedessä kelluvilta irtoroskilta, jotka voisivat esimerkiksi vahingoittaa antureiden mittapäitä (YSI, 2020).



Kuva 1. Sondin suojaputken suunnittelupiirros. Sondin mittaava pää sijoitetaan kuvassa vasemmalle pienempiä reikiä sisältävään kohtaan. Putki on rei'itetty YSI EXO -käyttöohjeen suositusten mukaisesti (kuva: Tuomas Venäläinen).

Kelluke rakennettiin PP-muovista valmistetuista, halkaisijaltaan 110 mm olevista muoviputkista, joiden päät tulpattiin. Käytetyt kierretangot ja putkipitimet oli valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Telineitä (kuva 2) rakennettiin kaksi kappaletta, ja yhden kellukkeen materiaalien hinta oli noin 200 euroa. Sondikiinnitys testattiin ennen käyttöä huhtikuussa 2022 ja se todettiin toimivaksi.



Kuva 2. Valmis sondikelluke ennen käyttöönottoa. Kelluke on kuvassa ylösalaisin. Vedenlaatusondi sijoitetaan rei'itetyn putken sisälle niin, että mittavaa pää on pienimmillä rei'illä olevassa kohdassa (kuva: Tuomas Venäläinen).

Kellukkeet otettiin käyttöön huhtikuun 2022 lopussa (kuva 3), ja niiden todettiin välittömästi toimivan erinomaisesti. Kellukkeet kiinnitettiin altaan vastakkaisille rannoille teräs-vaijerin avulla niin, että vaijerihin jäi hieman löysää. Koska kuivalla kesäkaudella saattaa olla pitkiäkin ajanjaksoja, jolloin hulevesiä ei muodostu, voi altaan vedenkorkeus laskea huomattavasti. Kelluke liikkuu veden pinnankorkeuden muutosten myötä aina, jolloin ei ole riskiä siitä, että mittaripäät pääsisivät kuivumaan. Sondeja oli myös helppo huoltaa, koska kellukkeet pystyttiin kääntämään ympäri vedessä, jolloin sondiputkea ja sondia oli helppo käsitellä. Kellukkeita ei myöskään tarvinnut poistaa vedestä huollon ajaksi niiden noin seitsemän kuukautta kestäneen käytön aikana.



Kuva 3. Sondikelluke käytössä Karikon hulevesialtaassa. Näkyvillä molemmista kellukeputkista lähtevät vaijerit, joilla kelluke on kiinnitettyä altaan rantoihin (kuva: Aki Mykkänen).

HULEVESIALTAAN SEDIMENTTIKERÄIMET

Hankkeen toteutuksen aikana syksyllä 2021 heräsi myös kiinnostus tarkastella altaaseen muodostuvien sedimenttien määriä sekä niiden mikromuovien ja raskasmetallien pitoisuuksia. Vaikka allas on ollut käytössä vasta vuoden 2020 keväästä lähtien, haluttiin silti tarkastella pelkästään tunnetun ajanjakson aikana muodostuneita sedimenttejä. Tätä varten suunniteltiin yhdessä Xamkin Mikpolis-tutkimusyksikön kanssa sedimenttikeräimet, jotka voitaisiin sijoittaa hulevesialtaiden eri kohtiin keväällä ja poistaa syksyllä määrytyksiä varten.

Keräimet rakennettiin tavallisista betonipihalaatoista sekä läpinäkyvistä akryyliputkista ja levyistä (kuva 4). Keräinten putket oli viistetty yläpäätänsä. Viistämisen tarkoituksena oli parantaa kiintoaineen ohjautumista keräysputkeen. Putkien kiinnitystä varten betonilaattaan kiinnitettiin injektiomassalla ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kierretankon pätkiä, joihin itse putket kiinnitettiin RST-muttereilla. Kiinnitystapa mahdollistaa keräinputkien irrottamisen betonialustasta, jolloin kerätty näyte voidaan helposti siirtää toiseen astiaan esikäsittelyä varten. Keräimen keskelle injektioitiin kierretanko, jonka päähän laitettiin nostolenkki. Yksittäisen keräimen hinnaksi tuli noin 100 euroa.



Kuva 4. Betonilaatoista sekä akryyliputkista ja -levyistä rakennetut sedimenttikeräimet (kuva: Tuija Ranta-Korhonen).

Keräimet olivat altaan pohjaan sijoitettuina noin viiden kuukauden ajan. Tulo- ja poistopuolelle sijoitettuihin keräimiin kertyneestä sedimentistä määritettiin ALS Finland Oy:n laboratoriossa mikromuovit. Kahteen muuhun keräimeen kertynyt sedimentti kuivattiin ja siitä määritettiin metallit XRF-Niton-röntgenfluoresenssilaitteella. Analyysien tulokset on esitelty tämän julkaisun muissa artikkeleissa.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Molemmat monitoroinnin tueksi kehitetyt apuvälineet olivat edullisia ja osoittautuivat käytössä toimiviksi. Kellukkeiden ja keräinten rakentamisessa tarvittiin jonkin verran erikoisosaamista ja -työkaluja. Helposti saatavilla olevien materiaalien ansiosta apuvälineitten valmistus oli edullista. Hankkeessa kehitettyjä apuvälineitä voidaan hyödyntää edelleen tulevissa vesiaiheisissa hankkeissa.

LÄHTEET

YSI. 2020. EXO User Manual – Advanced water quality monitoring platform, ITEM#-603789REF, REVISION K. [viitattu 10.10.2022].

KARIKON HULEVESIALLAS – KOHDEKUVAUS JA MONITOROINTIKEINOT

Tuija Ranta-Korhonen & Aki Mykkänen & Marleena Tirkkonen

Hula-hankkeen tutkimuskohteet valittiin yhteistyössä Mikkelin kaupungin Kaupunkiympäristön infra- ja viheraluepalvelut -toimialan edustajien kanssa. Hankkeessa tutkittiin erityyppisiä hulevesirakenteita, joiden valuma-alueet ja sen myötä käsiteltävän huleveden laatu ovat erilaisia. Yhtenä tutkimuskohteena oli Karikon kaupunginosaan alkuvuodesta 2021 valmistunut hulevesiallas.

HULEVESIALLAS JA SEN VALUMA-ALUE

Karikon hulevesiallas rakennettiin Valtatie 13:n ja Otavantien liittymän perusparannustöiden yhteydessä. Liittymän perusparannustyöt alkoivat kesällä 2020 ja valmistuivat kesällä 2021. Parannustöiden yhteydessä liittymään tehtiin kaksikaistainen liikenneympyrä. Väyläviraston mukaan liikennemäärät olivat Valtatie 13:n altaan vierellä kulkevalla osuudella vuonna 2021 noin 10 000 ajoneuvoa ja Otavantiellä noin 8 000 ajoneuvoa vuorokaudessa (Väylävirasto 2021).

Välittömästi altaan rakennustöiden valmistumisen jälkeen hulevesialtaaseen johdettiin maanrakennustöiden ja maastonmuotoilun myötä muodostuneita työmaavesiä. Altaan valuma-alueella on jonkin verran paljon tilaa vaativan erikoistavaran kaupan yksiköitä sekä huoltamo- ja korjaamotoimintaa. Valuma-alueen läpi kulkee paljon liikennettä. Suurilla asfaltoiduilla pysäköinti- ja varastoalueilla sekä liikennealueilla muodostuu paljon hulevesiä, jotka voivat sisältää haitallisia aineita. Suomen metsäkeskuksen valuma-alueen määrittämis-työkalun ja Mikkelin vesihuollon johtokartan mukaan valuma-alueeksi muodostuu noin 68 ha (Cederström 2022). Valuma-alueen raja-
us on esitetty kuvassa 1.



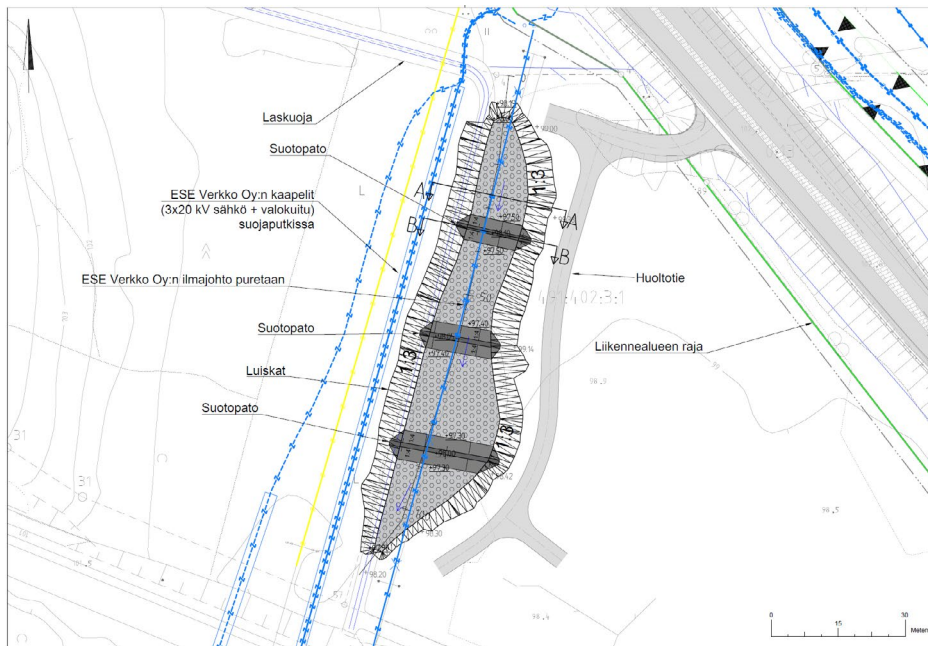
Kuva 1. Karikon hulevesialtaan valuma-alueen raja (kuva: Mikkelin kaupunki, Antero Cederström).

Karikon altaasta käsitellyt hulevedet virtaavat edelleen Pitkäjärveen ja lopulta Saimaaseen. Virtausreitit varrelle sijoittuu muun muassa Mikkelin Vesilaitoksen tekopohjaveden pumpauslaitos. Altaan sijainti on esitetty kuvassa 2 olevassa kartassa.



Kuva 2. Karikon hulevesiallas sijaitsee junaradan, Valtatie 13:n ja Otavankadun rajaamassa kolmiossa (kuva: Karttapaikka.fi).

Hulevesialtaan toimintaperiaate perustuu hulevesien virtausnopeuden vähentämiseen. Virtausnopeuden vähentyessä vedessä oleva kiintoaine ja siihen mahdollisesti sitoutuneet haitalliset aineet sedimentoituvat altaan pohjalle. Allas on jaettu neljään osaan kolmen kivimurskeesta tehdyn suotopadon avulla (kuva 3). Suotopatojen harjat eivät ulotu vedenpinnan yläpuolelle normaalivedenkorkeuden aikana.



Kuva 3. Valtatie 13:n hulevesialtaan asemapiirros (kuva: Mikkelin kaupunki, 2020).

Kesäkuun alussa 2022 altaaseen sijoitettiin öljypuomi ensimmäisen suotopadon kohdalle. Tarkoituksena oli saada hulevedessä mahdollisesti esiintyvät öljyt kertymään puomin keskiosaan. Tällöin näytteiden kerääminen analyysia varten olisi helppoa, ja näytettä saataisiin myös kerättyä pidemmältä ajanjaksolta. Kesän lomakauden ajaksi öljypuomi poistettiin altaasta, eikä sitä enää palautettu paikalleen. Syynä tähän oli se, että öljypuomi oli tarkoitettu öljyn torjuntaan vesistöissä ja sen todettiin olevan liian massiivinen ja korkea hulevesialtaassa käytettäväksi.

Syyskuun alkupuolella 2022 altaaseen sijoitettiin kaksi riviä rankanippuja hulevesialtaan poikki (kuva 4). Rankanippujen tarkoituksena on osaltaan hidastaa huleveden virtaamisnopeutta ja puhdistaa hulevettä puun pinnalle muodostuvan biofilmin avulla. Rankanippujen altaaseen sijoittamisen jälkeen monitorointi automaattisilla vedenlaatumittareilla jatkui vielä noin kahden kuukauden ajan. Monitoroinnissa ei havaittu selvää vaikutusta veden laatuun. Koska rankaniput sijoitettiin paikalleen syyskuun alkupuolella, oli altaan vesi jo viilentynyt. Viileä vesi hidastaa biofilmin muodostumista. Rankanippujen vaikutusta veden laatuun olisi mielenkiintoista monitoroida jatkossa.



Kuva 4. Mikkelin kaupungin Karikon hulevesialtaaseen sijoittamien rankanippujen tarkoitus on tehostaa altaan puhdistusvaikutusta (kuva: Tuija Ranta-Korhonen).

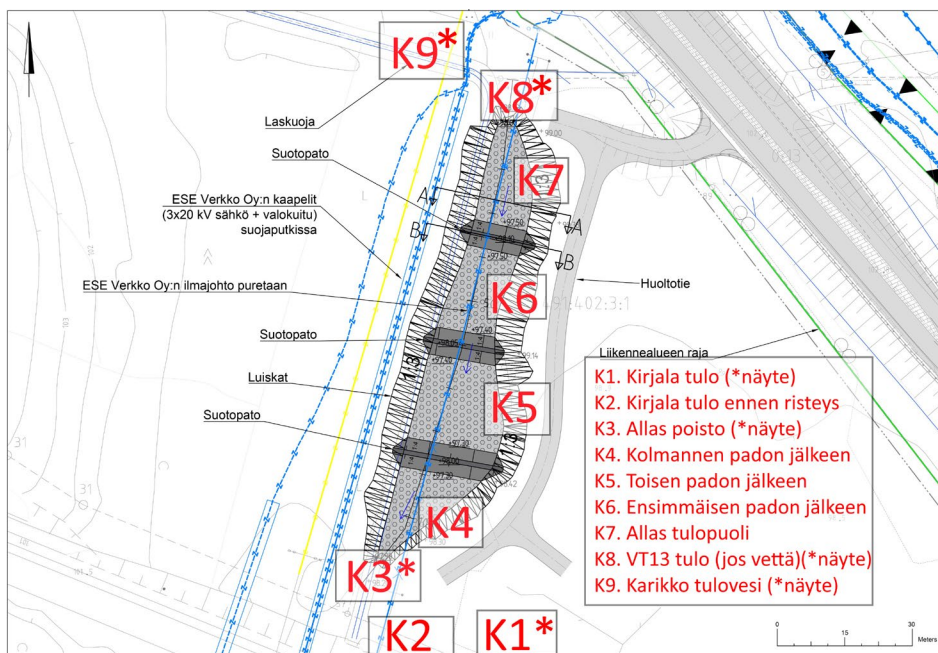
Hulevesialtaan ensimmäiseen osa-altaaseen (ennen ensimmäistä murskepatoa) on syksyyn 2022 mennessä kertynyt selvästi muuta allasta enemmän kiintoainesta, joka on sedimentoitunut altaan pohjaan. Sedimentoitunut kiintoaine tarjoaa hyvän kasvualustan erilaisille vesikasveille. Tämä näkyy selvästi lokakuussa 2022 droonilla otetussa ilmakuvassa (kuva 5). Kuten kuvasta voidaan havaita, on altaan tulopuolella huomattavasti enemmän vesikasvillisuutta muihin altaan osiin verrattuna. Vesikasveilla on oma hulevesiä puhdistava vaikutuksensa.



Kuva 5. Ilmakuva Karikon hulevesialtaasta 12.10.2022. Vesi tulee altaaseen kuvan ylälaidassa näkyvän tulo-ojan kautta. Altaan poisto sijoittuu kuvan alalaitaan. Kuvassa on selvästi nähtävissä pohjapadot sekä altaaseen sijoitetut rankaniput (kuva: Juha Vihavainen).

HULA-HANKKEEN MITTAUKSET JA NÄYTTEENOTTO

Karikon hulevesialtaalta valittiin yhdeksän mittauspistettä (kuva 6 ja taulukko 1), joista tehtiin mittauksia vuoden 2021 syksystä lähtien. Osasta pisteistä otettiin myös vesinäytteitä. Hulevesialtaan pisteiden lisäksi kenttämittauksia tehtiin ja näytteitä otettiin myös radanvarressa Kirjalan alueelta tulevan ojan vedestä. Oja yhdistyy hulevesialtaan poisto-ojaan ennen radan allttavaa rumpuputkea. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa näytteistä analysoitiin kiintoaineet ja öljyhiilivedyt. Öljyhiilivetyssä käytettiin InfraCal-laitetta. Muut vesinäytteet lähetettiin ALS Finland Oy:n laboratorioon määritettäväksi. Vesinäytteistä määritettiin tilanteen mukaan ravinteista typpi ja fosfori (kokonais ja liukoinen), kloridi, TOC/DOC sekä raskasmetallit (kokonais ja liukoinen). Myös öljyhiilivetyä määritettiin, mikäli niitä havaittiin silmämääräisessä tarkastelussa. Kenttämittaus- ja näytteenottpisteet on esitetty kuvassa 6 olevassa kartassa.



Kuva 6. Karikon hulevesialtaan kenttämittaus- ja näytteenottpisteet (kuva: Mikkelin kaupunki, muokkaukset: Aki Mykkänen).

Taulukossa 1 on tarkemmin kuvailtu kenttämittaus- ja näytteenottpisteitä. Pisteet merkittiin maastoon merkkiviitoilla. Pisteet on sijoitettu kohteeseen virtauksen vastaiseen järjestykseen, jotta kenttätyöskentelystä mahdollisesti aiheutuva veden häiriintyminen ei vaikuta alapuolisiin pisteisiin.

Taulukko 1. Karikon hulevesialtaan vedenlaadun tutkimuspisteet. **(N)**-merkillä merkityt pisteet ovat myös näytteenottopisteitä.

Tutkimuspiste	Kuvaus
K1 (N)	Kirjalan tulo-oja. Hulevesialtaan poisto-ojaan yhdistyvän ojan vedenlaatu.
K2	Kirjalan tulo-oja ennen ojien risteystä. Hulevesialtaan poisto-ojaan yhdistyvän ojan vedenlaatu.
K3 (N)	Hulevesiallas poisto. Hulevesialtaan poisto-ojan vedenlaatu.
K4	Vedenlaatu kolmannen suotopadon jälkeen.
K5	Vedenlaatu toisen suotopadon jälkeen.
K6	Vedenlaatu ensimmäisen suotopadon jälkeen.
K7	Hulevesialtaan tulopuoli. Vedenlaatu ennen ensimmäistä suotopatoa.
K8 (N)	VT13 tulovesi.
K9 (N)	Karikon tulovesi. Hulevesialtaaseen tulevan vedenlaatu.

VIRTAAMAMITTAUKSET

Yksi oleellinen tekijä hulevesien aiheuttaman kokonaiskuormituksen määrittämisessä on virtaaman mittaus. Tätä varten Hula-hankkeessa vuokrattiin Luode Consulting Oy:ltä jatkuvatoimisia virtaamamittareita, joista kaksi kappaletta sijoitettiin Karikon hulevesialtaan yhteyteen, toinen tulo-ojan rumpuputkeen ja toinen radan alittavan poisto-ojan rumpuun. Mittaus suoritettiin akustisilla StarFlow QSD -antureilla, jotka toimivat akkuvirralla. Mittausväliksi asetettiin 10 minuuttia. Lomakauden ajaksi mittausväliä kasvatettiin 20 minuuttiin akkujännitteen riittävyyden varmistamiseksi. Laitteet lähettivät mittaustulokset pilvipalveluun, josta ne olivat katsottavissa sekä ladattavissa Excel-muodossa jatkomuok-kausta ja tallennusta varten.

Virtaamamittarit vuokrattiin kuuden kuukauden ajaksi ja ne asennettiin maastoon 5.5.2022. Ennen mittausten aloitusta laitteet kalibroitiin. Kalibrointi toistettiin mittaussjaksen lop-pupuolella suuremmalla virtaamalla mittaustulosten laadun varmistamiseksi. Yhdistele-mällä Ilmatieteenlaitoksen sademäärätietoa virtaamatietoon voidaan määrittää huleveden kulkeutumisen viivettä maastosta altaaseen. Virtaamatieto yhdistettynä automaattisten vedenlaatumittarien tietoon sekä näytteenottoon antaa kuvan veden laadun vaihtelusta eri virtaamilla.

SEDIMENTTIKERÄIMET

Hankkeessa suunnitellut ja valmistetut sedimenttikeräimet (4 kpl) sijoitettiin jokaiseen osa-altaaseen 10.5.2022 ja niiden annettiin olla altaan pohjalla noin viiden kuukauden ajan. Ensimmäiseen ja viimeiseen keräimeen kertyneestä sedimentistä määritettiin mikro-muovit (sisältäen mustat partikkelit) ALS Finland Oy:n laboratoriossa. Kahteen muuhun keräimeen kertyneestä sedimentistä määritettiin Xamkin ympäristölaboratoriossa metallit XRF-laitteella (röntgenfluoresenssi). Sedimenttejä käytiin myös keräämässä erikseen hu-levesialtaan ensimmäisestä ja viimeisestä osa-altaasta. Myös nämä näytteet määritettiin kuivauksen jälkeen XRF-laitteella.

JATKUVATOIMISET VEDENLAATUMITTARIT

Keväällä 2022 (27.4.2022) Karikon altaaseen sijoitettiin kaksi YSI EXO 3 vedenlaatusondia, jotka mittaavat jatkuvatoimisesti veden lämpötilaa, sameutta, johtokykyä sekä pH:ta. Lisäksi ne ilmoittavat laskennallisen liuenneen orgaanisen aineen määrän vedessä (fDOM). Sondit sijoitettiin altaaseen murskepatojen rajaamiin ensimmäiseen ja viimeiseen osa-altaaseen eli tulo- ja poistupuolelle. Asennuksessa käytettiin apuna hankkeessa rakennettuja sondi-kellukkeita, jotka kiinnitettiin vajereilla altaan vastarannoille. Sondit poistettiin altaasta marraskuun 2022 alkupuolella. Mittareiden tuloksia varmennettiin yhdessä näytteenotoin ja kenttämittauksin. Ne huollettiin ja kalibroitiin perusteellisesti neljä kertaa huhti–mar-raskuun välisenä ajanjaksona.

Karikon altaassa tehtyjen mittausten ja näytteenottojen tulokset on esitelty tämän julkaisun muissa artikkeleissa.

LÄHTEET

Cederström, A. 2022. Sähköposti 14.11.2022.

Väylävirasto. 2021. Valtatien 13 ja Otavantien liittymän parantaminen, tie- ja katusuun-nitelma. Saatavissa: <https://vayla.fi/valtatien-13-ja-otavantien-liittyma> [viitattu 12.9.2022].

KARIKON HULEVESIALLAS – MONITOROINNIN TULOKSET

Aki Mykkänen & Marleena Tirkkonen & Tuija Ranta-Korhonen
& Anssi Göös

Karikon hulevesialtaan sijaintia, itse allasta ja altaassa tehtyjä tutkimuksia on kuvattu tämän julkaisun edeltävässä artikkelissa Karikon hulevesiallas – kohdekuvaus ja monitorointikeinot. Hulevesiallas tarjosi otollisen ympäristön hulevesitutkimuksille rakenteellisen selkeytensä ansiosta. Altaassa pystyttiin toteuttamaan monipuolista hulevesitutkimusta jatkuvatoimisten mittalaitteiden, automaattisten näytteenottimien, kenttämittarin ja perinteisen näytteenoton avulla.

VIRTAAMAMITTAUKSET HULEVESIALTAALLA

Karikon hulevesialtaasta ei mitattu virtaamia vuoden 2021 syksyllä altaaseen tulevien suurten vesimäärien vuoksi. Vesimäärien lisäksi altaan rakenteet tekivät astiamittauksista hankalasti toteutettavia. Vuoden 2022 keväällä (5.5.2022) kohteeseen kuitenkin asennettiin kaksi jatkuvatoimista akustista StarFLow QDS -mittausanturia. Anturit ja niihin liittyvät kalibrointi, asennus sekä ylläpito- ja päivystyspalvelu vuokrattiin Luode Consulting Oy:ltä kuuden kuukauden ajaksi.

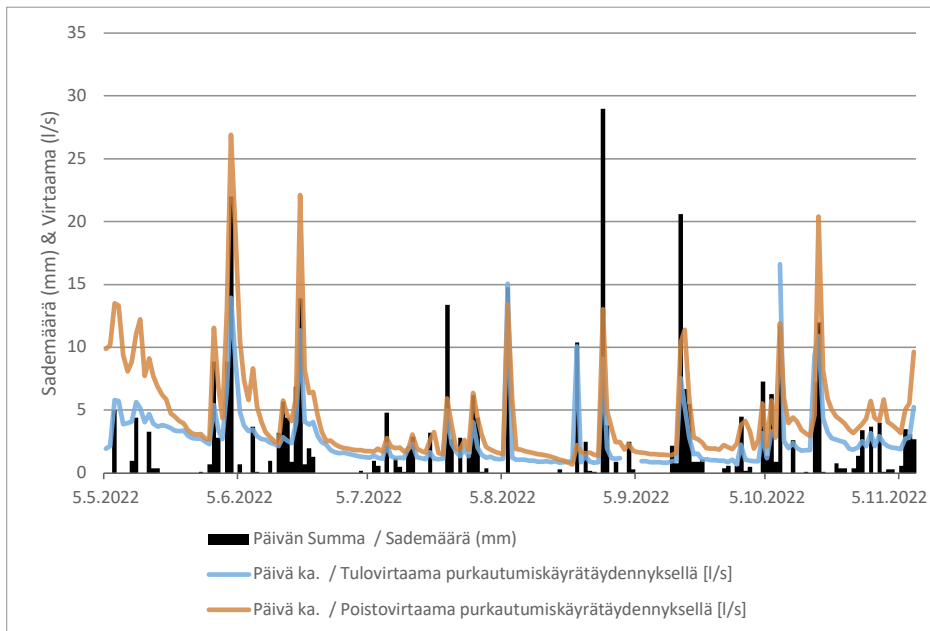
Ensimmäinen virtaamamittari sijoitettiin Karikon hulevesialtaan tulo-ojan rumpuputkeen ja toinen altaan poisto-ojaan rautatien alittavaan rumpuputkeen. Altaan poisto-ojaan ennen rumpuputkea yhtyy radan vartta Kirjalan asuin- ja teollisuusalueelta tuleva avo-oja, joten poistoon sijoitetun mittarin mittaustuloksissa on nähtävillä molempien alueiden virtaamat. Mittarien sijainnit on merkitty alla olevaan karttaan keltaisilla tähdillä (kuva 1). Mittarit asennettiin rumpuputkiin metallipantojen avulla.



Kuva 1. Virtaamamittarien sijainti Karikon hulevesialtaan tulo- ja poisto-ojien rumpuputkissa. Mittarit on merkitty karttaa keltaisilla tähdillä. Kartassa alhaalla oikealla näkyy Kirjalan alueelta tuleva avo-oja (kuva: Karttapaikka, muokkaukset: Tuija Ranta-Korhonen).

Virtaamamittarit ohjelmoitiin mittaamaan virtaamaa kymmenen minuutin välein. Lomakauden ajaksi heinäkuussa 2022 mittausväliä harvennettiin 20 minuuttiin akkujen riittävyyden takaamiseksi. Mittareiden mittauksen kynnyсарvo on virtausnopeudelle 2 cm/s ja anturin yläpuoliselle vedenpinnan korkeudelle 2 cm, eli laitteisto ei kuivina kausina kykene mittaamaan virtaamaa. Hetkille, joilta mittarit eivät saaneet mittaustietoa aikaiseksi laskettiin Luode Consulting Oy:n toimesta purkautumiskäyrät, joiden avulla puuttuvia tietoja täydennettiin.

Tarkasteltaessa molempien virtaamamittarien päivittäisiä keskiarvovirtaamia ja verrattaessa niihin Ilmatieteen laitoksen Mikkelin lentoaseman havaintopisteessä mitattujen sademäärien päivittäisiin summa-arvoihin (kuva 2) voidaan havaita virtaamamittarien toimineen hyvin. Sadetapahtumien aikaan sekä tulo- että poistovirtaamissa on havaittavissa selkeät piikit.



Kuva 2. 5.5.–30.10.2022 jatkuvatoimisesti mitatun tulo ja poistovirtaaman päivittäiset keskiarvot sekä päivittäisen sademäärän summa (Ilmatieteen laitos, Mikkelin lentoasema).

Kuten kuvasta 2 nähdään, voivat sadehetkien virtaamamäärät olla yli satakertaisia verrattuna keskiarvoon. Taulukossa 1 on esitettyä vielä pisteistä havaitut maksimit, jotka antavat selkeän kuvan havaituista huippuvirtaamista. Poistovirtaama on myös jatkuvasti tulovirtaamaa suurempi, koska kuten aiemmin on mainittu, poiston mittauspiste sisältää myös Kirjalan alueelta tulevat hulevedet. Tulevan veden päivittäinen virtaama tarkastellulla ajanjaksolla (5.5.–8.11.2022) on ollut keskimäärin noin 2,7 l/s, kun taas poistuvan veden 4,5 l/s. Tästä voidaan arvioida Kirjalan alueelta keskimäärin tulevan näiden kahden lukeman välinen erotus eli noin 1,8 l/s.

Taulukko 1. Jatkuvatoimisesti Karikon hulevesialtaalta mitattujen virtaamien keskiarvo, mediaani, keskihajonta sekä maksimi.

	Keskiarvo l/s	Mediaani l/s	Keskihajonta l/s	Maksimi l/s
Tulo	2,7	1,9	5,4	270,4
Poisto	4,5	3,0	6,2	110,7

VIRTAAMIEN SUHTEUTTAMINEN AINEPITOISUUKSIIN

Hulevesialtaassa tapahtuneiden vedenlaadun muutoksien tarkastelussa käytettiin apuna jatkuvatoimisesti mitattuja virtaamia. Pelkkä näytteenoton ja laboratorioanalyysien perusteella havaittu tietyn aineen pitoisuus litrassa vettä ei ole itsessään riittävä kuvaamaan virtaavan huleveden haitta-aineita, vaan pitoisuus pitää suhteuttaa näytteenottohetken virtaamamäärään. Kuntaliiton Hulevesioppaan mukaan pelkän keskiarvon käyttäminen voi antaa kuormitukselle liian suuria arvoja. Koska hulevesien sisältämien yhdisteiden ja haitta-aineiden pitoisuudet sekä virtaamamäärät vaihtelevat suuresti erilaisten sadetapah- tumien yhteydessä, on tällainen tarkastelu hyvin suuntaa antavaa.

Hulevesien keskimääräistä vaihtelua kuvatessa yleensä arvojen mediaani kuvaa keskiarvoa paremmin keskimääräisiä arvoja. Tämä johtuu siitä, että keskiarvoon vaikuttaa suuresti poikkeuksellisen korkeat arvot, kuten ainoastaan hetkellinen hulevesitapahtuman aikana esiintyvä virtaama- tai tarkasteltavan aineen pitoisuuspiikki. Nämä erot pienenevät havaintomäärien kasvaessa, mutta koska Hula-hankkeessa Karikon hulevesialtaasta tehtyjä näytteenottoja oli eri parametreista riippuen vain 3–19 kappaletta, voidaan näitä keskimää- räisiä pitoisuuksia pitää hyvin epätarkkoina. Vähäisten havaintomäärien takia pitoisuuksien keskiarvon käyttäminen nähtiin parempana kuvastamaan kohteissa tapahtuvia muutoksia.

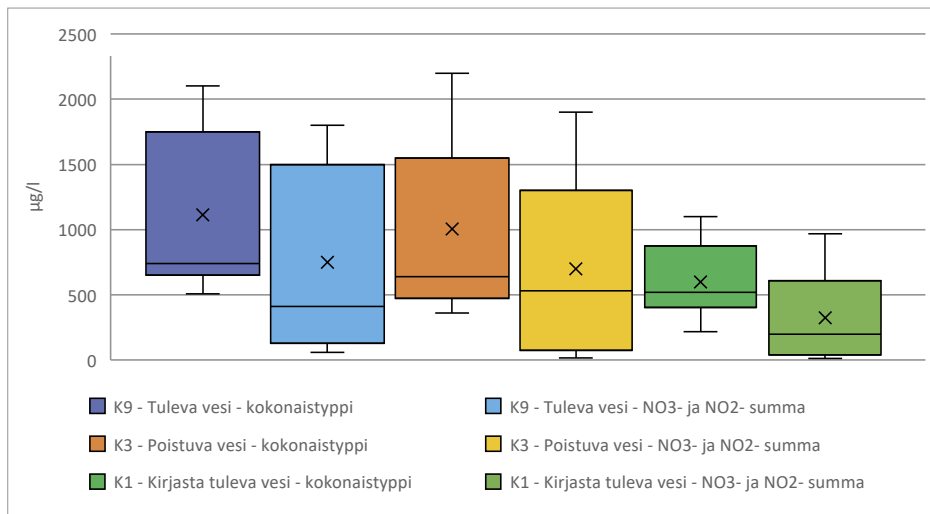
Hula-hankkeen aikana ei tehty tarkasteluja talviaikaan, joten havainnoissa ei ole mukana talviajan virtaamia tai näytteenottoja. Tämän myötä vuositasolle laskettavat määrät vää- ristyisivät merkittävästi, koska marras–huhtikuun välisistä muutoksista ja virtaamista ei ole kerättyä tietoa. Yleisenä yksikkönä hulevesien kuormituksen tarkasteluun käytetään valuma-alueen pinta-alaan suhteutettua aineen kokonaismäärää aikayksikössä, esimerkiksi $\text{kg}/\text{km}^{2}/\text{a}$. Tätä arvoa verrataan yleensä ominaiskuormitusarvoihin, jotka ovat tyypillisiä eri- laisille valuma-alueille (Hulevesiopas 2012). Tämän arvon luotettava laskeminen edellyttäisi laajempia näytteenottoja erilaisilla valumahetkillä sekä tietoa talven aikana tapahtuneista muutoksista. Esimerkiksi vuoden 2022 aikana Hula-hankkeen toiminta-aika oli touko- kuusta marraskuun alkupuolelle eli puolet vuodesta. Esimerkkejä kilogrammamääräistä laskettiin ajalle, jolta kohteesta on virtaamamittauksia, eli 5.5.2022–8.11.2022 (187 päivää).

Karikon hulevesialtaassa tapahtuvien vähennyksien laskuissa oletetaan, että kaikki tuleva vesi myös poistuu altaasta. Tämä ei kuitenkaan huomioi altaasta mahdollisesti imeytyvää, haihtuvaa tai siihen suoraan satavaa vesimäärää. Poistuvan veden virtaamaa laskettaessa ei voida käyttää suoraan poiston virtaamamittarin tulosta, koska se sisältää myös Kirjalan alueelta tulevat vedet. Tällöin tulokset vääristyisivät altaan poiston osalta. Altaan poiston tuloksia päädyttiinkin tarkastelemaan sillä oletuksella, että virtaama altaan poistossa on sama kuin altaan tulopuolella. Kirjalan alueen keskimääräinen virtaamamäärä on puolestaan laskettu vähentämällä keskimääräinen tulevan veden määrä poistuvan veden keskimääräi- sestä virtaamasta.

Koska hankkeen tavoitteena oli tarkastella järjestelmän toimivuutta ravinteiden ja haitta-aineiden vähentämisessä, käytetään havaittujen tulosten keskilukuja antamaan suuntaa antavia arvioita siitä, kuinka suuria muutoksia vedessä on tapahtunut. Nämä arvot sisältävät kuitenkin paljon virhemarginaalia, joten niitä pitää tarkastella kriittisesti.

HULEVEDEN TYPPIPITOISUUS

Hulevesialtaasta otettiin hankkeen aikana typpinäytteet yhteensä yhdeksän kertaa tulevasta (K9), poistuvasta (K3) sekä Kirjalasta tulevasta (K1) vedestä. Näytteistä analysoitiin sekä kokonaistyyppi että nitriitti- ja nitraattitypen summa. Kaikki näytteet analysoitiin ALS Finland Oy:n laboratorioissa. Kuvassa 3 on esitetty hulevesialtaan tulo- ja poistopuolelta otettujen näytteiden analyysien keskilukuja. Kokonaistyyppessä tulevasta vedestä havaitaan suurempia määriä (keskiarvo 1 113 µg/l, mediaani 740 µg/l) kuin poistuvasta vedestä (keskiarvo 1 005 µg/l, mediaani 640 µg/l). Tulosten perusteella veden typpipitoisuus näyttäisi hieman laskevan altaassa.



Kuva 3. Karikon hulevesialtaan kokonaistyyppi sekä NO₃- ja NO₂-summa ruutu- ja janakaaviona (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elo–marraskuu 2021. Näytteitä otettiin 9 kertaa.

Suomessa ei ole kansallisesti määritettyjä raja-arvoja hulevesien sisältämien yhdisteiden ja haitta-aineiden pitoisuuksille. Useiden julkaisujen perusteella suomalaisessa hulevesitutkimuksessa sovelletaankin laajalti Tukholman läänissä käytössä olevia raja-arvoja. Kokonaistypen osalta Tukholman läänin alin raja-arvo 2 000 µg/l ylittyi hieman 7.6.2022 Karikon hulevesialtaasta otetuissa näytteissä sekä hulevesialtaalle tulevassa vedessä (2 100 µg/l) että hulevesialtaasta poistuvassa vedessä (2 200 µg/l). Kaikkien näytteenotopisteiden kokonaistypen keskiarvot sekä mediaanit jäivät kuitenkin selvästi alle alimman raja-arvon.

Tukholman läänin raja-arvoissa ei ole erikseen määritetty raja-arvoja nitriitti- tai nitraattityypelle. (Riktvärdesgruppen 2009, 11.)

Hula-hankkeen vuoden 2022 toiminta-ajalle laskettuja kokonaistypen kuormia tarkasteltaessa (taulukko 2) nähdään, että altaaseen tulevan ja siitä poistuvan veden typpipitoisuuksien erotus on noin 4,72 kiloa ja typen vähenemä noin 10,6 prosenttia. Altaan poiston ja Kirjalasta tulevan veden yhteenlaskettu määrä on noin 62 kilogrammaa.

Taulukko 2. Keskiarvoilla lasketut virtaamamäärään suhteutetut kokonaistypen kuormat Hula-hankkeen toiminta-aikana kilogrammoina sekä keskihajonnat.

Piste	Virtaama keskiarvo (l/s)	Kokonaistyyppi keskiarvo(µg/l)	Kg 187 päivää***
K9 – Tuleva vesi	2,73	1 113 ± 609	49,1 ± 26,9
K3 – Poistuva vesi	2,73*	1 006 ± 659	44,4 ± 29,1
K1 – Kirjalasta tuleva vesi	1,81**	600 ± 290	17,5 ± 8,5

* Altaan poistuvan veden virtaaman oletetaan olevan sama kuin tulevassa vedessä.

** Laskettu poistuvan ja tulevan veden erotuksena.

*** Kaava: (virtaama l/s * 60 * 60 * 24 * 187) * (pitoisuus µg/l / 1 000 000 000).

Nitriitti- ja nitraattityypen summan kuormissa (taulukko 3) muutos on samankaltainen kuin kokonaistypen osalta. Verrattaessa altaaseen tulevan ja siitä poistuvan veden sisältämiä nitriitti- ja nitraattityppipitoisuuksia voidaan havaita niiden pienenevän noin 2,3 kiloa eli noin 6,9 prosenttia. Altaalta ja Kirjalan alueelta virtaavien vesien yhteenlaskettu osuus puolestaan on noin 40 kiloa. Typpipitoisuutta tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon, että yhdisteiden välillä tapahtuu jatkuvaa muuntumista esimerkiksi nitriitin osalta (Oravainen 1999, 20).

Taulukko 3. Keskiarvoilla lasketut virtaamamäärään suhteutetut nitriitti- ja nitraattityypen summan kuormat Hula-hankkeen toiminta-aikana kilogrammoina sekä keskihajonnat.

Piste	Virtaama keskiarvo (l/s)	NO ₃ - ja NO ₂ -summa keskiarvo(µg/l)	Kg 187 päivää***
K9 – Tuleva vesi	2,73	751 ± 692	33,1 ± 30,5
K3 – Poistuva vesi	2,73*	699 ± 683	30,8 ± 30,1
K1 – Kirjalasta tuleva vesi	1,81**	323 ± 332	9,4 ± 9,7

* Altaan poistuvan veden virtaaman oletetaan olevan sama kuin tulevassa vedessä.

** Laskettu poistuvan ja tulevan veden erotuksena.

*** Kaava: (virtaama l/s * 60 * 60 * 24 * 187) * (pitoisuus µg/l / 1 000 000 000).

Suurempi muutos tyyntypen osalta nähdään kokonaistyyntypen pitoisuuksissa. Tämä onkin looginen tulos. Tyynti on todennäköisesti sitoutunut kiintoainekseen, jolloin se pääsee sedimentoitumaan altaaseen veden virtauksen hidastuessa.

HULEVEDEN FOSFORIPITOISUUS

Huleveden fosforipitoisuutta tarkasteltiin myös kaikkien edellä mainittujen kolmen pisteen osalta seitsemän eri näytteenottokerran avulla vuosina 2021–2022. Valitettavasti ensimmäisten neljän näytteenoton osalta käytössä oli analyysimenetelmä, joka soveltuu likaisemmille vesille. Tällöin pieniä, alle 50 µg/l muutoksia ei saatu havaittua, vaan näytteiden pitoisuudet jäivät alle käytetyn menetelmän määrittämissä raja-arvoissa. Uudella menetelmällä analysoitiin vielä kolmen näytteenoton näytteet. Kaikki näytteet analysoitiin ALS Finland Oy:n laboratoriossa. Taulukossa 4 on esimerkkinä tulevan veden K9 pisteen kokonais- ja fosfaattifosforin pitoisuudet molemmilla menetelmillä. Muissakaan pisteissä ei havaittu määrittämissä ylittäviä fosforipitoisuuksia neljältä ensimmäiseltä näytteenotolta.

Taulukko 4. Altaalle tulevan veden (K9) fosforipitoisuudet (µg/l) seitsemältä näytteenotolta. Neljän ensimmäisen näytteenoton fosforin määrittämissä raja-arvot olivat liian korkeita, joten tulokset olivat alle määrittämissä raja-arvoissa. Kolmeen viimeiseen näytteenottoon menetelmää vaihdettiin pienten pitoisuuksien havaitsemiseksi soveltuvaksi.

Analyysi Pitoisuus µg/l	10.11. 2021	3.5. 2022	17.5. 2022	3.8. 2022	31.8. 2022	27.9. 2022	17.10. 2022
fosfori (P ₂ O ₅)	<120	<120	<120	<120			
kokonaisfosfori	<50	<50	<50,00	<50			
kokonaisfosfori fosfaattina (PO ₄ ³⁻)	<150	<150	<150	<150			
fosfaatti	<40	<40	<40	<40			
fosfaattifosfori	<13	<13	<13	<13			
kokonaisfosfori					16	22	41
fosfaattifosfori (PO ₄ -P)					14	18	10

Koska pitoisuudet olivat hyvin pieniä kaikissa pisteissä ja koska näytteenottoja, joista tulos ei ollut alle määrittämissä raja-arvoissa, oli vain kolme kappaletta, ei veden fosforipitoisuuden muutoksista voida sanoa mitään varmaa. Veden fosforipitoisuus näyttäisi kuitenkin hieman laskevan järjestelmässä. Näytteiden sisältämän kokonaisfosforin ja liukoisesta fosfaattifosforin välinen suhde näyttäisi myös vaihtelevan eri kohdista järjestelmää otetuissa näytteissä. Tulevan veden fosforipitoisuuksissa eri näytteenottojen välillä on eniten hajontaa. Kaikki kolmen näytteenoton kokonais- ja fosfaattifosforin tulokset ovat nähtävillä taulukossa 5.

Taulukko 5. Syksyllä 2022 tehtyjen fosforinäytteenottojen tulokset sekä niiden keskiarvo ja keskihajonta.

Piste	µg/l	31.8.	27.9.	17.10.	ka.	keski-hajonta
		2022	2022	2022		
K9 -Altaaseen tuleva vesi	Kokonaisfosfori	16	22	41	26	13
	Fosfaattifosfori	14	18	10	14	4
K3 - Altaasta poistuva vesi	Kokonaisfosfori	21	18	25	21	4
	Fosfaattifosfori	7	8	11	9	2
K1 - Kirjalan alueelta tuleva vesi	Kokonaisfosfori	11	12	17	13	3
	Fosfaattifosfori	4	5	5	5	1

Karikon hulevesialtaaseen tulevan veden fosforipitoisuudet ovat hyvin matalat, ja ne alittavat selvästi esimerkiksi Tukholman läänin alimman raja-arvon (160 µg/l). Kokonaisfosforimäärästä (taulukko 6) nähdään altaan poistavan noin 0,22 kiloa fosforia eli noin 19,2 prosenttia Hula-hankkeen toiminta-aikana. Kirjalan vesien yhdistyttyä altaalta poistuviin vesiin on Pitkäjärveä kohti päätyneet kokonaisfosforimäärä arviolta noin 1,31 kiloa 187 päivän ajalta.

Taulukko 6. Keskiarvoilla lasketut virtaamamäärään suhteutetut kokonaisfosforin summan kuormat kilogrammoina sekä keskihajonnat.

Piste	Virtaama keskiarvo (l/s)	Kok.P keski-arvo(µg/l)	Kg 187 päivää ***
K9 – Tuleva vesi	2,73	26 ± 13	1,15 ± 0,57
K3 – Poistuva vesi	2,73*	21 ± 4	0,93 ± 0,18
K1 – Kirjalasta tuleva vesi	1,81**	13 ± 3	0,38 ± 0,09

* Altaan poistuvan veden virtaaman oletetaan olevan sama kuin tulevassa vedessä.

** Laskettu poistuvan ja tulevan veden erotuksena.

*** Kaava: (virtaama l/s * 60 * 60 * 24 * 187) * (pitoisuus µg/l / 1 000 000 000).

Fosfaattifosforin arvioituista määristä (taulukko 7) altaan nähdään vähentäneen fosfaattifosforia noin 0,22 kiloa eli noin 35,7 prosenttia. Kirjalan vesien yhdistyttyä altaalta poistuviin vesiin on Pitkäjärveä kohti päätyvä fosfaattifosforin määrä arviolta noin 0,55 kiloa.

Taulukko 7. Keskiarvoilla lasketut virtaamamäärään suhteutetut kokonaisfosforin summan kuormat kilogrammoina sekä keskihajonnat.

Piste	Virtaama keskiarvo (l/s)	Fosfaattifosfori keskiarvo (µg/l)	Kg 187 päivää***
K9 – Tuleva vesi	2,73	14 ± 4	0,62 ± 0,18
K3 – Poistuva vesi	2,73*	9 ± 2	0,40 ± 0,09
K1 – Kirjalasta tuleva vesi	1,81**	5 ± 1	0,15 ± 0,03

* Altaan poistuvan veden virtaaman oletetaan olevan sama kuin tulevassa vedessä.

** Laskettu poistuvan ja tulevan veden erotuksena.

*** Kaava: (virtaama l/s * 60 * 60 * 24 * 187) * (pitoisuus µg/l / 1 000 000 000).

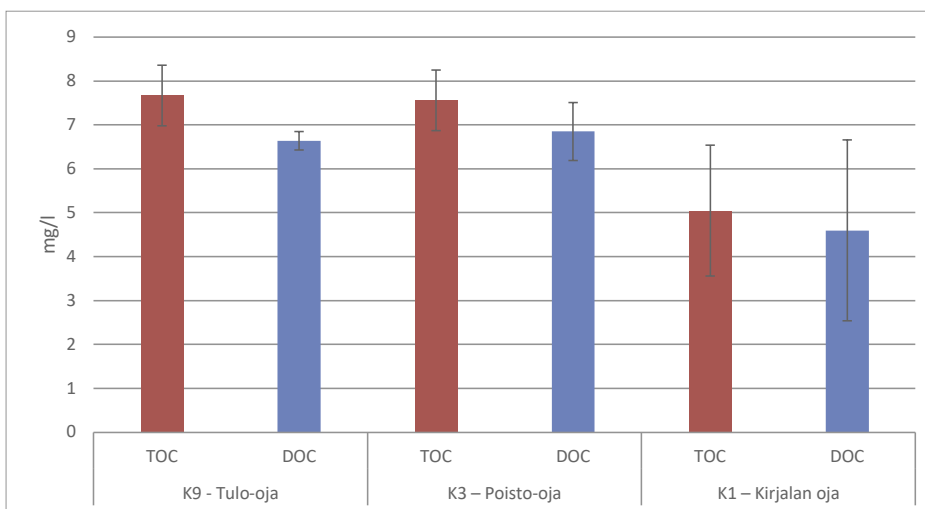
Fosforipitoisuudet ovat kohteessa matalia, mutta siitä huolimatta hulevesialtaalla vaikuttaisi olevan niitä vähentävä vaikutus. Suurempi muutos nähdään kokonaisfosforissa. Tämä onkin looginen tulos, sillä fosfori on todennäköisesti sitoutunut kiintoainekseen, jolloin se sedimentoituessaan jää altaaseen eikä virtaa veden mukana enää pois altaasta.

TOC, DOC JA FLUORESOIVA LIUKOINEN ORGAANINEN AINES (FDOM)

Orgaanisen hiilen määriä seuraamalla saadaan tietoa veden sisältämien orgaanisten aineiden määristä. Koska kaikki eloperäinen materiaali sisältää orgaanista hiiltä, saadaan sen määristä kuvaa esimerkiksi veteen päätyvästä humuksesta, jota puolestaan päätyy vesiin sadevesihuhtouman mukana. Orgaanisen kokonaishiilen (TOC) ja liunneen kokonaishiilen (DOC) pitoisuuksia seurattiin vuosina 2021–2022 kolmella pisteellä (K9, K3 ja K1) kolmen näytteenotokerran verran. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi ALS Finland Oy:lle. Näytteenotokertojen tulokset on esitetty taulukossa 8 sekä kuvassa 4.

Taulukko 8. Näytteiden TOC- ja DOC-pitoisuudet sekä niiden keskiarvot ja keskihajonnat.

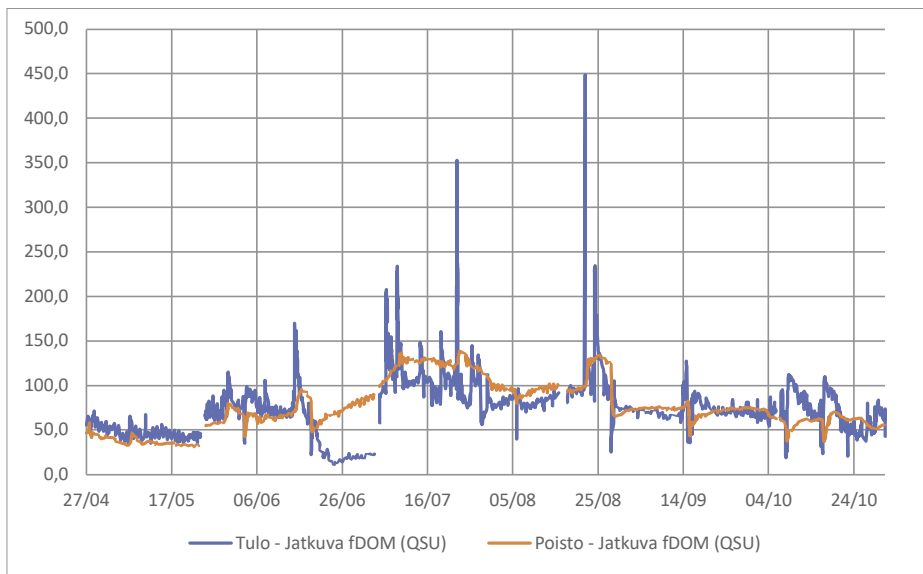
Piste	mg/l	10.11	3.5.	7.6.	ka.	keskihajonta
		2021	2022	2022		
K9 - Tulo-oja	TOC	8,31	6,94	7,76	7,67	0,69
	DOC	6,65	6,43	6,85	6,64	0,21
K3 – Poisto-oja	TOC	7,86	6,77	8,04	7,56	0,69
	DOC	6,83	6,2	7,51	6,85	0,66
K1 – Kirjalan oja	TOC	3,44	5,32	6,38	5,05	1,49
	DOC	2,37	5,19	6,38	4,6	2,06



Kuva 4. Kolmen näytteenoton TOC- ja DOC-pitoisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat Karikon hulevesialtaasta.

TOC ilmaisee veden sisältämän orgaanisen aineksen määrän hiilipitoisuutena. Tutkimusten mukaan Suomessa pintavesilaitosten käyttämän raakaveden TOC-arvo on tyypillisesti 5–15 mg/l. (Valvira 2020, 32.) Näihin arvoihin verrattuna Karikon altaasta otetuista hulevesinäytteistä analysoidut TOC- ja DOC-arvot ovat matalia. Suurin osa hiilestä on liukoisessa muodossa, eikä hulevesialtaalla näyttäisi olevan olennaista vaikutusta veden hiilipitoisuuteen. Liukoinen hiili kulkeutuu materiaalien läpi veden mukana, kun taas kiintoainekseen sitoutunut hiili voi laskeutua altaaseen tai jäädä suotopatoihin. Kirjalan alueelta tulevista vesistä havaittiin matalampia hiilimääriä kuin altaaseen tulevasta vedestä.

Näytteenottojen lisäksi jatkuvatoimisissa YSI EXO -vedenlaatumittareissa oli fluoresoivan liuennan orgaanisen aineksen (fDOM, fluorescent dissolved organic matter) anturit, joiden avulla orgaanisen aineksen muutoksia pystyttiin seuraamaan altaissa. Anturit olivat toiminnossa koko jatkuvatoimisten mittausten ajan eli huhtikuusta lokakuuhun 2022 (kuva 5).



Kuva 5. Altaan tulevan ja poistuvan veden jatkuvatoimisesti mitattu fluoresoiva liuennut orgaaninen aines (fDOM).

Näytteenoton tulosten ja jatkuvatoimisten mittausten perusteella hulevesialtaalla ei vaikuttaisi olevan suurta vaikutusta huleveden sisältämän fluoresoivan liuennun orgaanisen aineksen määrään. Tulevassa vedessä havaitaan sadetapahtumien yhteydessä suurempia piikkejä, jotka tasaantuvat altaan poistupuolelle mentäessä. Keskimäärin kuitenkin tulokset ovat hyvin samanlaiset. Liuennut orgaaninen aines sisältää monia orgaanisia yhdisteitä, mutta se koostuu tyypillisesti enimmäkseen liuennesta hiilestä (DOC) sekä liuennesta orgaanisesta fosforista ja typestä. (Autio 2014, 6.)

Tulosten perusteella altaalla ei ole ollut merkittäviä vaikutuksia vedessä oleviin orgaanista hiiltä sisältäviin yhdisteisiin. Kohteesta ei havaittu myöskään hälyttäviä TOC-arvoja.

HULEVEDEN SISÄLTÄMÄT METALLIT

Metalleja päätyy ihmistoiminnoista hulevesiin esimerkiksi rakennusten osien (peltikatot, rännit jne.) kulumisesta tai auton osien korroosiosta ja kulumisesta. Metallit esiintyvät hulevesissä yleensä partikkeleihin kiinnittyneinä. Kiintoaineen mukana esimerkiksi vesistöjen pohjaan sedimentoituneet metallit pysyvät yleensä kiintoaineeseen sitoutuneina, mikäli veden happipitoisuus ei laske liian alas. Hapettomassa tilassa metallit voivat muuttua liukoisiksi. (Valtanen ym. 2010, 17.)

Karikon hulevesialtaassa metalleja tarkasteltiin kolmesta pisteestä neljänä näytteenottona, jotka toteutettiin 10.11.2021, 3.5.2022, 28.6.2022 sekä 17.10.2022. Pisteinä toimivat altaaseen tuleva ja sieltä poistuva vesi sekä Kirjalan alueelta tuleva hulevesi. Näytteenottojen keskiarvotulokset on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Neljän näytteenoton metallipitoisuuksien keskiarvot kaikista kolmesta näytteenottopisteestä.

Analyysi, 4 näytteenoton keskiarvo µg/l		K9 - Altaaseen tuleva vesi	K3 - Altaasta poistuva vesi	K1 - Kirjalasta tuleva vesi
antimoni, Sb	kok.	<1	<1	<1
	liuk.	0,21	0,23	0,32
alumiini, Al	kok.	319	195	157
	liuk.	69	50	32
arseeni, As	kok.	<1	<1	<1
	liuk.	<1	<1	<1
elohopea, Hg	kok.	<0,020	<0,020	<0,020
	liuk.	<0,0050	<0,0050	<0,0050
kadmium, Cd	kok.	0,23	0,25	<0,20
	liuk.	0,12	0,11	<0,020
koboltti, Co	kok.	2,5	1,9	<0,50
	liuk.	2,3	1,8	<0,50
kromi, Cr	kok.	12	<5,0	<5,0
	liuk.	0,75	0,68	<0,200
kupari, Cu	kok.	5,4	<5,0	<5,0
	liuk.	3,05	0,6805	<0,200
lyijy, Pb	kok.	<1,0	<1,0	<1,0
	liuk.	<0,500	<0,500	<0,500
nikkeli, Ni	kok.	9,3	7,0	4,2
	liuk.	7,8	6,9	2,3
rauta, Fe	kok.	6028	4188	662
	liuk.	2325	1986	219
sinkki, Zn	kok.	20,5	22,1	67,9
	liuk.	16,7	14,2	28,0
vanadiini, V	kok.	<5,0	<5,0	<5,0
	liuk.	<1,0	<1,0	<1,0

Verrattaessa Karikon hulevesialtaaseen tulevia ja siitä lähteviä vesiä sekä toisaalta Kirjalan alueelta tulevia vesiä voidaan havaita niiden eroavan metallipitoisuuksien osalta. Yllä olevassa taulukossa ilmoitetut metallipitoisuudet ovat säännönmukaisesti pienemmät Kirjalan alueen hulevesissä sinkkiä lukuun ottamatta. Sinkkiä käytetään laajalti rakennus- ja auto-teollisuudessa terästuotteiden sinkitykseen, esimerkiksi autojen korisuojuukseen. Kirjalan alueella sijaitsee autokaupan toimintoja sekä metalliteollisuutta. Karikon hulevesialtaaseen tulevan veden rautapitoisuudet sekä kokonaisraudan että liukoisen raudan osalta ovat puolestaan noin kymmenkertaiset Kirjalan alueelta tulevaan veteen verrattuna. Tämä saattaa olla seurausta altaan valuma-alueella tehdyistä rakennus- ja maankaivutöistä. Rauta voi suurina määrinä olla haitallista vesieliöstölle. Esimerkiksi Yhdysvaltojen ympäristöhallinnon mukaan raudan haitallinen määrä vesieliöille luonnonvesissä on 1 mg/l (EPA 2022). Lisäksi rauta aiheuttaa esteettistä ja toiminnallista haittaa sakkautuessaan ja kertyessään muun muassa hulevesirakenteiden eri osiin ja kasvillisuuteen.

Verrattaessa vesinäytteistä analysoituja metallipitoisuuksia Tukholman läänissä käytössä oleviin raja-arvoihin (taulukko 10) voidaan havaita niiden enimmäkseen jäävän alle alimman raja-arvon. Ainoastaan kromin osalta altaaseen tulevan veden keskiarvopitoisuus ylitti alimman raja-arvon 10 µg/l.

Taulukko 10. Tukholman läänin raja-arvot (Riktvärdesgruppen 2009) metallien osalta sekä Karikon näytteistä Hula-hankkeen aikana havaitut korkeimmat ainekohtaiset pitoisuudet.

Aine	Alin raja-arvo (µg/l)	Ylin raja-arvo (µg/l)	Korkein allas tulovesi	Korkein Kirjala tulovesi
kadmium, Cd	0,4	0,5	0,23	<0,20
kromi, Cr	10	25	12	<5,0
kupari, Cu	18	40	7,2	<5,0
elohopea, Hg	0,03	0,07	<0,020	<0,020
nikkeli, Ni	15	30	11,8	4,2
lyijy, Pb	8	15	<1,0	<1,0
sinkki, Zn	75	125	30,3	141

Syksyllä 2022 tarkasteltiin myös altaan sedimentteihin kertyneitä metallipitoisuuksia. Näytteet otettiin kokoomanäytteinä, minkä jälkeen ne homogenisoiitiin, kuivattiin 105 celsiusasteessa ja analysoitiin röntgenfluoresenssianalysaattorilla (XRF). Muun muassa sedimentin sisältämän orgaanisen aineksen määrällä voi olla vaikutusta tiettyjen metallien pitoisuuksiin. Mittaushetkellä sedimenttien referenssinäytettä ei ollut saatavilla, joten tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina. Taulukossa 11 on nähtävillä seitsemän metallin pitoi-

suuksien keskiarvot ja keskihajonta sekä tulo- ja poistopuolen välinen muutos pitoisuuksissa (mg/kg) ja prosentteina. Ilmoitetut tulokset ovat kolmen rinnakkaismittauksen keskiarvo.

Kaikista seitsemästä metallista havaittiin korkeampia tuloksia altaan tulopuolelta verrattuna poistopuoleen. Havainto on yhtenäinen esimerkiksi kiintoaineen ja metallien vähenemisen kanssa. Veden virtausnopeuden hidastuessa kiintoainekseen sitoutuneet metallit sedimentoituvat altaan pohjalle eivätkä enää kulje eteenpäin veden mukana.

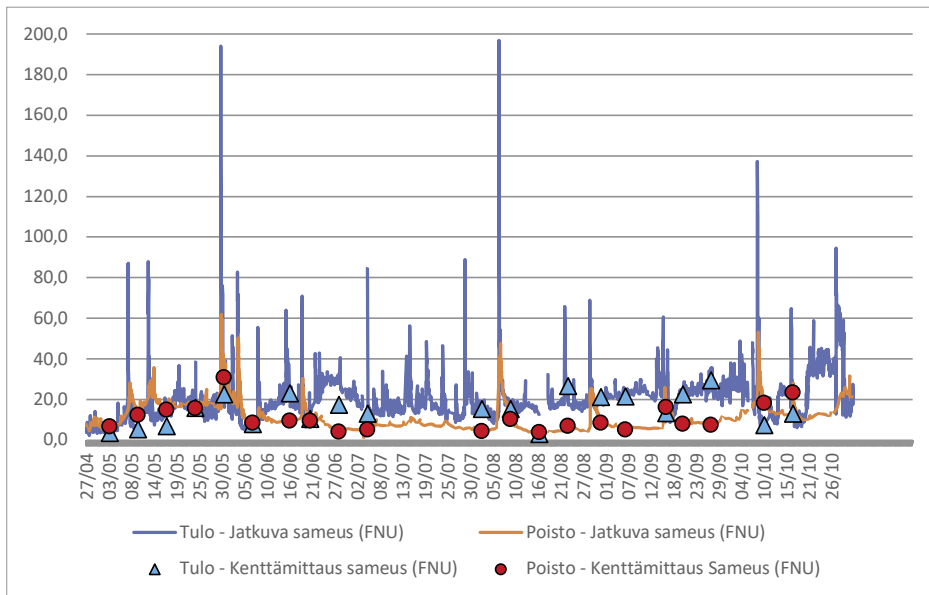
Taulukko 11. Tulo- ja poistoaltaan sedimenteistä XRF-mittarilla havaitut metallipitoisuudet (mg/kg) sekä keskihajonta.

Metalli	Allas tulopuoli ka.	Allas poistopuoli ka.	Muutos (mg/kg)	Muutos (%)
kromi, Cr	109 ± 16	99 ± 13	-10	-9 %
kupari, Cu	57 ± 13	25 ± 13	-32	-57 %
lyijy, Pb	14 ± 4	9 ± 4	-5	-34 %
rauta, Fe	80 570 ± 568	68 811 ± 525	-11 758	-15 %
sinkki, Zn	152 ± 12	90 ± 10	-61	-40 %
vanadiini, V	126 ± 26	118 ± 22	-9	-7 %
titaani, Ti	3 609 ± 105	3 448 ± 89	-161	-5 %

Huomioitavaa on, että nämä tulokset eivät sisällä kohteen taustapitoisuuksia eli luonnollisesti maaperässä olevia pitoisuuksia. Tuloksista ei voida eritellä sitä, kuinka suuri osa metalleista on ihmisperäistä ja kuinka suuri luonnollisesti esiintyvää. Siitä huolimatta tulokset viittaavat altaan toimivuuteen metallien vähentämisessä. Sedimenttinäytteiden tulokset ovat yhtenäisiä vesistä tehtyjen metallianalyysien kanssa.

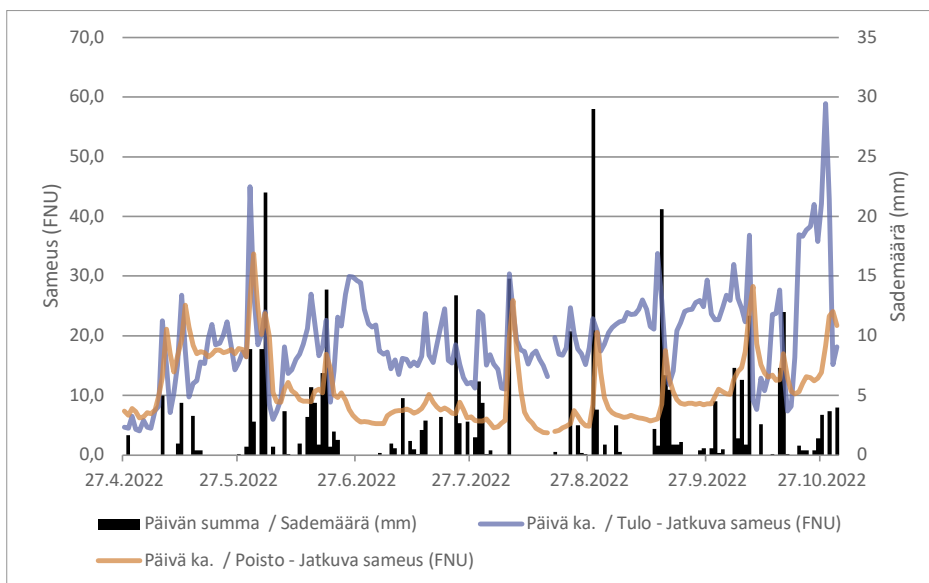
SAMEUS JA KIINTOAINE

Sameutta mitattiin kohteesta molempina vuosina kenttämittauksin sekä koko vuoden 2022 ajan jatkuvatoimisilla mittareilla altaan tulo- ja poistopuolelta. Kun vertaillaan vuoden 2022 kenttämittauksia ja jatkuvatoimisilla mittareilla mitattuja arvoja, voidaan havaita tulosten olevan yhteneviä (kuva 6). Tulevasta vedestä havaitaan selkeästi suuremmat sameuspiikit sadetapahtumien aikaan. Sameusarvo on myös lähes koko mittausjakson ajan pienempi poistuvassa vedessä.



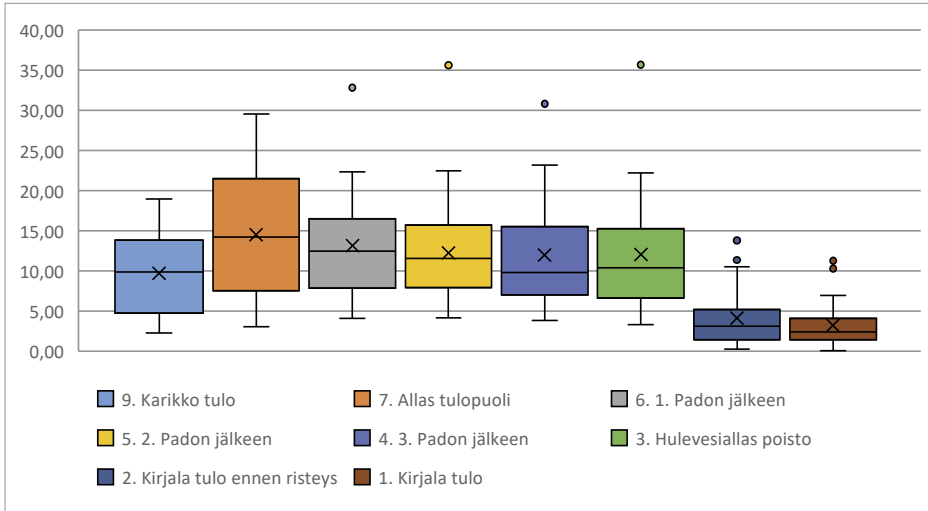
Kuva 6. Altaan tulevan ja poistuvan veden jatkuvatoimisesti ja kenttämittauksin mitattu sameus vuonna 2022.

Jatkuvatoimisesti mitatun sameuden päiväkeskiarvoja ja Ilmatieteen laitoksen Mikkelin lentoaseman sademäärän päivittäistä summaa (kuva 7) vertailtaessa nähdään sateiden selkeä vaikutus sameuteen. Suurimmat päivittäiset keskiarvot havaitaan ajankohtina, jolloin on ollut suuria yksittäisiä sadetapahtumia tai jatkuvampia, useita päiviä kestäneitä sateita. Tuloksista nähdään myös, että poistuvasta vedestä havaitaan jatkuvasti alhaisempia sameus-tuloksia kuin altaan tulopuolelta.



Kuva 7. Jatkuvatoimisesti mitatun sameuden päiväkeskiarvot sekä päivittäinen sademäärän summa (Ilmatieteen laitos, Mikkelin lentoasema).

Kaikkien kahdeksan mittauspisteen kenttämitattua sameutta tarkasteltaessa (kuva 8) nähdään samanlaisia muutoksia. Altaan tulopuolella sameusarvon havaitaan olevan korkein, ja arvo laskee veden virratessa altaan läpi. Pisteissä K1 ja K2 kenttämittarilla mitatut sameustulokset osoittavat selkeästi sen, että Kirjalasta tuleva hulevesi on merkittävästi kirkkaampaa kuin altaaseen tuleva hulevesi.



Kuva 8. Karikon hulevesialtaan sameuden (FNU) kenttämitatun arvon ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elo–marraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Mittauskertoja oli 29 kappaletta.

Koska suurilla yksittäisillä lisääntyneen virtaaman aiheuttamilla sameuspiikeillä on suuri vaikutus keskiarvotuloksiin, on tuloksista vielä hyvä tarkastella muitakin keskilukuja. Tulevan ja poistuvan veden jatkuvatoimisesti ja kenttämittauksin mitatun sameuden keskiarvoa, mediaania, keskihajontaa, minimiä ja maksimia (taulukko 12) tarkastelemalla havaitaan sameuden vähenevän altaassa. Molemmilla menetelmillä korkeimmat tulokset havaitaan altaan tulevalla puolella. Keskiarvon mukaan altaan vähemmän on jatkuvatoimisesti mitattuna 8,5 FNU ja kenttämittauksilla 4,1 FNU, kun taas mediaanilla jatkuvatoimisesti 8,9 FNU ja kenttämittauksilla 6,8 FNU. Koska mittausten tulosten todettiin olevan yhteneviä, voidaan jatkuvatoimisesti mitatun arvon todeta olevan näistä luotettavampi. Tätä voidaan perustella muun muassa sillä, että jatkuvatoimisesti mitattuja sameusarvoja on molempien mittareiden osalta noin 9 000 kappaletta, kun taas kenttämittarilla havaintoja on vain 29 kappaletta. Maksimiarvoista nähdään myös hyvin altaan toiminta. Tulopuolella korkein havaittu sameustulos on ollut 196,9 FNU, kun taas poistossa vain 61,9 FNU.

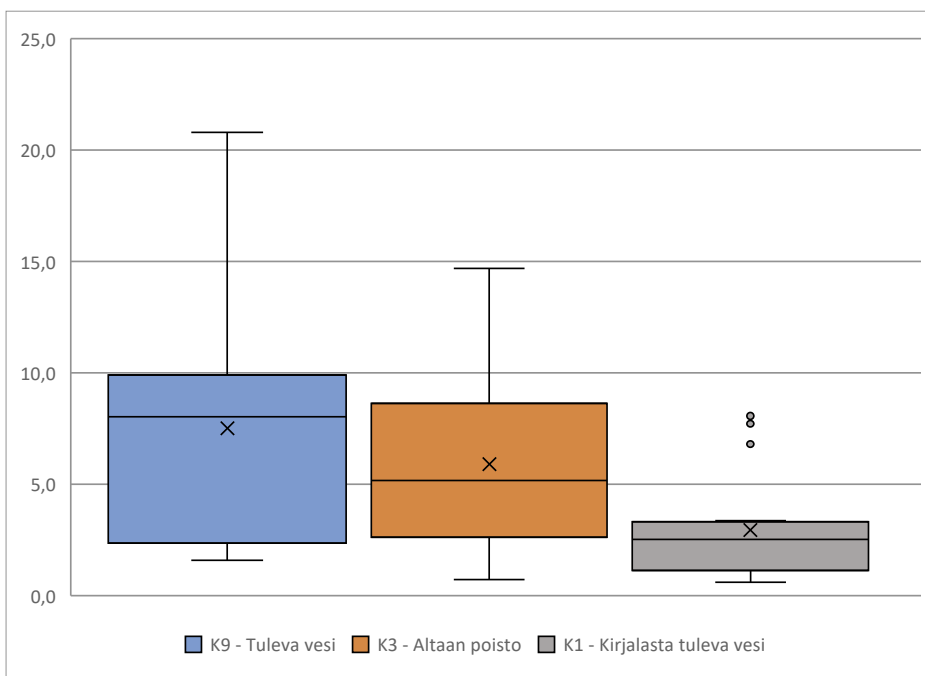
Taulukko 12. Hulevesialtaan tulevan ja poistuvan veden jatkuvatoimisesti ja kenttämitatun sameuden keskiarvo, mediaani, keskihajonta, maksimi ja minimi sekä niiden erotus.

Sameus (FNU)		Keski-arvo	Mediaani	Keskihajonta	Maksimi	Minimi
Jatkuva mittaus	Tulo	19,5	17,8	10,6	196,9	2,5
	Poisto	11,0	8,9	6,2	61,9	1,2
	Erotus	8,5	8,9	-	135,1	1,3
Kenttämittaus	Tulo	15,0	15,3	7,7	29,5	3,1
	Poisto	10,9	8,5	6,9	30,8	3,9
	Erotus	4,1	6,8	-	-1,3	-0,8

Jatkuvatoimisesti mitatun sameuden perusteella voidaan sanoa altaan vähentävän tulevan huleveden sameutta keskimäärin noin puolella. Jatkuvatoimisesti mitattuna myös suuremmat havaitut sameuslukemat ovat selkeästi pienempiä poistopuolella. Altaalla voidaan siis sanoa olevan sameutta vähentävä vaikutus.

Sameuden lisäksi kohteesta tarkasteltiin myös kiintoainepitoisuuksia näytteenotoin. Kiintoaineen määrä kuvaa sitä, kuinka paljon veden seassa on hiukkasia. Koska kiintoainemäärän kasvu tarkoittaa yleensä myös sameuden kasvua, voidaan sameuden avulla saada myös kuvaa veden kiintoainemäärästä. Kiintoainenäytteitä otettiin elo–marraskuun 2021 ja touko–lokakuun 2022 aikana 21 kertaa kolmelta näytteenottopisteeltä (K9, K3 ja K1). Kiintoainemääritystä varten jokaisesta näytteenottopisteestä otettiin kolme rinnakkaista vesinäytettä, jotka suodatettiin näytteenottopäivänä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa. Vesinäytteiden suodatuksessa käytettiin VWR International Oy:ltä hankittuja sideaineettomia lasikuitusuodattimia (luokka 693, koko 55 mm, läpäisevyys 1,2 µm). 31.5.2022 tehdyn näytteenoton kiintoainetulokset jätettiin pois vertailusta, koska niiden havaittiin selkeästi poikkeavan ajankohdan muista havainnoista, kuten sameudesta ja sademäärästä. Syy tulosten eroavaisuuteen oli mahdollisesti näytteenotossa tai kiintoainemäärityksessä tapahtuneesta virheestä.

Kiintoainetta seurattiin altaan kolmelta näytteenottopisteeltä (kuva 9) eli tulevasta vedestä (K9), poistosta (K3) sekä Kirjalan alueelta tulevasta hulevedestä (K1). Korkeimmat tulokset havaitaan selvästi altaalle tulevasta vedestä (keskiarvo 10,7 mg/l, mediaani 11,4 mg/l), ja arvot vähenevät poistopuolella (keskiarvo 8,4 mg/l, mediaani 7,4 mg/l). Kirjalasta tuleva vesi (keskiarvo 3,6 mg/l, mediaani 3,5 mg/l) puolestaan sisältää selvästi vähemmän kiintoainetta kuin altaaseen laskeva vesi.



Kuva 9. Kolmesta pisteestä havaitun kiintoaineksen (mg/l) ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elo–marraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Näytteitä otettiin 20 kappaletta jokaiselta pisteeltä.

Veden kiintoainepitoisuutta voidaan pitää merkittävänä parametrinä hulevesien laatua tarkasteltaessa. Hulevesioppaan mukaan nimenomaan kiintoaine on merkittävimpiä hulevesien haitallisia vesistövaikutuksia aiheuttava tekijä. (Hulevesiopus 2012, 124.) Tukholman läänissä hulevesien kiintoainepitoisuuksille on käytetty alimpana raja-arvona 40 mg/l ja ylempänä raja-arvona 75 mg/l. (Riksvärdesgruppen 2009, 11.) Näihin verrattuna Karikon altaalle tulevassa vedessä havaitut kiintoainepitoisuudet ovat erittäin matalat.

Tarkasteltaessa virtaamamäärään suhteutettuja määriä (taulukko 13) nähdään, että veden sisältämästä kiintoaineesta muodostuu virtaaman myötä suuret kuormat. Tulevan ja poistuvan veden sisältämän kiintoaineen erotus on 71 kilogrammaa, joka vastaa noin 21 prosentin vähenemää kiintoaineen määrässä.

Taulukko 13. Jatkuvatoimisesti mitatun virtaaman keskiarvoon suhteutetut kiintoaineen kuormat kilogrammoina sekä niiden keskihajonta.

Piste	Virtaama keskiarvo (l/s)	Kiintoaine keskiarvo(µg/l)	Kg 187 päivää***
K9 – Tuleva vesi	2,73	7 509 ± 5 069	331 ± 224
K3 – Allas poistuva vesi	2,73*	5 901 ± 3 953	260 ± 174
K1 – Kirjalasta tuleva vesi	1,81**	2 939 ± 2 261	85 ± 66

* Altaan poistuvan veden virtaaman oletetaan olevan sama kuin tulevassa vedessä.

** Laskettu poistuvan ja tulevan veden erotuksena.

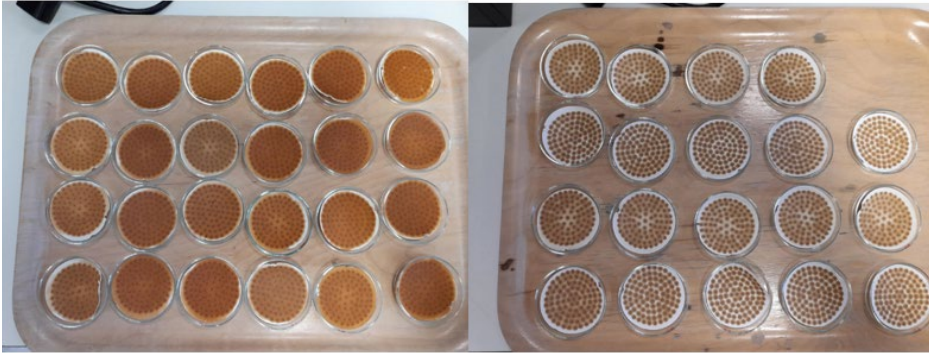
*** Kaava: (virtaama l/s * 60 * 60 * 24 * 187) * (pitoisuus µg/l / 1 000 000 000).

Hankkeen aikana haluttiin myös tarkastella tarkemmin sadetapahtumien aikana tapahtuvia muutoksia sameudessa ja kiintoainepitoisuudessa. Tässä käytettiin apuna kahra automaattista Hach AS950 -näytteenotinta (kuva 10). Näytteenottimet mahdollistavat nimensä mukaisesti automatisoidun näytteenoton, jolloin kohteen muutoksia voidaan seurata helposti halutun ajanjakson välein. Sadetapahtuman aikana 17.–18.9.2022 suoritettiin aikapainotteinen näytteenotto. Näytteenottimet ohjelmoitiin ottamaan 800 ml vesinäytettä tunnin välein vuorokauden ajan. Näytteenottimet sijoitettiin hulevesialtaan tulo- ja poistupuolelle lähelle jatkuvatoimisia vedenlaatumittareita ja näytteenottopäivän jälkeen ne käytiin noutamassa näyteanalyysia varten. Näytteistä analysoitiin kiintoainepitoisuudet, jotta nähtäisiin, kuinka ne muuttuvat sadetapahtuman aikana.



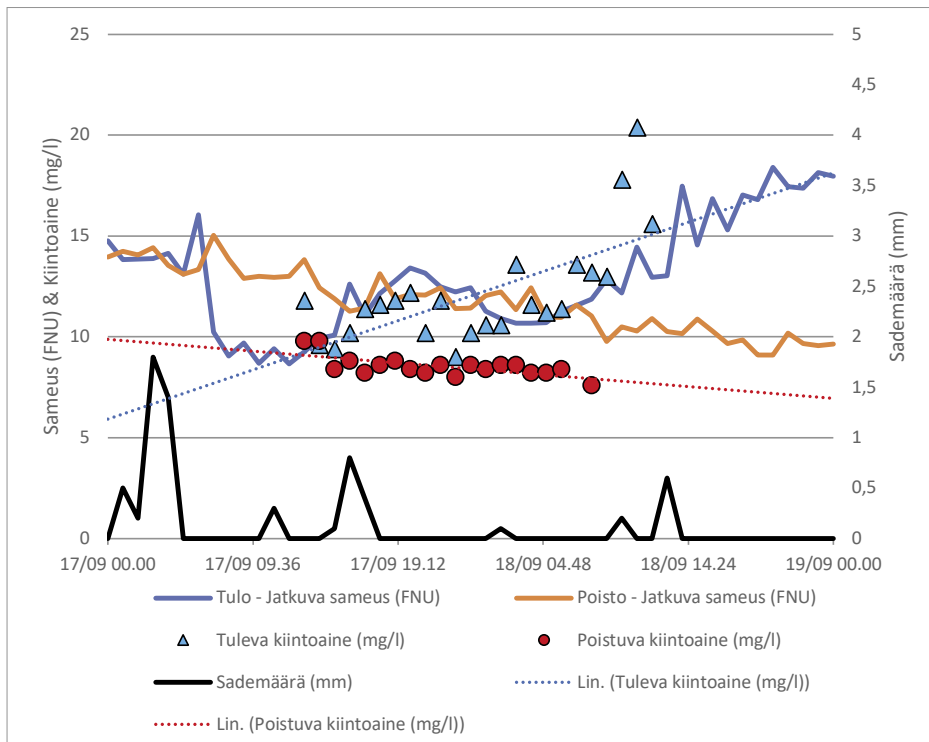
Kuva 10. Automaattinen näytteenotin (Hach AS950) kentällä (kuva: Tuija Ranta-Korhonen).

Ero altaan tulo- ja poistopuolelta otettujen näytteiden välillä näkyi selkeästi jo kiintoaineen suodatuksessa käytetyistä suodatinpapereista. Kuvassa 11 on esitetty näytteiden suodatuksessa käytetyt suodattimet kuivauksen jälkeen. Vasemmalla on tulopuolelta otettujen näytteiden suodatuksessa käytetyt suodattimet ja oikealla poistopuolen vastaavat. Poistopuolen suodatuksessa käytettyjä suodattimia on vähemmän, sillä poistopuolella käytetyn automaattisen näytteenottimen toimintahäiriön vuoksi viittä viimeistä näytettä ei saatu otettua. Tästä johtuen poistopuolelta saatiin ainoastaan 19 näytettä.



Kuva 11. Tulo- ja poistopuolen kiintoainemäärityksessä käytetyt suodattimet (kuva: Marleena Tirkkonen).

Saatuja kiintoainetuloksia verrattiin yhdessä kyseisellä ajanhetkellä jatkuvatoimisesti mitattuun sameuteen tulo- sekä poistopuolelta sekä Ilmatieteen laitoksen sademäärään (kuva 12). Kuvaajasta nähdään hyvin sateen myötä sameuden ja kiintoaineksen lähtevän kasvuun, kun taas poistopuolella sameus vielä laskee. Kyseisellä ajanhetkellä viipymä tulevan ja poistuvan veden mittauspisteiden välillä on ollut aikaisemmista sameuspiikeistä päätellen noin kymmenen tuntia.



Kuva 12. Jatkuvatoimisesti mitattu sameus (FNU, automaattisilla näyttөөntimillä havainnointu kiintoaine (mg/l) sekä Ilmatieteen laitoksen Mikkelin lentoaseman sääaseman sademäärä (mm) 17.–19.9.2022.

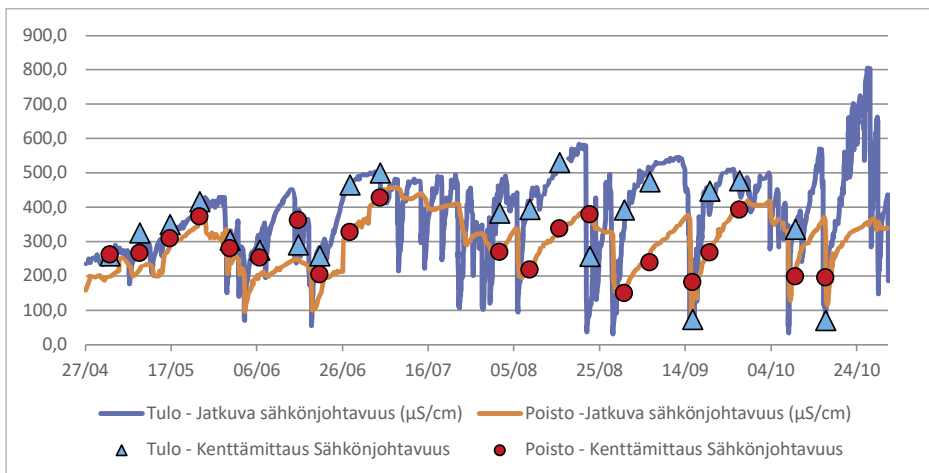
Automaattisten näyttөөntimien avulla saadut kiintoainetulokset antavat hyvän kuvan altaan kyvystä vähentää hulevedessä olevaa kiintoainetta. Vaikka kyseessä on vain yksittäinen ajanhetki, ovat sen avulla saadut tulokset samansuuntaisia muiden kiintoainetulosten kanssa.

Jatkuvatoimisten mittausten perusteella sameus vähenee altaassa keskiarvopitoisuuksien perusteella laskettuna noin 44 prosenttia ja mediaanipitoisuuksilla laskettuna noin 50 prosenttia. Kiintoainepitoisuuksissa vastaava reduktio on noin 21 prosenttia keskiarvopitoisuuksilla laskettuna ja noin 36 prosenttia mediaanipitoisuuksilla laskettuna. Huomioitavaa on, että sameutta tarkasteltiin melkein 9 000 mittauksen verran, kun taas kiintoainepitoisuutta 20 näyttөөn avulla. Vertailutavasta huolimatta on selkeää, että altaalla on veden sameutta ja kiintoainepitoisuutta vähentävä vaikutus.

SÄHKÖNJOHTOKYKY JA KLORIDI

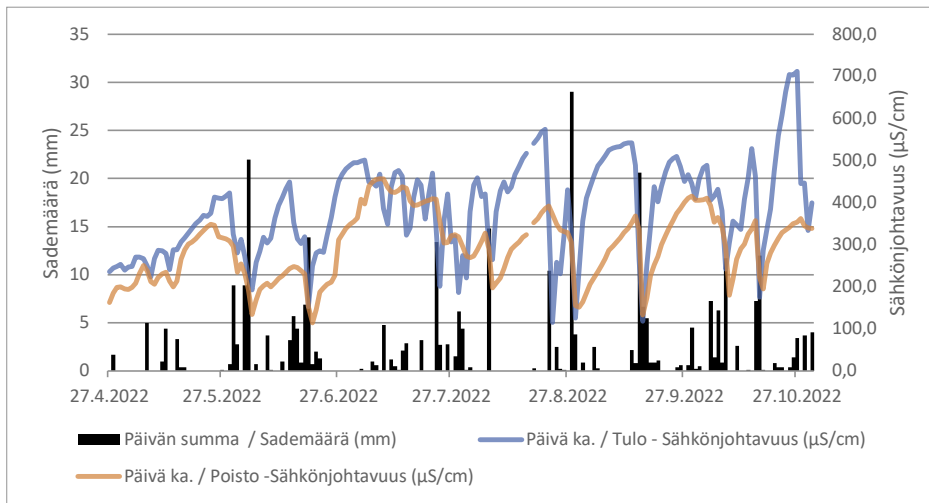
Sähkönjohtavuuden arvo hulevesissä kertoo veden sisältämien ionimuodossa olevien aineiden määrän. Tällaisia aineita ovat muun muassa natriumin tai kaliumin kloridi- ja sulfaattisuolat. Tyypillisesti hulevesien sähkönjohtavuutta voi nostaa esimerkiksi liukkaudentorjunnasta peräisin oleva kloridi. Sulfaattia puolestaan voi päätyä hulevesiin esimerkiksi lannoitteista tai ilmalaskeuman kautta. (Vahtera ym. 2016, 16.)

Karikon hulevesialtaasta mitattiin veden sähkönjohtavuutta sekä jatkuvatoimisilla antureilla että ProDSS-kenttämittarin avulla. Kuvassa 13 on vertailtu jatkuvatoimisten antureiden tuloksia kenttämittarin mittaustuloksiin vuodelta 2022. Kenttämitatut arvot osuvat erittäin hyvin jatkuvatoimisesti mitattuihin arvoihin, joten tuloksien voidaan sanoa olevan luotettavia.



Kuva 13. Vuonna 2022 jatkuvatoimisesti sekä kenttämittareilla havaitut sähkönjohtavuudet (µS/cm) altaan tulo- ja poistopuolelta.

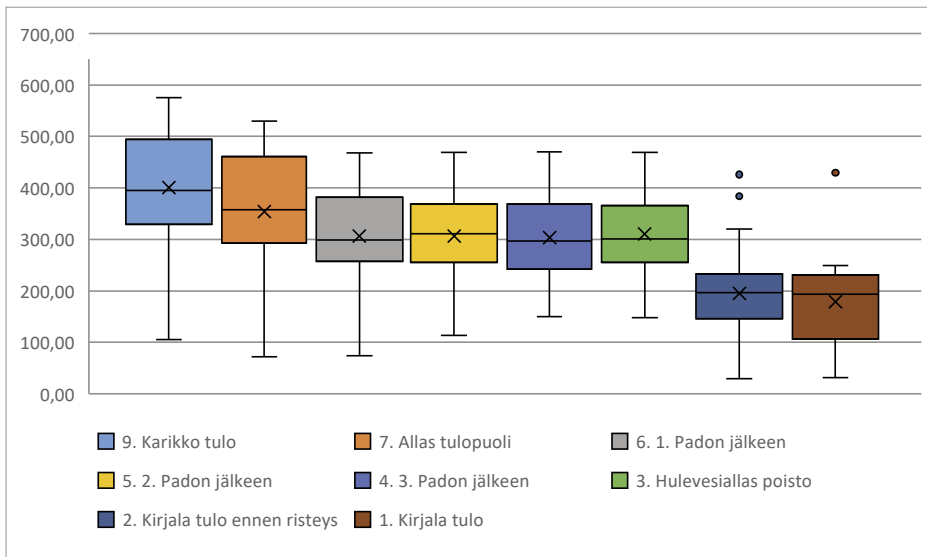
Kuvassa 14 on yhdistetty jatkuvatoimisten mittareiden mittaustulokset Ilmatieteen laitoksen Mikkelin lentokentän mittauspisteellä mitattuihin sademääriin. Kuvasta voidaan havaita veden sähkönjohtavuuden laskevan sateiden vaikutuksesta veden laimentuessa. Koko mittausjaksoa tarkasteltaessa voidaan havaita sähkönjohtavuuden olleen keväällä hieman matalampi kuin myöhemmin kesän aikana. Tämä johtuu luultavasti siitä, että keväällä vesiä on maastossa enemmän liikkeellä, minkä vuoksi vesi on ”laimeampaa”. Lokakuun 2022 lopussa altaan tulopuolen veden sähkönjohtavuudessa nähdään huomattava nousu. Nousu jää kuitenkin lyhytaikaiseksi, ja sähkönjohtavuuden arvo palautuu nopeasti tavalliselle tasolle. Tarkkaa syytä tälle nousulle ei voida sanoa.



Kuva 14. Jatkuvatoimisesti mitatun sähkönjohtavuuden päivittäiset keskiarvot sekä päivittäinen sademäärän summa (Ilmatieteen laitos, Mikkelin lentoasema).

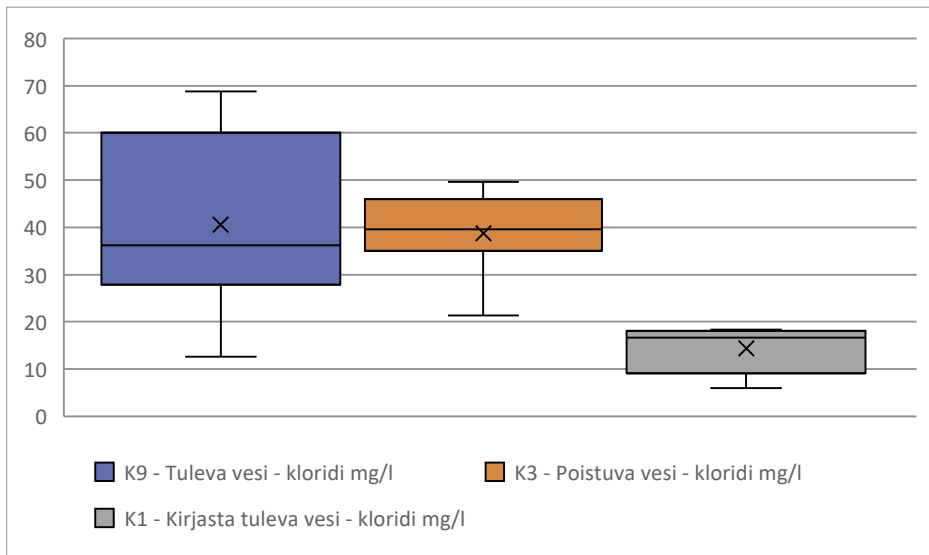
Kuvasta voidaan havaita, että sähkönjohtavuus laskee sadetapahtumien yhteydessä merkittävästi. Tulevan veden sähkönjohtavuuden keskiarvo on noin 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kun taas altaan poistossa sähkönjohtavuuden keskiarvo on noin 370 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kuvasta voidaan havaita myös, että tulevan veden sähkönjohtavuusarvoissa on selvästi enemmän vaihtelua, kun taas altaan loppupään sähkönjohtavuus pysyy tasaisempana.

Kaikkien hulevesialtaan kahdeksan pisteen kenttämitattuja arvoja molemmilta vuosilta tarkasteltaessa (kuva 15) nähdään myös pientä laskua. Arvot vähenevät altaan tulolta (keskiarvo 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) poistolle päin mentäessä (keskiarvo 310 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Sähkönjohtokyvyn vähenemä on siis keskimäärin noin 23 prosenttia. Kirjalan alueelta tulevissa hulevesissä sähkönjohtavuus on selkeästi altaalle tulevaa vettä matalampi (keskiarvo noin 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Yhteenvetona voidaan todeta, että sähkönjohtavuus on tehtyjen mittausten perusteella hulevesille melko tyypillinen, ja esimerkiksi Helsingissä vuosina 2001–2014 tehdyissä tutkimuksissa sähkönjohtavuuden mediaani vaihteli 19–34 mS/m ja keskiarvo oli 30–44 mS/m tutkitusta alueesta riippuen (Airola ym. 2014, 44).



Kuva 15. Karikon hulevesialtaan sähkönjohtavuuden ($\mu\text{S}/\text{cm}$) kenttämitatun arvon ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x , kvartiilit, minimi ja maksimi) elomarraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Mittauskertoja oli 29 kappaletta.

Kuvassa 16 on esitetty Karikon altaasta analysoitujen kloridipitoisuuksien tulokset. Näytteitä otettiin hankkeen aikana yhteensä seitsemän kertaa. Näytteenoton perusteella altaan tulopuolen veden kloridipitoisuus vaihteli 12,6–68,8 mg/l ja poistopuolen vastaavasti 21,4–49,6 mg/l. Tulosten perusteella on hankalaa tehdä johtopäätöksiä kloridipitoisuuksien muutoksesta altaassa, sillä lokakuussa 2021, toukokuussa 2022 ja lokakuussa 2022 tehtyjen näytteenottojen perusteella veden kloridipitoisuus näyttäisi altaassa kasvavan, kun taas kesä- ja elokuussa 2022 otettujen näytteenottojen perusteella laskevan. Tyypillisesti hulevesien kloridipitoisuudet ovat korkeimmillaan lumien sulamisaikaan keväällä. Karikon altaasta mitatut kloridipitoisuudet olivat kuitenkin tulopuolen osalta korkeimmat elokuussa 2022. On mahdollista, että tämä johtuu alueella tehdyistä kaivutöistä ja altaan melko äskettäisestä rakentamisesta.



Kuva 16. Kolmesta pisteestä havaitun kloridin (mg/l) ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elo–marraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Näytteitä otettiin seitsemän kappaletta jokaiselta pisteeltä.

Suhteuttamalla havaitut kloridimäärät vielä havaittuihin virtaaman keskiarvoihin (taulukko 14) nähdään altaan poistavan noin 75 kiloa kloridia eli noin neljä prosenttia.

Taulukko 14. Jatkuvatoimisesti mitatun virtaaman keskiarvoon suhteutetut kloridin kuormat kilogrammoina sekä niiden keskihajonta.

Piste	Virtaama keskiarvo (l/s)	Kloridi keskiarvo (µg/l)	Kg 187 päivää***
K9 – Tuleva vesi	2,73	40 500 ± 19 067	1786 ± 841
K3 – Poistuva vesi	2,73*	38 800 ± 9 335	1711 ± 412
K1 – Kirjalasta tuleva vesi	1,81**	14 328 ± 5 130	419 ± 150

* Altaan poistuvan veden virtaaman oletetaan olevan sama kuin tulevassa vedessä.

** Laskettu poistuvan ja tulevan veden erotuksena.

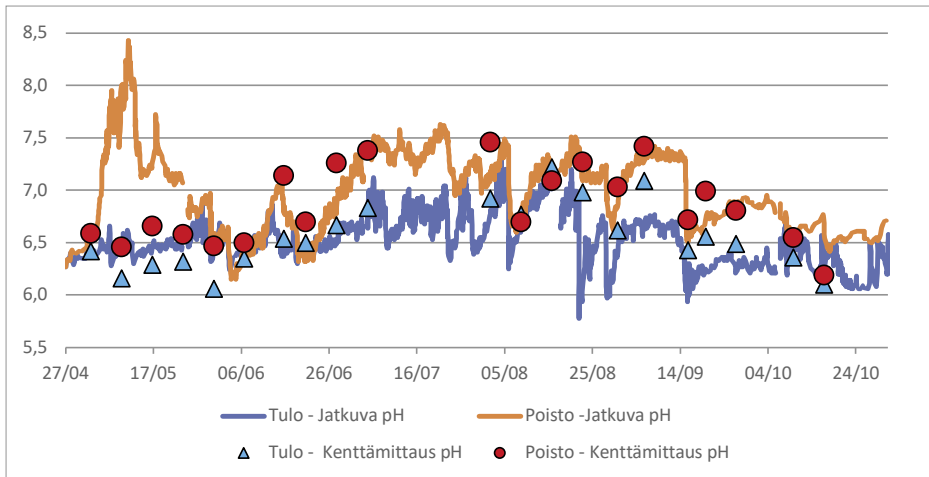
*** Kaava: (virtaama l/s * 60 * 60 * 24 * 187) * (pitoisuus µg/l / 1 000 000 000).

Tulevassa vedessä havaitaan keskimäärin korkeita kloridipitoisuuksia (keskiarvo 40,5 mg/l, mediaani 36,2 mg/l). Hulevedelle ei kuitenkaan ole annettu selkeitä kloridin raja-arvoja. Myöskään vesistöille ei ole olemassa sovellettavaa raja-arvoa. Pohjavedelle puolestaan kloridin laatumnormi on 25 mg/l (VNa 1040/2006; VNa 341/2009). Kohteen korkeat kloridiarvot selittyvät loogisesti sillä, että allas on heti Valtatie 13:n läheisyydessä, jolloin maantiesuolauksen vaikutus näkyy huleveden kloridipitoisuuksissa.

Altaalla vaikuttaisi olevan veden sähkönjohtokykyä alentava vaikutus, mutta kloridipitoisuuksissa ei havaittu selkeitä muutoksia. Sähkönjohtokyvyn alenema johtuu todennäköisesti kiintoaineksessa olevien aineiden, kuten sulfaattien, jäämisestä sedimentoitumisen myötä altaaseen.

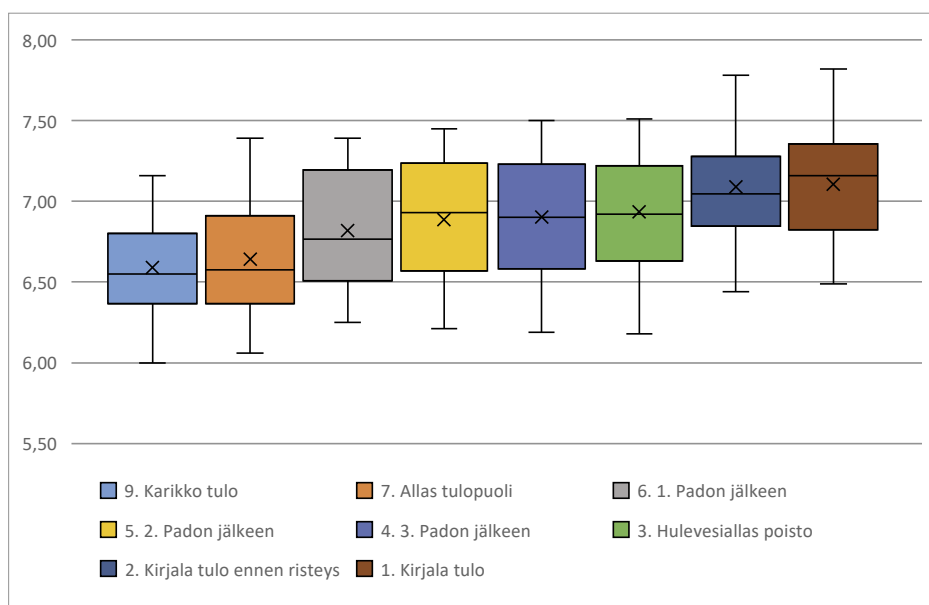
HAPPAMUUS

Neutraalin veden pH on 7. Tarkasteltaessa kuvassa 17 esitettyä jatkuvatoimisten mittalaitteiden ja kenttämittarien mittaustulosten välistä vastaavuutta voidaan havaita tulosten olevan enimmäkseen samansuuntaiset. Ainoastaan monitorointikauden alussa jatkuvatoimisilla antureilla mitattu altaasta poistuvan veden pH vaikuttaisi selvästi eroavan kenttämittarilla mitatuista tuloksista. Tulosten eroavaisuuden syy ei ole tiedossa, koska ennen mittausten alkamista huhtikuussa pH-anturin vaihtokärki vaihdettiin uuteen.



Kuva 17. Vuonna 2022 jatkuvatoimisesti sekä kenttämittareilla havaittu pH-arvo altaan tulo- ja poistupuolelta.

Tarkasteltaessa kenttämittarilla mitattuja pH-arvoja (kuva 18) voidaan havaita veden pH-arvon nousevan altaassa melko selvästi. Sadevesi on usein hieman hapanta, mutta maan pinnalla ja esimerkiksi betonipintojen vaikutuksesta veden pH tyypillisesti nousee. (Nurmi 2001, 6.) Helsingissä vuosina 2001–2012 tehtyjen hulevesitutkimusten mitattujen pH-arvojen vaihteluväli oli 6,4–8,0 ja mediaaniarvo 7,2–7,3. Tutkimuksessa ei havaittu eroja erityyppisillä alueilla (asuin-, teollisuus- ja paikoitusalueet) syntyvien hulevesien happamuudessa. (Airola ym. 2014, 40.)



Kuva 18. Karikon hulevesialtaan happamuuden (pH-arvo) kenttämitatun arvon ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elo–marraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Mittauskertoja oli 29 kappaletta.

Huleveden happamuudella on merkitystä esimerkiksi sen sisältämien metallien liukoisuudelle. Monet metallit muuttuvatkin liukoisemmiksi ja sen myötä myös haitallisemmiksi happamissa oloissa. (Airola ym. 2014, 12.) Luonnonvesien vesieliöstölle sopiva pH:n vaihteluväli on 6,0–8,0 (Syke n.a.). Tähän arvoon verrattuna Karikon hulevesialtaan veden pH vaikuttaisi olevan hyvällä tasolla. Happamuuden (pH-arvon) vaikutusta sedimentissä esiintyvien metallien liukoisuuteen on havainnollistettu taulukossa 15.

Taulukko 15. Metallien liukoisuuteen vaikuttavat pH-arvot (Peng ym. 2009, Luukkonen 2017 mukaan).

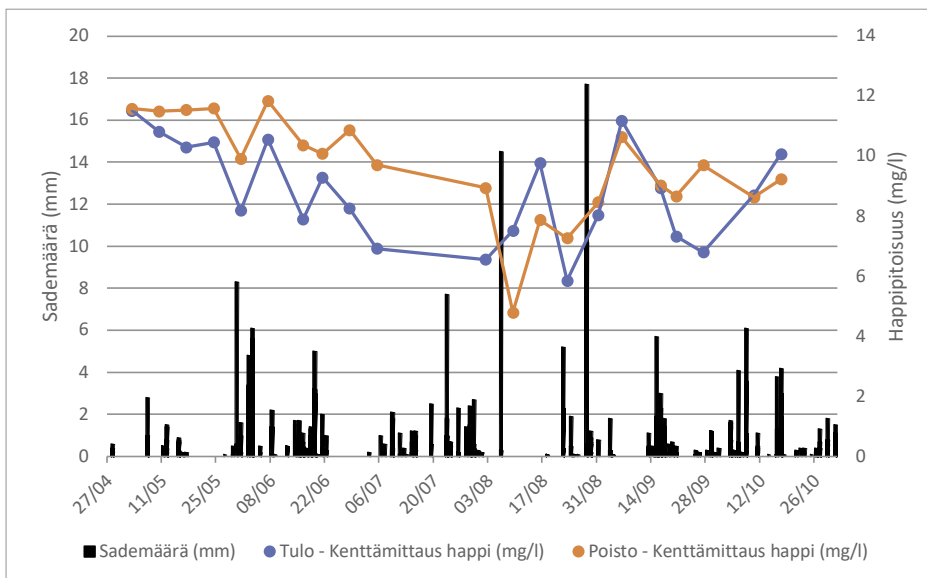
Metalli	pH-raja-arvo ^a
sinkki (Zn)	6,0–6,5
kadmium (Cd)	6,0
nikkeli (Ni)	5,0–6,0
arseeni (As)	5,5–6,5
kupari (Cu)	4,5
lyijy (Pb)	4,0
alumiini (Al)	2,5
rauta (Fe)	2,5

^a Raja-arvon alittuessa metallit liukenevat.

Taulukosta voidaan havaita, että jo pieni muutos pH-arvossa voi vaikuttaa metallien liukoisuuteen. Metalleista esimerkiksi sinkki ja arseeni voivat muuttua liukoiksi pH:n ollessa alle 6,5. Karikon hulevesialtaalle tulevan veden pH:n keskiarvo on yli 7, eli luultavimmin metallit säilyvät altaassa kiinteässä muodossa.

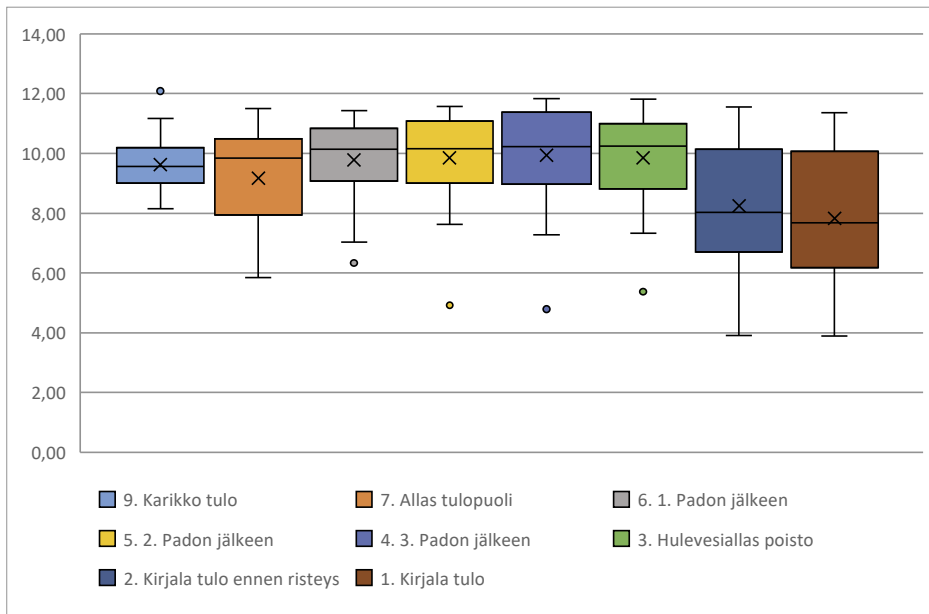
HAPPIPITOISUUS

Jatkuvatoimisissa mittareissa ei ollut happianturia, joten kohteen happipitoisuuksia tarkasteltiin pelkästään kenttämittauksen osalta. Kuvaajaa (kuva 19) tarkasteltaessa voidaan havaita altaan poistupuolen veden happipitoisuuden olevan suurimman osan monitorointiajasta korkeammalla tasolla kuin tulopuolen veden happipitoisuuden. Tämä voi olla seurausta altaan tulopuolella kasvavien vesikasvien yhteyttämistoiminnasta, mutta luultavasti suurimmalta osin hapen liukenemisesta veteen ilmasta veden virratessa altaan läpi. Sateen voidaan nähdä useimmiten selvästi lisäävän veden happipitoisuutta.



Kuva 19. Tulevan ja poistuvan veden happipitoisuuden (mg/l) kenttämittauksen tulokset ja Ilmatieteen laitoksen Mikkelin lentoaseman sademäärä (mm).

Tarkasteltaessa kaikkien kahdeksan mittauspisteen tuloksia (kuva 20) nähdään muutosten olevan samansuuntaisia kuin pelkästään tulevassa ja poistuvassa vedessä. Happipitoisuus vaikuttaa hieman kasvavan heti altaan alkupäässä, mutta altaassa merkittäviä muutoksia ei enää tapahdu. Kuten muissakin parametreissa, on Kirjalasta tulevan huleveden happipitoisuus selkeästi erilainen verrattuna altaaseen tulevaan veteen. Keskimäärin Kirjalasta tuleva vesi sisältää vähemmän happea, mutta sen vaihteluväli on myös huomattavasti suurempi.



Kuva 20. Karikon hulevesialtaan happipitoisuuden (mg/l) kenttämitatun arvon ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elo–marraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Mittauskertoja oli 29 kappaletta.

Vaikka kohteessa vaikuttaisi tapahtuvan pieniä muutoksia happipitoisuudessa, ei niiden varmaa aiheuttajaa voida sanoa. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta happipitoisuuksien olevan normaaleja, eikä niissä havaita mitään poikkeavaa.

YHTEENVETO

Alla olevaan taulukkoon 16 on koottu Karikon hulevesialtaassa tapahtuvien laadullisten muutosten keskiarvot altaaseen tulevasta ja poistuvasta vedestä sekä Kirjalan alueelta tulevasta hulevedestä. Vertailtaessa Karikon altaalle tulevaa ja Kirjalan alueen vettä voidaan havaita Kirjalan huleveden selvästi sisältävän vähemmän haitta-aineita ja muita kuormittavia tekijöitä. Esimerkiksi kokonaistyyppi, kokonaisfosfori, alumiini ja kiintoaine ovat vain puolet siitä, mitä Karikon hulevesialtaan tulopuolelta havaitaan. Lisäksi esimerkiksi Kirjalasta tulevan raudan pitoisuus on vain noin kymmenesosa altaaseen tulevasta vedestä.

Altaan tuloa ja poistoa tarkasteltaessa yhteenvedona kaikista esitetyistä parametreista voidaan todeta, että Karikon altaalla on selvästi vaikutusta veden laatuun. Vaikutuksen suuruusluokka eroaa tarkasteltujen eri parametrien kohdalla. Huomioitavaa on kuitenkin se, että joidenkin parametrien kohdalla tuloksia on ainoastaan muutamia kappaleita.

Taulukko 16. Karikon hulevesialtaassa tapahtuvien huleveden laadullisten muutosten keskiarvot järjestelmän tulo- ja poistovedestä sekä Kirjalan alueelta tulevasta vedestä.

Parametri	Havaintojen lukumäärä	Allas tulo	Allas poisto	Kirjala tulo
kokonaistyyppi (µg/l)	9	1 113	1 006	600
NO ₃ - ja NO ₂ -summa (µg/l)	9	751	699	323
kokonaisfosfori (µg/l)	3	26	21	13
fosfaattifosfori (µg/l)	3	18	9	5
rauta (µg/l)	4	6 028	4 188	662
alumiini (µg/l)	4	319	195	157
sameus kenttämittaus (FNU)	29	15	10,9	3,2
kiintoaine (µg/l)	20	7 509	5 901	2 939
sähkönjohtokyky kenttämittaus (µS/cm)	29	400	310	200
kloridi (µg/l)	7	40 500	38 800	14 328
TOC mg/l	3	7,7	7,6	1,5
DOC mg/l	3	6,6	6,9	2,1

Veden laadun prosentuaalisia muutoksia tarkasteltaessa (taulukko 17) voidaan havaita, että hulevesiallas vähentää kaikkia esiteltyjä parametreja, esimerkiksi veden kokonaisfosforipitoisuutta (-19 %) ja fosfaattifosforia (-50 %). Fosfaattifosforin suurempi vähenemä voi selittyä sillä, että altaassa olevat levät tai kasvit käyttävät sen samalla poistaen sen vedestä. Myös raudalla on fosforia saostava vaikutus. Kokonaisfosforin pitoisuudet ovat kuitenkin jo tulevassa vedessä vain 26 µg/l, joten jo lähtöarvot ovat hyvin matalia. Kokonaistypen osalta vähenemä on kymmenen prosenttia, mikä aiheutuu todennäköisesti altaaseen sedimentoituvista ja suotautuvista partikkeleista, joihin tyyppi on sitoutunut. Sama pätee myös rautaan (-31 %) ja alumiiniin (-39 %) sekä tietenkin kiintoainekseen (-21 %). Kiintoaineksen muutos nähdään myös sameuden vähenemänä (-21 %). Kloridissa havaittiin vain neljän prosentin vähenemä, kun taas sähkönjohtavuuden vähenemä oli 23 prosenttia. Muutos sähkönjohtavuudessa johtuu mahdollisesti kiintoaineksessa mukana olevien aineiden, kuten sulfaattien, jäämisestä altaaseen.

Taulukko 17. Huleveden laadulliset muutokset altaassa prosentteina.

Parametri	Allas tulo	Muutos tulo-poisto
kokonaistyyppi (µg/l)	1 113	-10 %
NO ₃ - ja NO ₂ -summa (µg/l)	751	-7 %
kokonaisfosfori (µg/l)	26	-19 %
fosfaattifosfori (µg/l)	18	-50 %
rauta (µg/l)	6 028	-31 %
alumiini (µg/l)	319	-39 %
sameus kenttämittaus (FNU)	15	-27 %
kiintoaine (µg/l)	7 509	-21 %
sähkönjohtokyky kenttämittaus (µS/cm)	400	-23 %
kloridi (mg/l)	40,5	-4 %
TOC mg/l	7,7	-1 %
DOC mg/l	6,6	5 %

Hula-hankkeen aikana altaasta saatiin kerättyä paljon tietoa ja saatujen tulosten avulla altaan voidaan sanoa parantavan vedenlaatua. Kun veden laadun monitoroinnin tulokset yhdistetään jatkuvatoimisesti mitattuun virtaamatietoon, saadaan hyvä kuva altaan valuma-alueella muodostuvien hulevesien laadusta. Kerättyä tietoa voidaan myöhemmin hyödyntää esimerkiksi mallinnuksessa. Tarkastelemalla myös Hula-hankkeen aikana havainnoitua Pitkäjärven suodatinjärjestelmälle tulevan veden laatua, saadaan kuva siitä, mitä vedelle tapahtuu sen poistuessa hulevesialtaalta. Vaikka Karikon hulevesiallas ei ole rakenteellisesti monimutkainen, saadaan sillä aikaiseksi merkittävää huleveden laadun parannusta.

LÄHTEET

Airola, J., Nurmi, P. & Pellikka, K. 2014. Huleveden laatu Helsingissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu 12/2014.

Autio, I. 2014. Vantaanjoen vesistöalueen liennut orgaaninen aines – lähteet, määrä ja laatu sekä käyttökelpoisuus Itämeren bakteerien energialähteenä. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos.

EPA 2022. National Recommended Water Quality Criteria – Aquatic Life Criteria Table. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table>.

Hulevesiopas 2012. Suomen kuntaliitto.

Luukkonen, T. 2017. Kaivosvesien muuttamien vesistöjen kunnostaminen – uudet kokeelliset menetelmät. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Kirjallisuuskatsaus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.syke.fi/download/noname/%7B43501B10-1461-4D77-B9D7-9E3B8C3E51C9%7D/149343> [viitattu 8.11.2022].

Nurmi, P. 2001. Sadevesiviemäreiden vedenlaatu. <https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/moniste-08-01.pdf>.

Oravainen, R. 1999. Vesistötulosten tulkinta – opasvihkonen. KVVY:n julkaisu. <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf>.

Riktvärdesgruppen. 2009. Förslag till riksvärden för dagvattenutsläpp. Regionala dagvattennätverket i Stockholms län.

Syke. n.a. Liite 5. Vedenlaatuluokituksen raja-arvot ja lähteet. https://www.ymparisto.fi/download/Liite_5__Vedenlaatu_selitys_rajaarvotpdf/%7BD4E2E6F9-E9B2-487A-A23D-06C7CE1E8325%7D/107983.

Vahtera, H. & Lahti, K. 2016. Hulevesien haitta-aineet – Kuormitusriski Vantaanjoen vesistöille? VHVSY Raportti 25/2016. Saatavissa: https://www.vhvsy.fi/files/upload_pdf/6620/Raportti%2025-2016%20Hulevesien%20haitta-aineet-Kuormitusriski%20Vantaanjoen%20vesist%C3%B6lle.pdf.

Valtanen, M., Sillanpää, N., Hättinen, N. & Setälä, H. 2010. Hulevesien imeyttäminen ja suodattaminen: haitta-aineet ja menetelmät. STORMWATER-hankkeen kirjallisuusselvitys 10.10.2010.

Valvira. 2020. Talousvesiasetuksen soveltamisohje – Osa III. Enimmäisarvojen perusteet. 6.10.2020.

Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 2016. Raportti 25/2016. Hulevesien haitta-aineet – Kuormitusriski Vantaanjoen vesistölle?

VNa 1040/2006. Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä.

VNa 341/2009. Valtioneuvoston asetusvesienhoidon järjestämisestä annetun asetuksen muuttamisesta

YSI. 2020. EXO User Manual – Advanced water quality monitoring platform, ITEM#-603789REF, REVISION K. [viitattu 12.10.2022].

KARIKON HULEVESIALLAS – MIKROMUOVIT VEDESTÄ JA SEDIMENTISTÄ

Tuija Ranta-Korhonen & Aki Mykkänen

Mikromuovit ovat Euroopan kemikaaliviraston määritelmän mukaan alle 5 mm:n kokoisia polymeerihiukkasia tai alle 15 mm:n mittaisia polymeerikuituja (ECHA n.a.). Mikromuovit päätyvät hulevesiin esimerkiksi tieliikenteestä (renkaiden kuluminen ja tiemerkinnyt), tekonurmikentiltä sekä erilaisista infra- ja viherrakentamisessa käytetyistä suodatin- ja katekankaista (Setälä ym. 2020, 6). Lisäksi mikromuoveja syntyy niin sanotuista sekundaarisista lähteistä eli muoviroskista, jotka mekaanisen kulumisen ja ympäristöolosuhteiden aiheuttaman haurastumisen seurauksena jauhautuvat ja rikkoutuvat pienemmiksi paloiksi. Myös rakentaminen ja siinä käytettävät erilaiset muovimateriaalit ovat paljastuneet mikromuovien lähteeksi (Setälä ym. 2020, 95).

Mikromuovinäytteenottoa ja näytteiden analysointia ei ole toistaiseksi standardoitu. Tämä johtaa siihen, ettei näytteenotosta ole saatavilla ohjeistusta. Myös hyvät käytänteet ovat vasta muotoutumassa. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Hula-hankkeessa saaman kokemuksen mukaan muovimateriaalien kokonaan välttäminen näytteenotossa ja näytteiden käsittelyssä on hankalaa. Toisaalta, kun näytteenoton suoritustapa ja näytteiden esikäsittely ovat tiedossa, voidaan mahdolliset virhelähteet listata ja ottaa huomioon lopullisissa tulosten analysoinnissa. Hula-hankkeen näytteenottoa ja näytteiden esikäsittelyä suunniteltiin yhdessä mikromuovianalyysien toimittajaksi valitun ALS Finland Oy:n laboratorion kanssa.

ALS FINLAND OY:N KÄYTTÄMÄT ANALYSOINTIMENETELMÄT

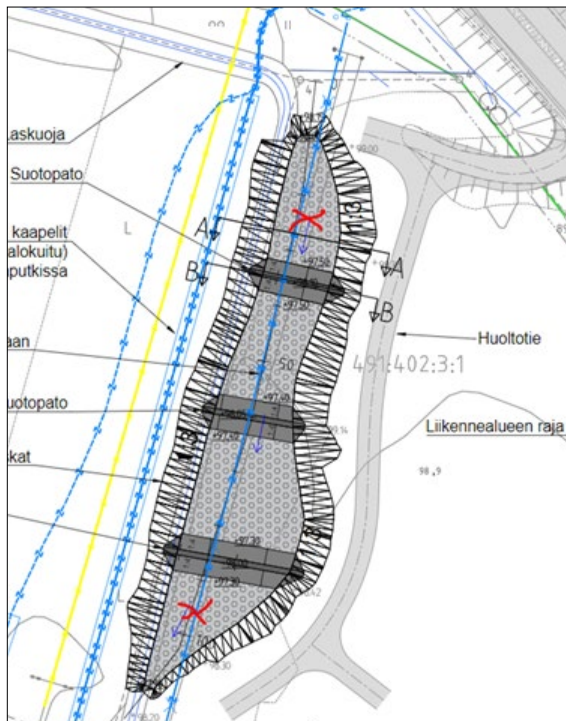
Mikromuovien analysointi vesinäytteestä ALS Finland Oy:n laboratoriossa aloitetaan lisäämällä näytteeseen vetyperoksidia, minkä jälkeen sen annetaan sekoittua yhden vuorokauden ajan. Tämän jälkeen mineraalihiukkaset poistetaan näytteestä raskasneste-erottelulla suolaliuoksessa ja liuos suodatetaan 500 µm:n metalliverkkosuodattimen läpi. Analyysimenetelmä vaatii huomattavan suuren työpanoksen, ja muun muassa tässä vaiheessa suodatinta läpäisemätön materiaali käydään silmämääräisesti läpi ja siitä kerätään mahdollisesti havaitut mikromuovipartikkelit myöhempiä analyysia varten. Seuraavana näytteiden käsittelyssä on vuorossa Fentonin reagenssin lisäys. Vuorokauden kuluttua lisäyksestä näyte suodatetaan 40 µm:n metalliverkkosuodattimen läpi. Tämän jälkeen suodatin analysoidaan µFTIR-tekni-

kalla ja mikromuovipartikkelit (halkaisija 40 µm – 5 mm) lasketaan ja yksilöidään mustia partikkeleja lukuun ottamatta. Viimeiseksi lasketaan ja yksilöidään myös mustat hiukkaset (halkaisija 80 µm – 5 mm). (ALS 2021.) Hula-hankkeen vesinäytteet analysoitiin ylempänä kuvatun analysointimenetelmän mukaisesti.

Sedimenttinäytteiden analyysi oli hankalaa ja aikaa vievää. Ongelmia aiheutti muun muassa se, että laboratorioon toimitettujen tulo- ja poistupuolen näytteiden tilavuus erosi toisistaan. Lisäksi näyte oli koostumukseltaan hyvin heterogeenistä (mukana muun muassa pohjaeliöitä). Nämä tekijät vaikeuttivat näytteiden analysointia. Ratkaisuna laboratorio oli päättynyt ottamaan näytteistä tilavuudeltaan yhden litran osanäytteet ja suodattamaan (< 40 µm) kyseisen osanäytteen. Jäljelle jäävä maanäyte esikäsiteltiin maanäytteen tapaan (kuivaus, tiheyserotus ja fentonin reagenssilla käsittely). Käsittelyn jälkeen osanäytteet analysoitiin µFTIR-menetelmällä. Partikkelien laskeminen tapahtui samalla tavalla kuin vesinäytteiden kohdalla. (Tanskanen, 2022; ALS 2021.)

MIKROMUOVIT VEDESTÄ

Vesinäytteitä otettiin Karikon hulevesialtaasta tulopuolen ensimmäisestä osa-altaasta sekä poistupuolen viimeisestä osa-altaasta. Näytteenottimen letku kiinnitettiin jatkuvatoimisen vesistönlaatusondin kiinnitysvaijeriin ja sen näytteenottokorkeus säädettiin erillisen kellukkeen avulla. Näytteet otettiin noin 10 cm:n syvyydestä. Kuvassa 1 on esitetty näytteenottopisteet punaisilla merkeillä.



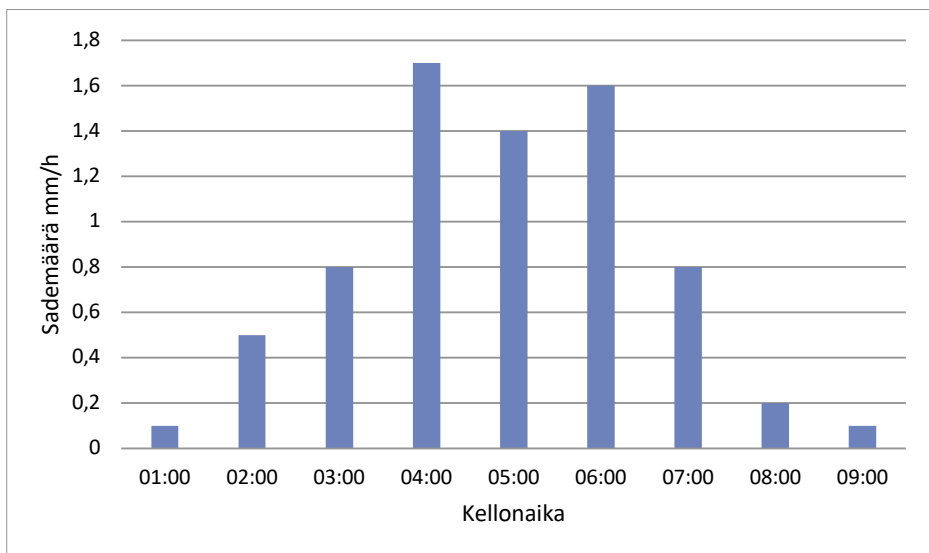
Kuva 1. Karikon hulevesiallassa ja mikromuovinäytteenottojen pisteet (kuva: Sitowise Oy/ Mikkelin kaupunki).

Näytteet otettiin tiistaina 4.10.2022 hulevesitapahtuman aikaan. Hankkeella oli käytössään kaksi automaattisia Hach AS950 -näytteenotinta (kuva 2). Näytteenottimen avulla on mahdollista ottaa näytteitä erikokoisiin astioihin. Tehdyssä mikromuovinäytteenotossa käytettiin 24 kpl tilavuudeltaan yhden litran vetoista PE-pulloa. Koska näytteenoton avulla haluttiin saada kiinni niin sanottu ensihuuhtouma ja sääennusteiden mukaan sateen oli määrä alkaa noin klo 5, ohjelmoitiin näytteenottimet aloittamaan näytteenotto tuolloin ja ottamaan näytteitä kymmenen minuutin välein. Näytetilavuudeksi määritettiin 900 ml/pullo.



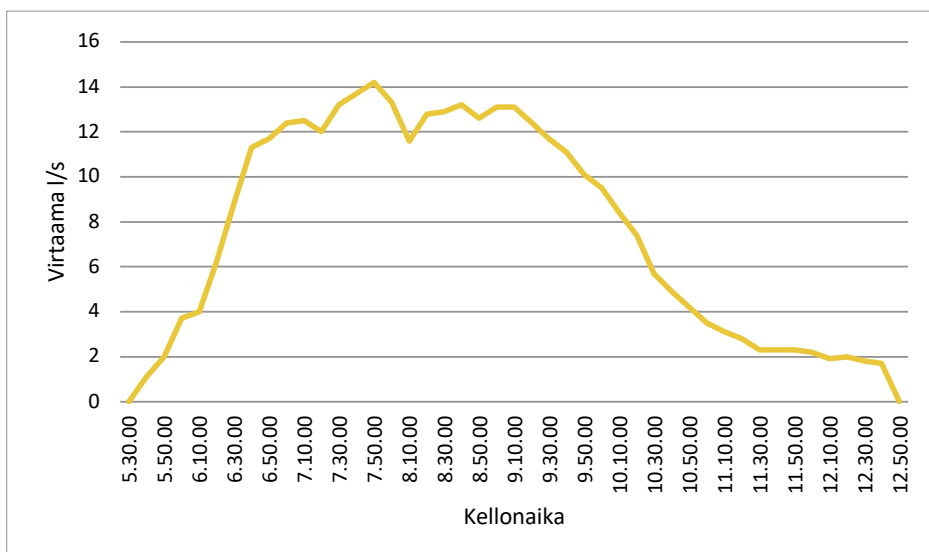
Kuva 2. Hach AS950 -näytteenotin Karikon hulevesialtaan reunamilla (kuva: Tuija Ranta-Korhonen).

Kuvassa 3 on nähtävillä Ilmatieteenlaitoksen Mikkelin lentokentällä sijaitsevan sääaseman sademäärän mittaustulokset näytteenottoajankohtana. Sääasema sijaitsee linnuntietä noin parin kilometrin etäisyydellä Karikon hulevesialtaasta. Tavoitteena oli, että näytteenotto tapahtuisi juuri hulevesitapahtuman aikaan, jolloin todennäköisyys mikromuovien havaitsemiseen olisi mahdollisimman suuri.



Kuva 3. Sademäärä (mm/h) Ilmatieteenlaitoksen Mikkelin lentokentällä sijaitsevan sääaseman mittauspisteessä.

Kuvassa 4 on esitetty Karikon hulevesialtaan tuleva virtaama näytteenottoajankohtana. Kuvaajasta voidaan nähdä, että virtaama oli suurimmillaan klo 6.30 ja 9.30 välisenä aikana. Kuvaajien perusteella sateen alkamisen ja virtaaman kasvun välillä vaikuttaisi olevan noin 2,5 tunnin mittainen viive.



Kuva 4. Karikon hulevesialtaan tulovirtaama l/s 4.10.2022 klo 5.30–12.50.

Automaattisilla näytteenottimilla oli tarkoitus ottaa 900 ml näytettä 24 pulloon. Valitettavasti hulevesialtaan poistopuolella olevan näytteenottimen akun toiminnassa oli ongelmia ja poistopuolelta saatiin ainoastaan 19 kpl näytteitä. Automaattisilla näytteenottimilla tehtyä näytteenottoa täydennettiin lisäksi ottamalla molemmista näytepisteistä näytteitä viiteen kymmenen litran vetoiseen PE-muovista valmistettuun kanisteriin noin kello 8–9 välisenä aikana. Näytteet otettiin automaattisen näytteenoton pisteiden välittömästä läheisyydestä yhden litran osanäytteinä, jotka yhdistettiin kanistereihin. Tavoitteena oli saada mahdollisimman suuri vesitilavuus suodatettua, jotta todennäköisyys muovien havaitsemiselle kasvaisi.

Vesinäytteet esikäsiteltiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa ennen lähettämistä ALS Finland Oy:n laboratorioon. Esikäsitelyä varten oli hankittu metallisia 30 µm:n Spectra SS D90mm metalliverkkosuodattimia sekä silmäkooltaan erilaisia metallisuodattimia, jotka oli leikattu läpimitaltaan 90 mm:n kiekokoiksi. Näytteitä suodatettiin kahden alipainepumpun avulla litra kerrallaan ensin 75 µm:n suodattimen läpi ja tämän jälkeen 30 µm:n suodattimella. Altaaseen tulevan virtaaman kasvun aikana otetuissa näytteissä havaittiin selvästi enemmän kiintoainetta, ja tiheämpi suodatin tukkeutui ajoittain. Suodatin huuhdeltiin välillä puhtaalla vedellä ja huuhteluvesi kerättiin näytteen lähettämistä varten hankittuun lasiastiaan. Hulevesialtaan tulopuolen näytettä suodatettiin kokonaisuudessaan 30,6 litraa. Lopuksi suodatuksessa käytetty 30 µm:n suodatin huuhdeltiin lasiastiaan ja myös itse suodatin laitettiin astiaan. Astian kannen ja itse astian väliin laitettiin alumiinifoliota ja astia suljettiin tiiviisti.

Hulevesialtaan poistopuolen näyte käsiteltiin samalla tavalla. Koska poistopuolen vedessä on selvästi vähemmän kiintoainetta, saatiin vettä suodatettua kokonaisuudessaan 50,7 litraa. Näytettä haluttiin suodattaa suurempi määrä, sillä tällöin on suurempi mahdollisuus sille, että näytteestä löytyy mikromuoveja. Suodatuksen jälkeen molemmat näytteet lähetettiin laboratorioon määrittäjänsä varten. Lopullinen saatu mikromuovimäärä suhteutettiin suodatettuun vesimäärään, jolloin saatiin suuntaa antava kuva veden mikromuovimääristä litrassa vettä.

MIKROMUOVIT SEDIMENTISTÄ

Mikromuoveja tutkittiin myös hulevesialtaan pohjaan kertyvästä sedimentistä. Näytteenottoa varten Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan laboratoriossa rakennettiin sedimenttikeräimet tavallisista betonista valmistetuista pihalaatoista sekä läpinäkyvistä akryyliputkista ja levyistä (kuva 5). Putkien kiinnitystä varten betonilaataan kiinnitettiin injektiomassalla ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kierretangon pätkiä, joihin itse putket kiinnitettiin RST-muttereilla. Kiinnitystapa mahdollisti keräinputkien irrottamisen betonialustasta, jolloin kerätty näyte voitiin helposti siirtää toiseen astiaan esikäsitelyä varten.



Kuva 5. Hula-hankkeen käyttöön rakennetut sedimenttikeräimet (kuva: Tuija Ranta-Korhonen).

Sedimenttikeräimet sijoitettiin Karikon hulevesialtaan jokaiseen neljään osa-altaaseen. Tulo- ja poistupuolen keräimiin kerääntyneestä sedimentistä analysoitiin mikromuovit ALS Finland Oy:n laboratoriossa. Ennen ALS Finland Oy:n laboratorioon lähettämistä näytteet esikäsiteltiin ympäristölaboratoriossa. Mikromuovinäytteet siirrettiin lasista valmistettuihin dekanterilaseihin (tilavuus 5 l) ja niiden annettiin laskeutua kahden vuorokauden ajan. Dekanterilaseihin siirretyt näytteet on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Dekanterilaseihin siirretyt sedimenttinäytteet (kuva: Tuija Ranta-Korhonen).

Kun sedimentti oli laskeutunut dekantterilasın pohjalle, poistettiin näytteestä ylimääräinen vesi lappoamalla. Tämän jälkeen pois valutettu vesi suodatettiin 30 µm:n metalliverkko-suodattimella. Suodatin huuhdeltiin näytteen lähettämistä varten varattuun kolmen litran lasiastiaan, johon myös itse sedimenttinäyte siirrettiin. Purkin ja kannen väliin laitettiin folio ja kansi suljettiin tiiviisti. Molemmat sedimenttinäytteet käsiteltiin samalla tavalla.

TULOKSET

Mikromuovianalytiikka on hankalaa, monivaiheista ja aikaa vievää. ALS Finland Oy ilmoittaa mikromuovianalyysien toimitusajaksi vesinäytteille 22 työpäivää. Taulukossa 1 on esitetty laboratoriossa vesinäytteistä löydettyjen mikromuovipartikkelien määrät (kpl/l) ja muovilaadut sekä suodatettuun vesimäärään suhteutettu kappalemäärä. ALS Finland Oy:n laboratorio ei eritellyt partikkelin kokojakaumaa. On huomioitava, ettei ympäristöön päässeen mikromuovipartikkelin muovilaadun perusteella ole mahdollista päätellä sen alkuperää. Alkuperästä voidaan esittää ainoastaan arvauja.

Taulukko 1. Karikon hulevesialtaan tulo- ja poistupuolelta otetuista vesinäytteistä määritetyt muovimäärät (koko 40 µm–5 mm) ja niiden laatu sekä suodatettuun litramäärään suhteutettu kappalemäärä.

Muovilaatu	Karikko, tuleva (kpl)	Karikko lähtevä (kpl)	Karikko, tuleva, suodatettu 30,6 l (kpl/litra)	Karikko lähtevä, suodatettu 50,7 l (kpl/litra)
Polypropeeni (PP)	60	24	2,0	0,5
Polystyreeni (PS)	12	<4	0,4	
Polyeteeni (PE)	80	8	2,6	0,2
EVA	-	4	-	0,1
Polykarbonaatti (PC)	-	4	-	0,1
PET-muovi	40	32	1,3	0,6
EPDM	4	4	0,1	0,1
PVC	4	<4	0,1	
Kokonaismäärä	200	76	6,5	1,5
Muutos			-77 %	

Tarkasteltaessa yllä olevaa taulukkoa havaitaan, että Karikon hulevesialtaasta havaitut yleisimmät mikromuovit ovat polypropeeni ja polyeteeni. Altaan tulopuolelta otetusta näytteestä löytyi myös PET-muovia, jota käytetään muun muassa juomapulloissa sekä niin sanotun turvalasin valmistuksessa (Polymerdatabase 2022). Lisäksi näytteestä löytyi polystyreeniä, PVC-muovia sekä EPDM-muovia, jota käytetään muun muassa auton ovien tiivisteissä ja pyyhinsulissa (Polymerdatabase 2022). Polystyreeniä käytetään muun muassa kylmä-

laukkuihin ja kertakäyttökuppeihin, polypropeenia köysiin, pullonkorkkeihin sekä auton osiin, ja polyeteeniä muovipussien ja säilytysastioiden valmistukseen. (GESAMP 2019, 6.)

Kun tarkastellaan altaan poistopuolelta otetusta vesinäytteestä havaittuja mikromuovin määriä, nähdään niiden vähentyneen lähes kaikkien muovilaatujen osalta verrattuna tulopuolen määriin. Poistopuolen näytteestä havaittiin määrityksissä myös polykarbonaattia ja etyylinivinyliasetaattia (EVA). Näitä muovilaatuja ei havaittu tulopuolen näytteistä. Etyylivinyliasetaattia käytetään muun muassa pakkausten, muovijalkineiden tai esimerkiksi urheiluvälineiden valmistuksessa, polykarbonaatti puolestaan on kirkasta, kovaa pleksilasia (Polymerdatabase 2022). Näytteenottoon käytetyt pullot ja kanisterit oli valmistettu polyeteenistä (PE). Polyeteeniä havaitaan selkeästi suurempi määrä altaan tulopuolella (2,6 kpl/l) kuin poistopuolella (0,2 kpl/l). Tämä viittaisi siihen, että muovisista näyteastioista ei ole siirtynyt mikromuoveja näytteeseen. Koska nollanäytteitä ei kuitenkaan otettu, ei tästä voida olla täysin varmoja. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava myös se, että kyseessä on ainoastaan yksi näytteenottokerta.

Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2022 tekemän laajan Muovien haitalliset ympäristö- ja terveysvaikutukset -raportin mukaan juuri hulevesien mikromuovitutkimuksissa on havaittu suuri tietopuute. Hulevesien, etenkin Suomen hulevesien, mikromuovipitoisuuksia ei ole vuoden 2022 marraskuuhun mennessä kattavasti tutkittu, mutta joitakin yksittäisiä hulevesitutkimuksia on olemassa. Yleisimpiä hulevesistä löydettyjä muovilaatuja ovat tehtyjen tutkimusten mukaan polyeteeni (PE) ja polypropeeni (PP). Lisäksi tutkimuksissa on löytynyt muun muassa polystyreeniä (PS) ja PVC:tä. (Jääskö 2021, 10.) Kyseisten muovien tiheys PVC:tä lukuun ottamatta on pienempi kuin vedellä, eli ne kelluvat. (Setälä & Suikkanen 2020, 68.)

Lundin yliopiston Ruotsissa tekemässä moottoritien hulevesistä tehdyssä tutkimuksessa yleisimmät muovilaadut olivat PP, EVA (etyleenivinyliasetaatti), polyuretaani (PUR) sekä EPDM-muovi (Lange & al. 2022). Helsingin alueen hulevesistä tehdyssä diplomityössä hulevesien mikromuovien vaihteluväliksi havaittiin 8–66 kpl/l keskiarvon ollessa 29 kpl/l (Pankkonen 2020).

Sedimenttien analysointi oli odotettua hankalampaa ja tuloksien valmistumisessa kesti noin kuukausi odotettua pidempään. Laboratorio oli päätyntä homogeenisoimaan näytteet, jonka jälkeen niistä otettiin litran osanäytteet analyysia varten. Taulukossa 2 on esitettyä ALS Finland Oy:n ilmoittamat mikromuovimäärät sedimenttinäytteille.

Taulukko 2. Karikon hulevesialtaan sedimenttikeräimiin kertyneet mikromuovimäärät. Ilmoitettu arvo partikkelia litrassa sedimenttiä.

Muovilaatu	Karikko tulo (partikkelia/l sedimenttiä)	Karikko poisto (partikkelia/l sedimenttiä)
Polypropeeni (PP)	413	59
Polystyreeni (PS)	11	<3
Polyeteeni (PE)	21	5
Etyyli-vinyyli-asettaatti (EVA)	3	<3
Polyamidi (PA)	5	<3
Polykarbonaatti (PC)	<3	<3
Polyetyleenitereftalaatti (PET)	3	3
Polymetyylimetakrylaatti (PMMA)	<3	3
Polyasetali (POM)	<3	<3
Polyuretaani (PUR)	<3	<3
Eteenipropeeni-dieeni-kumi (EPDM)	<3	4
Styreenibutadieenikumi (SBR)	48	<3
Polyvinylikloridi (PVC)	<3	3
Teflon (PTFE)	<3	<3
Yhteensä	504	77

Yllä olevassa taulukossa esitetyistä tuloksista voidaan nähdä tulopuolen sedimenttinäytteen sisältävän selvästi enemmän mikromuoveja kuin poistopuolen näytteen. Myös styreenibutadieenikumia (SBR) havaitaan pelkästään tulopuolelta. Styreenibutadieenikumia (SBR) käytetään autonrenkaiden kulutuspinnoissa. Kulutuspinna koostuu seoksesta, jossa on muun muassa SBR-kumia, luonnonkumia, polybutadieenia (PBD) sekä hiilimustaa/piitä, öljyä ja erilaisia vulkanisointikemikaaleja. Tällaisten partikkelien tiheys on luultavasti niin suuri, että ne eivät kellu. (Setälä & Suikkanen 2020, 68.) Ne voivatkin päätyä hulevesisedimentteihin, kuten Karikon altaan tapauksessakin on selvästi tapahtunut. Altaan lähellä oleva liikenneympyrä sekä valtatie ovat loogisia lähteitä rengaskumille.

YHTEENVETO

Karikon hulevesialtaan vesi- ja sedimenttinäytteistä havaittiin laboratorioanalyseissä mikromuoveja. Sekä vesi- että sedimenttinäytteiden osalta altaan tulopuolelta otetuissa näytteissä oli enemmän mikromuovipartikkeleita. Altaasta otettujen vesinäytteiden perusteella huleveden sisältämien muovipartikkelien määrä laski noin 77 % ja kerättyjen sedimenttinäytteiden analyysitulosten mukaan muovien määrä väheni noin 85 %. Tulosten perusteella voidaan päätellä altaan pohjalle kertyvän mikromuoveja. Koska mikromuovit ovat pysyviä, kasvavat niiden määrät altaassa hulevesitapahtumien vaikutuksesta ajan myötä. Tämä pitää huomioida esimerkiksi siinä vaiheessa, kun altaasta tyhjennetään sinne kertynyttä lietettä (kiintoainetta). Lisäksi mikromuovit on otettava huomioon poistetun lietteen jatkokäsittelyä pohdittaessa.

LÄHTEET

ALS. 2021. Mikromuovit: Käytetyt menetelmät ja analyysipaketit. <https://www.alsglobal.fi/media-fi/pdf/mikroplastics-packages-fi.pdf>.

ECHA. n.a. Microplastics. <https://echa.europa.eu/hot-topics/microplastics>.

GESAMP. 2019. Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean. (Kershaw P.J., Turra A., Galgani F., toim.) <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>.

Jääskö, E. 2021. Hulevesien mikromuovit sisävesissä – Vaikutukset ja ehkäisykeinot. Kandidaatintyö, Tampereen yliopisto 9/2021.

Lange, K., Österlund, H., Viklander, M. & Blecken, G.-T. 2022. Occurrence and concentration of 20–100 µm sized microplastic in highway runoff and its removal in a gross pollutant trap – Bioretention and sand filter stormwater treatment train. Science of The Total Environment. Volume 809, 25.2.2022, 151151. ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151151>.

Pankkonen, P. 2020. Urban stormwater microplastics – Characteristics and removal using a developed filtration system. Diplomityö. Aalto-yliopisto. URL: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/44294>. [viitattu 21.5.2021].

Polymerdatabase 2022. <https://polymerdatabase.com/Elastomers/EPDM.html>.

Setälä, O. & Suikkanen, S. (toim.) 2020. Suomen merialueen roskaantumisen lähteet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9/ 2020.

Suomen ympäristökeskus. 2022. Muovien haitalliset ympäristö- ja terveysvaikutukset. Fjäder, P., Korkalainen, M., Kauppi, S., Lehtiniemi, Maiju., Salminen, J., Selonen, S., Setälä, O., Sillanpää, M., Sorvari, J., Suikkanen, S., Talvitie, J., Turunen, T., Virkkunen, H. & Ala-Ketola, U. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 17/ 2022.

Tanskanen, V. 2022. Sähköpostitiedonanto 9.11.2022.

PITKÄJÄRVEN TUTKIMUS- YMPÄRISTÖ – KOHDEKUVAUS JA MONITOROINTIKEINOT

Tuija Ranta-Korhonen & Aki Mykkänen

Hula-hankkeen aikana vuosina 2021 ja 2022 mittauksia ja näytteenottoa tehtiin yhteensä kolmesta erityyppisestä hulevesien käsittelyyn rakennetusta kohteesta. Yksi monitoroinnin kohteena oleva rakenne oli Pitkäjärven tutkimusympäristö. Kohteessa tehtyjen mittausten ja näytteenoton tulokset on esitelty tämän julkaisun artikkelissa ”Pitkäjärven tutkimusympäristö – monitoroinnin tulokset”.

PITKÄJÄRVEN HULEVESIJÄRJESTELMÄ

Mikkelin Karilan kaupunginosassa sijaitseva Pitkäjärven hulevesijärjestelmä on vuonna 2019 Mikkelin kaupungin rakennuttama, pääasiallisesti tutkimusympäristöksi tarkoitettu hulevesikohde. Kohde mahdollistaa erilaisten suodatinmateriaalien testaamisen ja tutkimustoiminnan aidoilla hulevesillä. Kohteen on suunnitellut Ramboll Finland Oy ja toteuttanut Maanrakennus Talpa Oy. Järjestelmä käyttöön otettiin virallisesti 29.5.2019 Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n yhteisessä Hulevesien Käsittelyn T&K-ympäristö – Huky-hankkeessa (Mykkänen 2021).

Pitkäjärven tutkimusjärjestelmään virtaavat hulevedet ovat peräisin Karilan valuma-alueelta, jonka läpi kulkee Valtatie 5. Alueella on myös pienteollisuutta sekä omakotitaloasutusta. Erityisesti teollisuusalueilla on paljon päällystettyjä piha- ja pysäköintialueita, joilta voi hulevesien mukana kulkeutua ympäristöön haitallisia aineita, kuten PAH-yhdisteitä ja öljyä. Yhtenä Hula-hankkeen kohteena on Karikon hulevesiallas, josta vesi virtaa edelleen avo-ojaa pitkin kohti Pitkäjärven tutkimusympäristöä. Matkalla Pitkäjärven tulo-ojaan yhtyy Kirjalan alueelta tuleva oja sekä erinäisiä Karilan peltojen (entinen Luken tutkimusasema) oja. Tutkimusympäristön tarkempi sijainti on esitetty kartassa kuvassa 1.



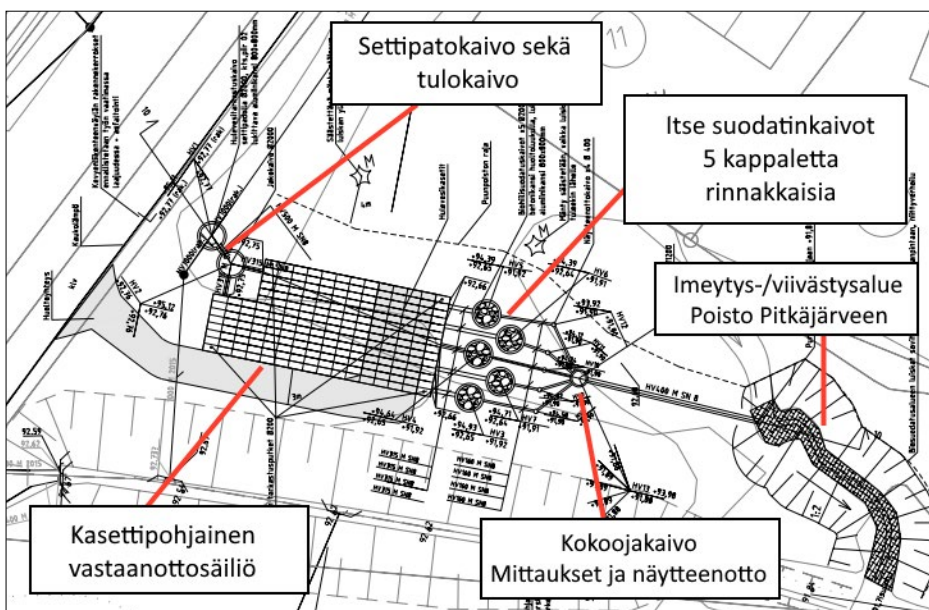
Kuva 1. Pitkäjärven tutkimusjärjestelmän ja Karikon altaan sijainti. Tutkimusympäristö on merkitty ilmakehuun punaisella x-kirjaimella ja Karikon allas vastaavasti sinisellä (kuva: Karttapaikka.fi, muokkaus: Tuija Ranta-Korhonen).

Järjestelmään saapuvat vedet johdetaan avo-ojassa ensin kolmen kivimurskeesta tehdyn suotopadon läpi (kuva 2). Suotopadot puhdistavat vettä suodattamalla ja samalla hidastavat veden virtausnopeutta, jolloin siinä oleva kiintoaine pääsee sedimentoitumaan patojen välisiin lietekuoppiin. Patojen jälkeen vesi siirtyy maanalaiseen putkistoon, joka kulkee Ketunniementien ali ja tien vieritse järjestelmää kohti.



Kuva 2. Yksi Pitkäjärven hulevesijärjestelmän yläjuoksulle rakennetuista suotopadoista, joilla veden virtausnopeutta hidastetaan ja vesi pakotetaan suotautumaan murskeen läpi (kuva: Aki Mykkänen).

Itse tutkimusympäristö muodostuu vettä ohjaavasta settipadosta, muovisista hulevesikaseteista rakennetusta vastaanottosäiliöstä, viidestä rinnakkaisesta betonisesta suodatinkaivosta sekä imeytysalueesta, josta vesi virtaa edelleen Pitkäjärveen vievään ojaan. Hulevesijärjestelmän asemapiirros on esitetty kuvassa 3. Settipatokaivon avulla järjestelmään saadaan ohjattua haluttu määrä vettä. Ylivirtaustilanteessa settipadon tason ylittävä vesi menee suoraan Pitkäjärveen johtavalle ojalle. Järjestelmään ohjattu vesi virtaa ensimmäisenä hulevesikaseteista rakennettuun vastaanottosäiliöön, josta vesi ohjataan viiteen suodatinkaivoon. Suodatinkaivoissa on vielä erikseen säätöventtiilit, joiden avulla kaivokohtaisia tulovirtaamia voidaan säädellä tai tarvittaessa sulkea virtaama kokonaan huoltotöiden mahdollistamiseksi. Suodatinkaivoista vesi ohjataan kokoojakaivoon, josta ne kootusti siirtyvät järjestelmän poistoputken kautta padolla eristettyyn imeytysalueeseen ja siitä lopulta Pitkäjärveen vievään ojaan.



Kuva 3. Pitkäjärven hulevesijärjestelmän asemapiirros (kuva: Mikkelin kaupunki 2019, muokkaukset: Aki Mykkänen).

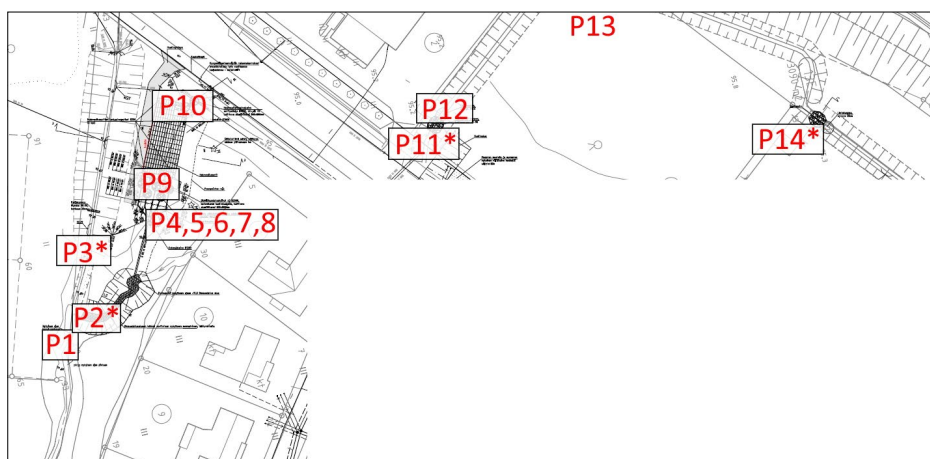
Järjestelmän viisi rinnakkaista suodatinkaivoa mahdollistavat esimerkiksi erilaisten suodatinmateriaalien tutkimisen aidolla hulevedellä. Kaivoihin voidaan sijoittaa noin 1–1,5 kuutiota materiaaleja niin, että ne ovat jatkuvasti veden alla. Esimerkiksi vuosina 2019–2021 toteutetun Huky-hankkeen aikana neljässä kaivossa oli biohiili–sepeli-sekoitusta ja yhdessä kaivossa kontrollina toimivaa puhdasta sepeliä. Kaikkiin kaivoihin voidaan sijoittaa myös samaa materiaalia, jolloin tulosten luotettavuus kasvaa viiden rinnakkaisuuden ansiosta tai samoilta materiaaleille voidaan johtaa erilaisia määriä hulevettä säädettävien tuloventtiilien ansiosta.

HULA-HANKKEEN KENTTÄMITTAUKSET JA NÄYTTEENOTOT

Pitkäjärven tutkimusympäristön näytteenotto- ja mittauspisteiksi valittiin järjestelmän kohtia, joissa tehdyn monitoroinnin avulla vedenlaadun muutoksia saatiin havainnoitua mahdollisimman tehokkaasti. Samalla saatiin hyvä kokonaiskuva järjestelmän toimivuudesta. Pisteitä valittiin neljätoista kappaletta (taulukko 1 ja kuva 4). Mittauksia pisteistä tehtiin monitorointikaudella 2021 kahdeksan viikon ajan elokuusta alkaen ja monitorointikaudella 2022 huhtikuun lopusta alkaen. Vuonna 2022 viimeinen monitorointikäynti kohteella tehtiin 17.10.2022. Pisteet numeroitiin vastakkaisessa järjestyksessä veden virtaussuuntaan nähden. Mittaukset ja näytteenotto suoritettiin aina veden virtaussuuntaa vastaan aloittaen alimmasta pisteestä.

Taulukko 1. Hula-hankkeessa Pitkäjärven hulevesijärjestelmällä käytetyt vedenlaadun tutkimuspisteet. **(N)**-merkillä merkityt pisteet myös näytteenottopisteitä.

Tutkimuspiste	Kuvaus
P1	Hulevesijärjestelmästä tulevan veden sekä ohivirtausojan liittymispiste, alueelta Pitkäjärveen laskevan veden laatu.
P2 (N)	Järjestelmältä mittapadon kautta poistuva vesi. Koko järjestelmän vaikutus vedenlaatuun.
P3 (N)	Ohivirtausojan vedenlaatu.
P4 (N)	HV5-kaivon poisto. Suodatinmateriaalien vaikutus vedenlaatuun.
P5	HV6-kaivon poisto. Suodatinmateriaalien vaikutus vedenlaatuun.
P6	HV4-kaivon poisto. Suodatinmateriaalien vaikutus vedenlaatuun.
P7	HV7-kaivon poisto. Suodatinmateriaalien vaikutus vedenlaatuun.
P8	HV3-kaivon poisto. Suodatinmateriaalien vaikutus vedenlaatuun.
P9	HV4-kaivon tulovesi. Hulevesikaseteilta tulevan veden laatu.
P10	Tulokaivo. Järjestelmään tulevan veden laatu ennen käsittelyä.
P11 (N)	Tuloveden virtaamamittauspato. Vedenlaatu kolmannen suotopadon jälkeen.
P12	Vedenlaatu toisen suotopadon jälkeen.
P13	Vedenlaatu ensimmäisen suotopadon jälkeen.
P14 (N)	Vedenlaatu ennen suotopatoja.

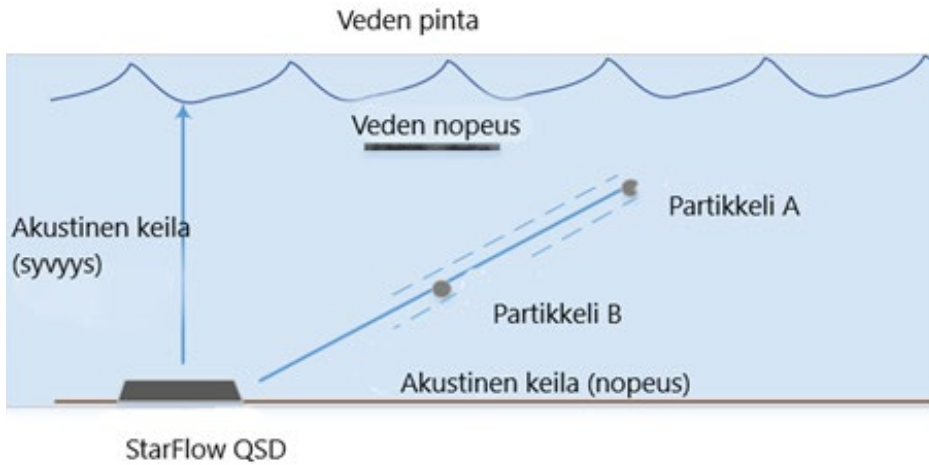


Kuva 4. Hula-hankkeessa Pitkäjärven hulevesijärjestelmässä tutkitut 14 pistettä. *-merkillä varustetut pisteet ovat myös näytteenottopisteitä (kuva: Mikkelin kaupunki, 2019, muokkaukset: Aki Mykkänen).

Tutkimuspisteistä tehdyissä vedenlaatumittauksissa käytettiin YSI ProDSS kenttämittaria, jonka mittaussparametrit olivat lämpötila, sähkönjohtavuus, happamuus (pH-arvo), liuennut happi sekä sameus. Näytteitä otettiin pisteistä P2, P3, P11 ja P14 esimerkiksi kiintoaineen, raskasmetallien sekä ravinteiden osalta.

VIRTAAMAMITTARI

Vuonna 2022 järjestelmän tulokaivoa edeltävälle, Ketunniementien alittavalle putkiosuudelle asennettiin jatkuvatoiminen, akustinen StarFlow QDS -mittausanturi, jonka toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5. Anturi ja siihen liittyvä ylläpito- ja päivystyspalvelu vuokrattiin Luode Consulting Oy:ltä. Anturi ohjelmoitiin mittaamaan virtaamaa 10 minuutin välein. Koska mittauksen kynnyсарvo on virtausnopeudelle 2 cm/s ja anturin yläpuoliselle vedenpinnan korkeudelle 2 cm, ei laitteisto kuivina kausina kykene mittaamaan virtaamaa. Tällä ei tulostarkastelun kannalta ole suurta merkitystä, koska kuivina kausina virtaamat ovat häviävän pieniä.

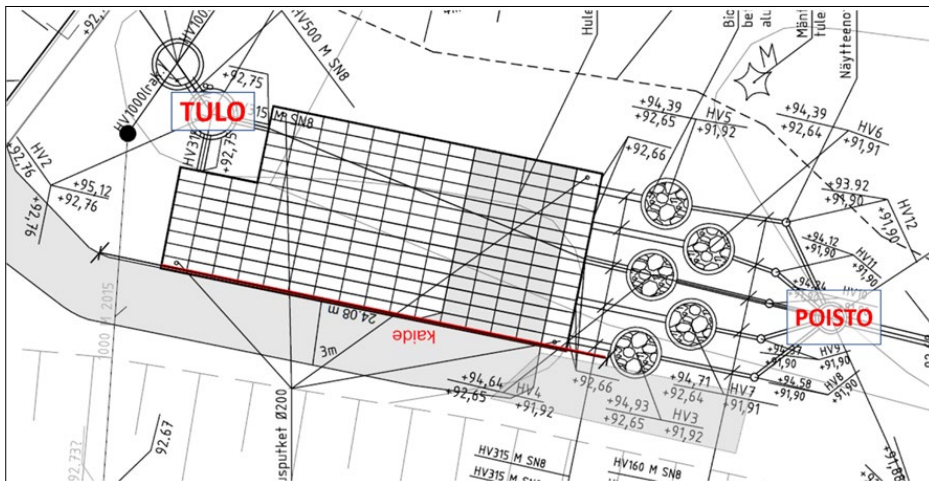


Kuva 5. StarFlow QDS -mittausanturin toimintaperiaate (kuva: mukailten Unidata.com)

Virtaamamittari toimii akkuvirralla. Kun mittausväliksi oli asetettu 10 minuuttia, vaati järjestelmä akunvaihdon noin kolmen viikon välein. Akku, lähetin ja antenni oli sijoitettu hulevesikaivon kaulukseen ripustettuun vedenpitävään pussiin. Virtaamamittari puhdistettiin virtaamista riippuen viikoittain tai parin viikon välein. Puhdistaminen vaati kaivon laskeutumisen.

JATKUVATOIMISET VEDENLAATUMITTARIT

Pitkäjärven kohteessa hyödynnettiin myös vuoden 2021 mittauksissa edeltäneen Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö – Huky-hankkeen aikana hankittuja jatkuvatoimisia YSI EXO 3 -vedenlaatumittareita. Mitatut vedenlaatuparametrit olivat lämpötila, sähkönjohtokyky, happamuus (pH-arvo), sameus sekä fluoresoiva liuenne orgaaninen aines (fDOM). Mittareissa on automaattiset puhdistusharjat, jotka pitivät anturipäätt puhtaina. Jatkuvatoimisten mittareiden mittauspisteinä hyödynnettiin Huky-hankkeen aikaisia pisteitä eli järjestelmän tulokaivoa sekä kaikki suodatinkaivot yhdistävää kokoojakaivoa (kuva 6). Näillä pisteillä mittareilla saatiin näkyville järjestelmässä tapahtuvat muutokset. Mittaukset jatkuvatoimisilla antureilla aloitettiin tutkimusympäristössä 20.8.2022, ja mittarit olivat toiminnassa 16.11.2022 saakka. Mittausväliksi asetettiin yksi tunti. Kyseisellä mittaussvälillä monitorointikaudella saatiin yhteensä tallennettua noin 2 100 mittausta. Laitteet huollettiin ja kalibroitiin ajanjaksolla 24.–30.9.2022, jolloin mittaukset oli keskeytetty. Mittarit siirrettiin keväällä 2022 mittaamaan Karikon hulevesialtaaseen.



Kuva 6. Pitkäjärven suodatinjärjestelmässä käytettyjen jatkuvatoimisten YSI EXO 3 -vedenlaatumittareiden (TULO ja POISTO) sijainnit järjestelmässä (kuva: Mikkelin kaupunki 2019, muokkaukset: Aki Mykkänen).

YHTEENVETO

Kohteeseen tehtiin kenttäkäynti ja suoritettiin virtaama- ja vedenlaadun kenttämittaukset viikoittain. Ensimmäinen kenttäkäynti oli syyskuun lopussa 2021, ja monitorointia jatkettiin marraskuun puoliväliin. Keväällä 2022 monitorointi aloitettiin huhtikuun lopussa, jolloin lumien sulaminen oli vielä kesken. Mittausten ja näytteenoton tulokset on esitelty toisaalla tässä julkaisussa.

LÄHTEET

Mykkänen, A. 2021. Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö. Xamk kehittää 161. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

PITKÄJÄRVEN SUODATINJÄRJESTELMÄ – MONITOROINNIN TULOKSET

Aki Mykkänen & Marleena Tirkkonen & Tuija Ranta-Korhonen
& Anssi Göös

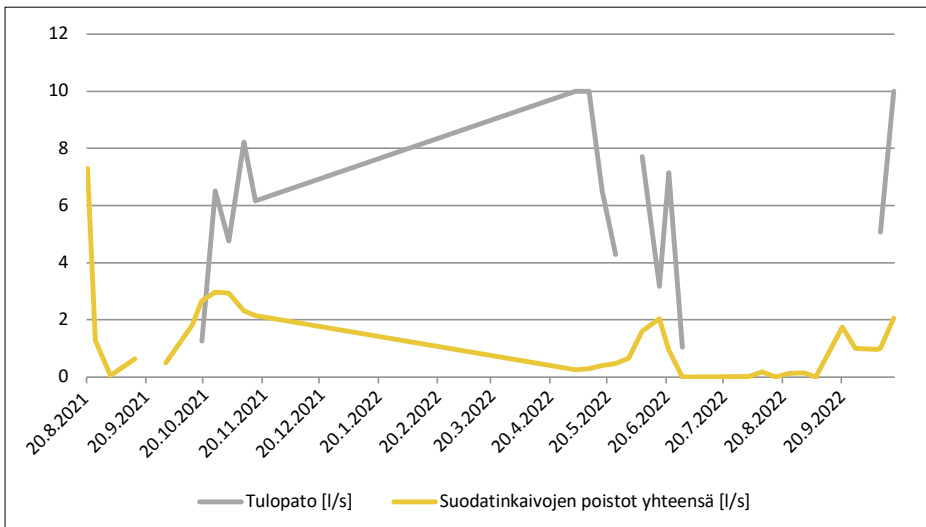
Hula-hankkeen aikana Pitkäjärven suodatinjärjestelmässä tehtiin jatkuvatoimisia vedenlaatumittauksia, kenttämittauksia, virtaamamittauksia ja näyttteenottoja. Tavoitteena oli selvittää, minkälaisia muutoksia järjestelmän vedenlaadussa tapahtuu, kuinka järjestelmässä vuodesta 2019 lähtien olevat suodatinmateriaalit vielä toimivat sekä kuinka suuren kuorman hulevedet aiheuttavat purkautuessaan Mikkelin Pitkäjärveen.

Järjestelmän tarkempi kuvaus sekä lisätietoja Hula-hankkeen aikana tehdyistä mittauksista ja näyttteenotoista on tämän kokoelmajulkaisun artikkelissa Pitkäjärven tutkimusympäristö – kohdekuvaus ja monitorointikeinot.

VIRTAAMAMITTAUKSET PITKÄJÄRVELLÄ

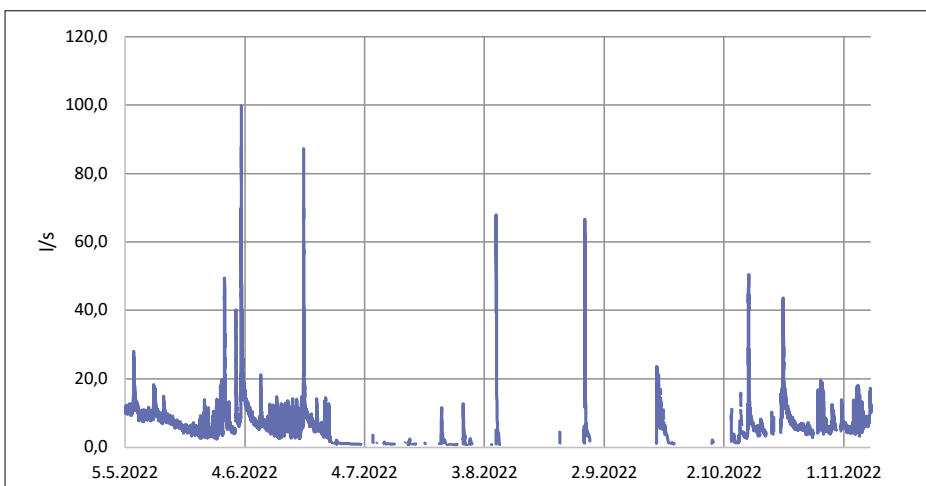
Kohteen virtaamia seurattiin molempina vuosina astiamittauksin avouomiin asennettujen virtaamapatojen avulla. Astiamittauksia tehtiin myös kokoojakaivon kaivokohtaisista poistoputkista. Virtaamapadot oli sijoitettu järjestelmän tulolle, poistolle sekä ylivirtausojalle. Astiamittaus toteutetaan mittaamalla aika, joka tiedetyn tilavuuden kokaisen astian täyttymiseen menee. Sijainnit käsin tehtäville virtaamamittauksille olivat samat kuin aiemmin toteutetun Huky-hankkeen aikaisissa virtaamamittauksissa.

Virtaamapadoista tehtyjä astiamittauksia päästiin tekemään hyvin vaihtelevasti syksyllä 2021. Osa padoista oli vaurioituneita ja niitä piti huoltaa, jotta astiamittaus olisi mahdollista. Esimerkiksi tulopadolle ensimmäinen mittaus on syyskuulta, jonka jälkeen pato sortui. Uusi pato saatiin rakennettua lokakuun puolivälissä, jolloin virtaamia taas mitattiin viikoittain. Virtaamia ehdittiin kuitenkin mitata vain viitenä kertana ennen mittauskauden lopettamista. Vuonna 2022 kenttätöyöt alkoivat heti toukokuun alusta ja jatkuivat lokakuun puoliväliin saakka, mutta virtaamamittauksia tehtiin astiamittauksin pelkästään tulopadolta sekä kaivojen poistoista. Sadehetkien myötä muodostuvien suurien virtaamamäärien vuoksi astiamittaus padoilta on erityisen vaikeaa. Virtaamamäärät voivat myös vaihdella tuntitasolla merkittävästi, minkä vuoksi astiamittaukset Pitkäjärven suodatinjärjestelmän kaltaisessa kohteessa eivät ole ideaalisia. Kuten astiamittauksien tuloksista nähdään (kuva 1), saadaan pelkillä astiamittauksilla hyvin hajanainen ja suuntaa antava kuva kohteen virtaamista.



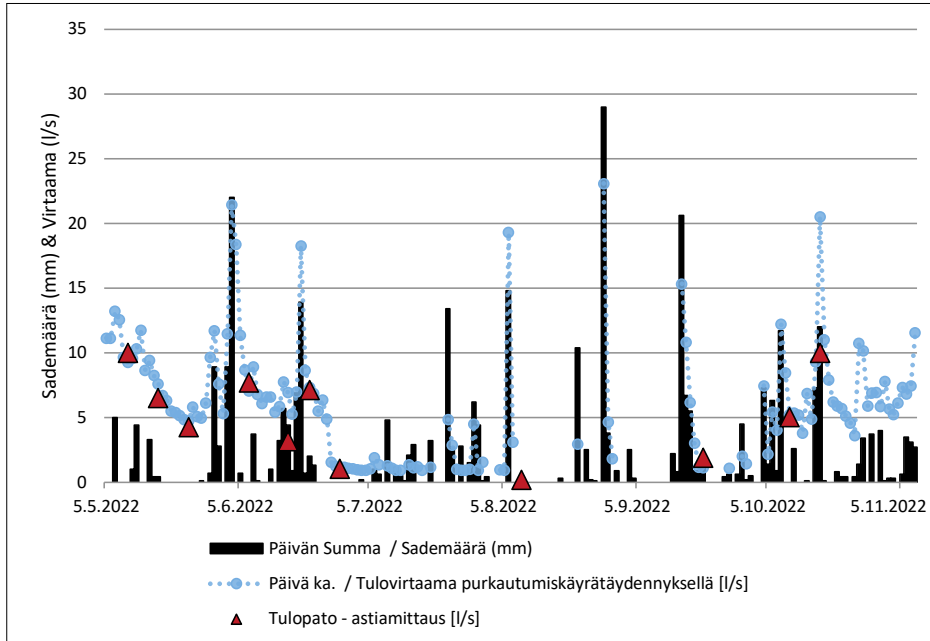
Kuva 1. Vuosina 2021 ja 2022 astiamitatu tulopadon sekä viiden suodatinkaivojen summa (l/s). Tulopadon mittauksia ei pystytty aina toteuttamaan liian pienen tai suuren virtaaman takia, jolloin kuva kohteen virtaamista jää hyvin hajanaiseksi.

Järjestelmälle tulevaan veteen asennettiin vuonna 2022 Ketunniementien alittavalle putki-osuudelle jatkuvatoiminen StarFlow-virtaamamittari. Tuloksia tarkastellessa nähdään, että automaattinen virtaamamittari toimi erittäin hyvin (kuva 2). 5.5.–8.11.2022 (187 päivää) välisenä aikana virtaaman keskiarvo oli 7,06 l/s, mediaani 5,88 l/s sekä maksimi 99,9 l/s. Elo–syyskuun kuivana kautena virtaamaa kohteessa ei ollut tai se oli alle mittauksen kynnysarvon, joten virtaamamittaustuloksia ei kyseisiltä ajanhetkiltä saatu muutamaa sadetapahtumaa lukuun ottamatta. Puuttuvia mittauksia täydennettiin Luode Consulting Oy:n toimesta purkautumiskäyrää apuna käyttäen.



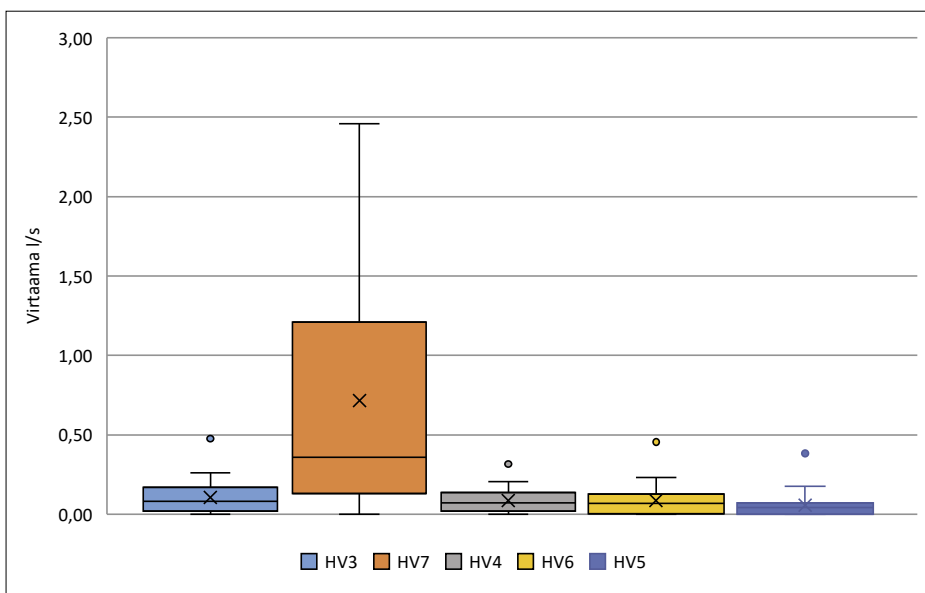
Kuva 2. 5.5.–19.10.2022 Pitkäjärven suodatinjärjestelmän tulolta jatkuvatoimisesti mitattu virtaama (l/s).

Tarkasteltaessa virtaaman päivittäisiä keskiarvoja ja päivittäisen sademäärän summaa (kuva 3) huomataan, että vesisateiden myötä virtaamamäärät kasvavat ja vähäsateisina kausina virtaama on hyvin pientä, jopa lähes olematonta. Erityisesti kesä–syyskuun välillä virtaama on ollut muutamia sadepäiviä lukuun ottamatta hyvin vähäistä. Tulopadolta astiamitattut arvot ovat samansuuntaisia kuin jatkuvatoimisesti mitattu virtaama.



Kuva 3. 5.5.–19.10.2022 jatkuvatoimisesti mitatun virtaaman päivittäiset keskiarvot, tulopadolta astiamitattu virtaama sekä päivittäisen sademäärän summa (Ilmatieteen laitos, Mikkelin lentoasema).

Suodatinkaijojen poistoista astiamitatuissa virtaamissa nähdään selkeä ero hiiltä sisältävien neljän kaivon sekä pelkästään sepeä sisältävän HV7-kontrollikaivon välillä (kuva 4). Jo vuoden 2021 syksyllä oli selvää, että vuonna 2019 käyttöönotetut suodatinmateriaalit ovat tukkeutuneet, jolloin vesi ei pääse kulkeutumaan hiilikaivojen läpi toivotulla tavalla. Hiilikaivojen virtaamat ovat keskimäärin hyvin tasaisia, mutta sepelekaivon virtaama seuraa tulovirtaaman mukaista vaihtelua.



Kuva 4. 2021–2022 mitatut suodatinkaivojen poistojen virtaamamäärien (l/s) ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi). Mittauskertoja 32 kappaletta. Neljä biohiiltä sisältävää kaivoa ovat tukkeutuneet, kun taas valtaosa vedestä kulkee pelkkää sepeliä sisältävän HV7-kaivon läpi.

Jo pelkän kaivoista havaitun virtaaman avulla voidaan sanoa, että suodatinmateriaalit ovat tukkeutuneet. Kaivot ja suodatinmateriaali on otettu käyttöön jo vuonna 2019, ja mahdollisia jatkotutkimuksia ajatellen kaivojen materiaalit tulisi vaihtaa uusiin.

VIRTAAMIEN SUHTEUTTAMINEN AINEPITOISUUKSIIN

Muutoksien tarkasteluun järjestelmässä käytettiin apuna havaittuja virtaamia. Pelkkä näytteenotolla havaittu jonkin aineen pitoisuus litrassa vettä itsessään ei ole riittävä kuvaamaan virtaavan huleveden haitta-aineita, vaan pitoisuus pitää suhteuttaa näytteenottohetken virtaamamäärään. Kuntaliiton Hulevesioppaan mukaan pelkän keskiarvon käyttäminen voi antaa kuormitukselle liian suuria arvoja. Koska hulevesien pitoisuudet sekä virtaamamäärät vaihtelevat suuresti erilaisten sadetapahtumien yhteydessä, on tällainen tarkastelu hyvin suuntaa antavaa. Hulevesien keskimääräistä vaihtelua kuvatessa yleensä arvojen mediaani kuvaakin paremmin keskimääräisiä arvoja. Tämä johtuu siitä, että keskiarvoon vaikuttavat suuresti poikkeuksellisen korkeat arvot, kuten hulevesitapahtuman aikana tullut, vain hetkellisesti kestänyt piikki, niin virtaamassa kuin aineiden pitoisuuksissa. Nämä erot pienenevä havaintomäärien kasvaessa, mutta koska Hula-hankkeessa tehtyjä näytteenottoja oli eri parametrissa riippuen vain 3–19 kappaletta, voidaan näitä keskimääräisiä pitoisuuksia pitää hyvin epätarkkoina. Vähäisten havaintomäärien takia pitoisuuksien keskiarvon käyttäminen nähtiin parempana kuvastamaan kohteissa tapahtuvia muutoksia.

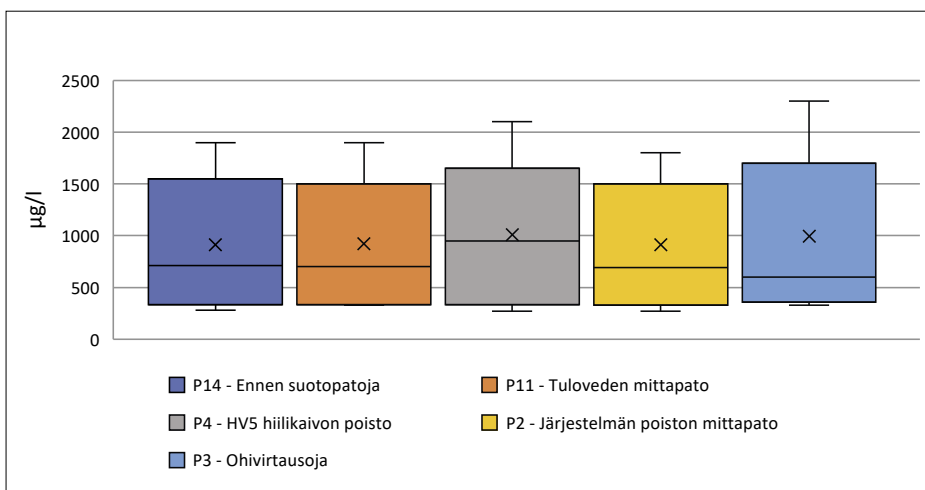
Hula-hankkeessa ei tehty tarkasteluja talviaikaan, joten havainnoissa ei ole mukana talviajan virtaamia tai näytteenottoja. Tämän myötä vuositasolla laskettavat määrät vääristyisivät merkittävästi, koska marras–huhtikuun välisistä muutoksista ja virtaamista ei ole kerättyä tietoa. Yleisenä yksikkönä hulevesien kuormituksen tarkasteluun käytetään valuma-alueen pinta-alaan suhteutettua aineen kokonaismäärää aikayksikössä, esimerkiksi kg/km²/a. Tätä arvoa yleensä vertaillaan ominaiskuormitusarvoihin, jotka ovat tyypillisiä erilaisille valuma-alueille (Hulevesiopas 2012). Tämän arvon luotettava laskeminen tarvitsisi laajempia näytteenottoja erilaisilla valumahetkillä sekä myös tietoa talven aikana tapahtuneista muutoksista. Esimerkiksi vuoden 2022 aikana Hula-hankkeen toiminta-aika oli toukokuusta lokakuuhun eli puolet vuodesta. Lisäksi koska Pitkäjärven suodatinjärjestelmälle tulevan veden valuma-alueen raja-alue ei ole selkeästi tiedossa ja koska näytteenottoja on parametrisoitu 3–19 kappaletta, ei valuma-alueelle suhteutettuja vuosikuormitusten laskemista nähty mielekkäänä.

Koska hankkeen tavoitteena oli tarkastella järjestelmän toimivuutta ravinteiden ja haitta-aineiden vähentämisessä, käytetään havaittujen tulosten keskilukuja ja niistä tehtyjä laskuja antamaan suuntaa antavia arvioita siitä, kuinka suuria muutoksia vedessä on tapahtunut. Kilogrammakuormat ovat laskettu ajalle, jona jatkuvatoimiset virtaamamittarit olivat toiminnassa vuonna 2022, eli 5.5.2022–8.11.2022 (187 päivää) Nämä arvot sisältävät kuitenkin paljon virhemarginaalia, joten niitä pitää tarkastella kriittisesti.

HULEVEDEN TYPPIPITOISUUS

Kohteen typpipitoisuuksien muutoksia tarkasteltiin hankkeen monitorointijaksoilla elomarraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Näytteitä otettiin viidestä pisteestä, jotka edustavat järjestelmälle tulevaa vettä ennen suotopatoja (P14), vettä suotopatojen jälkeen ja ennen itse järjestelmää (P11), vettä HV5-hiilikaivon jälkeen (P4), joka edustaa yleisesti kaikkia hiilikaivoja sekä vettä järjestelmän poistolta (P2). Lisäksi näyte otettiin myös sivuojasta, joka edustaa järjestelmän settipadon yli tulevaa sekä muualta kuin Karilan valuma-alueelta tulevaa vettä (P3). Näytteenottoja oli vuosina 2021–2022 yhdeksän kappaletta, ja kaikki näytteet lähetettiin analysoitavaksi ALS Finland Oy:lle.

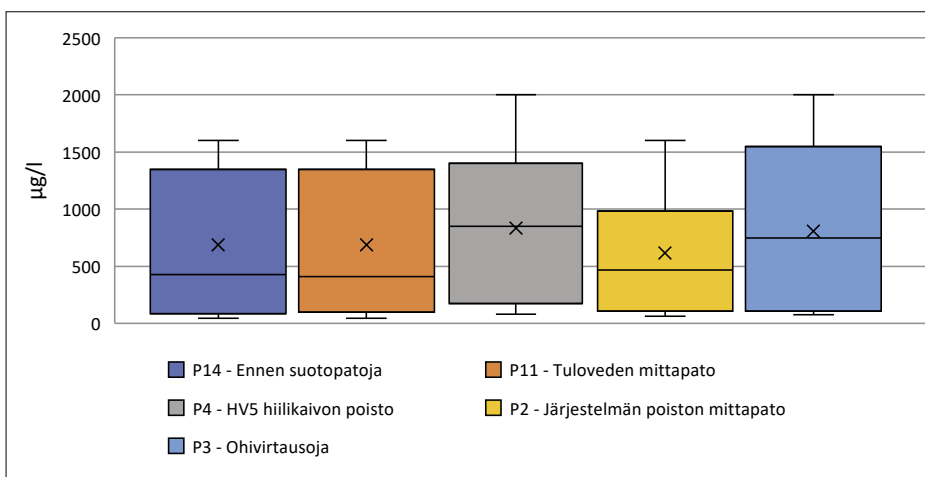
Tarkasteltaessa kokonaistypen (kuva 5) tuloksia nähdään muutoksien olevaan keskenään hyvin tasaisia. Tulevan (P14) ja poistuvan (P2) veden arvot ovat hyvin lähellä toisiaan. Tuloksista P4 (HV5-hiilikaivon poisto) eroaa muista tuloksista selkeimmin, sillä kokonaistypimäärät olivat keskimäärin noin 100 µg/l korkeammat kuin muissa pisteissä. Syy tähän todennäköisesti on se, että vuonna 2019 käyttöönotettuihin suodatinhiiliin on kerääntynyt niiden tukkeutumisen myötä ravinteita, jotka vapautuvat veden virratessa kaivon läpi.



Kuva 5. Pitkäjärven suodatinjärjestelmän viiden pisteen kokonaistypen ($\mu\text{g/l}$) ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x , kvartiilit, minimi ja maksimi).

Kokonaistypen osalta Tukholman läänin alin raja-arvo $2\,000\ \mu\text{g/l}$ ylittyi hieman ohivirtausojasta 3.5.2022 ($2\,100\ \mu\text{g/l}$) ja 7.6.2022 ($2\,300\ \mu\text{g/l}$) otetuissa näytteissä sekä HV5-hiilikaivon poistosta 3.5.2022 ($2\,100\ \mu\text{g/l}$) otetussa näytteessä (Riktvärdesgruppen 2009). Kaikkien näytteenotuspisteiden kokonaistypen keskiarvot jäävät kuitenkin selvästi alle alimman raja-arvon.

Samojen pisteiden nitraatti- ja nitriittityypen summasta nähdään samansuuntaiset muutokset kuin kokonaistypessä (kuva 6). Tulevan ja poistuvan veden välillä havaittu vähenemä on noin $70\ \mu\text{g/l}$, kun taas HV5-hiilikaivosta poistuvasta vedestä havaitaan suurimmat pitoisuudet, jotka ovat noin $150\ \mu\text{g/l}$ korkeammat kuin tulevassa vedessä. Kuten kokonaistypenkin osalta, viittaisi tämä siihen, että hiilestä irtoaa ravinteita veteen.



Kuva 6. Pitkäjärven suodatinjärjestelmän viiden pisteen nitraatti- ja nitriittityypen summan ($\mu\text{g/l}$) ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x , kvartiilit, minimi ja maksimi).

Tarkasteltaessa kokonaistypen ja nitriitti- ja nitraattitypen keskilukuja (taulukko 1) yhdessä nähdään, että suuri osa kokonaistypestä on nitraatti- ja nitriittitypeä. Keskimäärin kaikissa pisteissä 60–70 prosenttia tyypestä on nitraatti- ja nitriittimuodossa.

Taulukko 1. 2021–2022 Pitkäjärven suodatinjärjestelmän viidestä pisteestä havaitut kokonaistypen ja nitriitti- ja nitraattitypen summan keskiluvut.

Yksikkö µg/l	P14 – Ennen suotopatoja		P11 – Tulo- veden mitta- pato		P4 – HV5 hiilikaivon poisto		P2 – Jär- jestelmän poiston mittapato		P3 – Ohi- virtausoja	
	Kok. N	NO ₃ - ja NO ₂ - summa	Kok. N	NO ₃ - ja NO ₂ - summa	Kok. N	NO ₃ - ja NO ₂ - summa	Kok. N	NO ₃ - ja NO ₂ - summa	Kok. N	NO ₃ - ja NO ₂ - summa
Keskiarvo	912	687	920	689	1011	834	911	617	994	811
Mediaani	710	430	700	410	950	850	690	470	600	750
Minimi	280	47	330	46	270	83	270	66	330	78
Maksimi	1 900	1 600	1 900	1 600	2 100	2 000	1 800	1 600	2 300	2 000

Tuloksia tarkastellessa tulee huomioida pisteiden välillä olevat hyvin suuret erot virtaamassa. Esimerkiksi HV5-kaivossa (P4) virtaama on ollut vuosien 2021–2022 aikana keskimäärin vain 0,1 litraa sekunnissa, kun taas tulevan veden (P11) keskimäärin 5,8 litraa sekunnissa. Jos näitä keskivirtaamia suhteutetaan havaittuihin ravinnemääriin (taulukko 2), nähdään kuormituksen olevan eri pisteissä täysin erilainen. Koska kaikki P14-pisteen vedestä ei virtaa järjestelmän läpi, on pelkän järjestelmän tulevan veden arvona käytetty samaa virtaamamäärää, joka järjestelmästä on havaittu poistuvan P2-pisteessä. Vaikka pisteessä P4 havaitaan korkeimmat typpipitoisuudet, on sen virtaamaan suhteutettu typpikuorma vain noin kaksi prosenttia pisteen P14 typpikuormasta.

Taulukko 2. Keskiarvoilla lasketut virtaamamäärään suhteutetut kokonaistypen kuormat kilogrammoina sekä keskihajonta.

Piste	Virtaama keskiarvo (l/s)	Kokonaistyyppi keskiarvo (µg/l)	Kg tyyppiä 187 päivää **
P14 – Ennen suotopatoja	7,06	912 ± 654	104,0 ± 74,6
P11 – Suotopatojen jälkeen	7,06	920 ± 617	104,9 ± 70,4
Järjestelmään tuleva osuus P11-tulovedestä (virtaama sama kuin P2)	1,25*	920 ± 617	18,6 ± 12,5
P4 – HV5-hiilikaivon poisto	0,1	1 011 ± 688	1,6 ± 1,1
P2 – Järjestelmän poiston mittapato	1,25*	911 ± 601	18,4 ± 12,1

* Laskettu viiden suodatinkaivon yhtenäisestä keskimääräisestä poistovirtaamasta.

** Kaava: (virtaama l/s * 60 * 60 * 24 * 187) * (kokonaispitoisuus µg/l / 1 000 000 000).

Näiden keskimääräisten arvojen perusteella järjestelmällä ei näyttäisi olevan vaikutusta kokonaistypen määrään. Kokonaistypen keskiarvoero P11- ja P2-pisteen välillä on vain 9 µg/l, mikä tarkoittaa 187 päivän ajanjaksolla vain noin 0,2 kilogrammaa. Ottaen huomioon, että typpinäytteitä on vain yhdeksän kappaletta, on havaittu 9 µg/l ero todennäköisesti vain normaalia vaihtelua pisteiden välillä ja se menee virhemarginaalien sisälle. Ennen ja jälkeen suotopatoja typpipitoisuudet ovat kasvaneet noin 8 µg/l, joka myös menee näytteiden välisen vaihtelun sisälle. Samoja laskuja sovellettaessa nitriitti- ja nitraattitypen summaan saadaan tuloksista esille hieman erilaisia eroavaisuuksia (taulukko 3).

Taulukko 3. Keskiarvoilla lasketut virtaamamäärään suhteutetut nitraatti- ja nitriittitypen kuormat kilogrammoina.

Piste	Virtaama keskiarvo (l/s)	Nitraatti- ja nitriittitypen summa keskiarvo (µg/l)	Kg 187 päivää**
P14 – Ennen suotopatoja	7,06	687 ± 643	78,4 ± 73,3
P11 – Suotopatojen jälkeen	7,06	689 ± 630	78,6 ± 71,9
Järjestelmään tuleva osuus tulovedestä (virtaama sama kuin P2)	1,25*	689 ± 630	13,9 ± 12,7
P4 – HV5-hiilikaivon poisto	0,1	834 ± 690	1,3 ± 1,1
P2 – Järjestelmän poiston mittapato	1,25*	617 ± 528	12,5 ± 10,7

* Laskettu viiden suodatinkaivon yhtenäisestä keskimääräisestä poistovirtaamasta.

** Kaava: (virtaama l/s * 60 * 60 * 24 * 187) * (kokonaispitoisuus µg/l / 1 000 000 000).

Keskiarvojen perusteella tarkasteltuna järjestelmä vaikuttaisi vähentävän nitraatti- ja nitriittitypen pitoisuuksia vähäisiä määriä. Poistuvan veden kuormitusmäärä on noin 1,4 kiloa pienempi kuin samalla virtaamalla suhteutettuun tulevan veden määrään. Suotopatojen jälkeisessä pisteessä verrattaessa ennen suotopatoja tulos sen sijaan on kasvanut 2 µg/l, joten voidaan sanoa, ettei veden virtauksen hidastumisella ole ollut vaikutusta nitriitti- ja nitraattitypen pitoisuuksiin.

Koska näytteenottoja oli Hula-hankkeen aikana vain yhdeksän kappaletta, ei pelkkää keskiarvoa voida pitää täysin luotettavana kuvaamaan kokonaiskuormitusta. Esimerkiksi suurien hulevesitapahtumien aikaan pitoisuus saattaa olla moninkertainen, kun taas kesän kuivalla kaudella pitoisuudet saattavat olla pitkiäkin ajanjaksoja hyvin pieniä. Tämä nähdään hyvin tulosten minimin ja maksimin suuresta vaihteluvälistä. Vaikka erot ovat todella suuria verrattuna aikaisempina vuosina kerättyyn dataan, on nyt tarkemman virtaamatiedon

avulla saatu moninkertaisesti parempi kuva Karilan valuma-alueelta Pitkäjärveen tulevista typpimääristä. Vaikka yksittäisen ajanhetken tulokset ovat mikrogrammoissa hyvin pieniä, tekee suuri veden virtaamamäärä näistä pienistäkin arvoista kertautuessaan hyvin suuria ainemääriä kuukausi- ja vuositasolla.

HULEVEDEN FOSFORIPITOISUUS

Kuten tyypeä, myös fosforipitoisuuksia tarkasteltiin molempina vuosina samoista viidestä pisteestä (P14, P11, P4, P3 ja P2) seitsemän näytteenoton verran. Vedestä analysoidut fosforipitoisuudet kohteessa ovat huomattavasti pienempiä kuin typpipitoisuudet, minkä vuoksi ensimmäisten neljän näytteenoton tulokset olivat alle menetelmän määrittämissä. Käytetty menetelmä oli soveltuva likaisille vesille, jolloin pieniä, alle 50 µg/l pitoisuuksia saatu havaittua. Analyysimenetelmä vaihdettiin pienemmille pitoisuuksille soveltuvaan ensimmäistä kertaa 31.8.2022 tehdyssä näytteenotossa, minkä jälkeen otettiin vielä kaksi näytteenottoa. Kaikki näytteet analysoitiin ALS Finland Oy:n laboratorioissa. Taulukossa 4 on esimerkkinä tulevan veden P14-pisteen kokonais- ja fosfaattifosforin pitoisuudet molemmilla menetelmillä. Muissakaan pisteissä ei havaittu määrittämissä ylittäviä fosforipitoisuuksia neljältä ensimmäiseltä näytteenotolta.

Taulukko 4. Järjestelmälle tulevan veden fosforipitoisuudet (µg/l) ennen suotopatoja (P14) seitsemältä näytteenotolta. Neljän ensimmäisen näytteenoton fosforin määrittämissä olivat liian korkeita, joten tulokset olivat alle määrittämissä. Kolmeen viimeiseen näytteenottoon menetelmää vaihdettiin vähäfosforisille vesille soveltuvaksi.

Analyyssi Pitoisuus µg/l	10.11. 2021	3.5. 2022	17.5. 2022	3.8. 2022	31.8. 2022	27.9. 2022	17.10. 2022
fosfori (P ₂ O ₅)	<12	<120	<120	<120			
kokonaisfosfori	<50	<50	<50	<50			
kokonaisfosfori fosfaattina (PO ₄ ³⁻)	<150	<150	<150	<150			
fosfaatti	<40	<40	<40	<40			
fosfaattifosfori	<13	<13	<13	<13			
kokonaisfosfori					7	8	22
fosfaattifosfori (PO ₄ ³⁻ -P)					5	6	8

Koska fosforipitoisuudet kaikissa pisteissä olivat matalia ja näytteenottoja oli vain kolme kappaletta, ei fosforin muutoksista voida sanoa mitään varmaa. Fosforin määrä vedessä näyttäisi kuitenkin hieman laskevan järjestelmässä. Korkeimmat fosforipitoisuudet havaitaan ohivirtausojasta, johon tulevat hulevedet ovat tutkimusympäristön ylivirtaama sekä muualta Karilan alueelta tulevat hulevedet. Kaikki kolmen näytteenoton kokonais- ja fosfaattifosforin tulokset ovat nähtävillä taulukossa 5.

Taulukko 5. Syksyllä 2022 tehtyjen fosforinäytteenottojen tulokset sekä niiden keskiarvo ja keskihajonta.

Piste	µg/l	31.8. 2022	27.9. 2022	17.10. 2022	ka.	keski-hajonta
P14 – Ennen suotopatoja	Kokonaisfosfori	7	8	22	12,3	8,4
	Fosfaattifosfori	5	6	8	6,3	1,5
P11 – Tuloveden mittapato	Kokonaisfosfori	7	9	18	11,3	5,9
	Fosfaattifosfori	4	6	6	5,3	1,2
P4 – HV5-hiili-kaivon poisto	Kokonaisfosfori	5	8	5	6,0	1,7
	Fosfaattifosfori	3	4	2	3,0	1,0
P2 – Järjestelmän poiston mittapato	Kokonaisfosfori	7	7	8	7,3	0,6
	Fosfaattifosfori	5	6	5	5,3	0,6
P3 – Ohi-virtausoja	Kokonaisfosfori	11	18	37	22,0	13,5
	Fosfaattifosfori	10	12	12	11,3	1,2

Tukholman läänin raja-arvoihin verrattuna kaikkien näytteiden fosforipitoisuudet jäivät selvästi alle alimman raja-arvon, joka on fosforille 160 µg/l.

Suhteuttamalla fosforituloksia keskiarvoisiin virtaamamääriin tulevasta ja poistuvasta vedestä (taulukko 6) nähdään tuloksien olevan näiden havaintojen perusteella hyvin pieniä. Koska kuitenkin näytteenottoja oli vain kolme kappaletta, jotka kaikki toteutettiin syksyllä 2022, on näiden laskujen luotettavuutta tarkasteltava hyvin kriittisesti. Näiden laskujen perusteella järjestelmä on poistanut 187 päivän aikana vedestä noin 0,10 kiloa fosforia sekä suotopadot noin 0,11 kiloa. Kohteen hulevesien fosforipitoisuudet ovat kuitenkin hyvin pieniä eivätkä aiheuta merkittävää kuormaa Pitkäjärvelle.

Taulukko 6. Keskiarvoilla lasketut virtaamamäärään suhteutetut kokonaisfosforin vuosittaiset kuormat kilogrammoina sekä keskihajonta.

Piste	Virtaama keskiarvo (l/s)	Kokonaisfosfori keskiarvo (µg/l)	Kg vuodessa**
P14 – Ennen suotopatoja	7,06	12,3 ± 8,4	1,4 ± 1,0
P11 – Suotopatojen jälkeen	7,06	11,3 ± 5,9	1,29 ± 0,7
Järjestelmään tuleva osuus tulovedestä (virtaama sama kuin P2)	1,25*	12,3 ± 8,4	0,25 ± 0,2
P2 – Järjestelmän poiston mittapato	1,25*	7,3 ± 0,6	0,15 ± 0,01

* Laskettu viiden suodatinkaivon yhtenäisestä keskimääräisestä poistovirtaamasta.

** Kaava: (virtaama l/s * 60 * 60 * 24 * 187) * (kokonaispitoisuus µg/l / 1 000 000 000).

Edellä taulukossa 6 mainittuja tuloksia ei voida kuitenkaan pitää luotettavina kuvaamaan koko ajanjakson tuloksia, koska fosforipitoisuudet perustuvat pelkästään syksyllä otettuihin näytteisiin. Hula-hanketta edeltäneessä Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö – Huky-hankkeessa Pitkäjärven järjestelmälle tulevasta vedestä havaitut kokonaisfosforipitoisuudet olivat vuosina 2019–2020 keskimäärin 25 µg/l keskihajonnan ollessa 23 µg/l. Suurin havaittu arvo oli 71 µg/l ja pienin 5 µg/l (Mykkänen 2021). Käyttämällä Huky-hankkeen aikaista keskiarvoa saataisiin keskimääräiseksi kokonaisfosforikuormaksi vuoden ajanjaksoilta noin 2,85 kilogrammaa fosforia, joka on noin kaksi kertaa enemmän kuin vuoden 2022 syksyllä havaittujen arvojen perusteella laskettu kuormitusmäärä. Tästä huolimatta kohteen fosforipitoisuudet ovat hyvin alhaisia.

HULEVEDEN METALLIPITOISUUS

Hula-hankkeen aikana Pitkäjärven kohteesta tarkasteltiin metallien kokonais- ja liukoisia pitoisuuksia kolmena näytteenottona 10.11.2021, 3.5.2022 sekä 28.6.2022. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi ALS Finland Oy:lle.

Näytteenoton tuloksien keskiarvot ovat nähtävillä taulukossa 7. Tuloksia tarkastellessa tulee huomioida, että P4- ja P2-pisteitä ei voi vertailla suoraan peräkkäisinä, koska P2-piste sisältää myös muista suodatinkaivoista tulevan veden. HV7-sepelikaivolta tuleva moninkertainen virtaamamäärä nostattaa P2-pisteen järjestelmän kokonaispoiston tuloksia.

Taulukko 7. Kolmen näytteenoton metallipitoisuuksien keskiarvot kaikista viidestä näytteenottopisteestä.

Analyysi, 3 näytteenoton keskiarvo µg/l		P14 – Ennen suoto- patoja	P11 – Tuloveden mittapato	P4 – HV5 hiilikaivon poisto	P2 – Jär- jestelmän poiston mittapato	P3 – Ohi- virtausoja
antimoni, Sb	Kok.	<1	<1	<1	<1	<1
	Liuk.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,17
alumiini, Al	Kok.	96	80	43	60	163
	Liuk.	44	41	25	33	107
arseeni, As	Kok.	<1	<1	<1	<1	<1
	Liuk.	<1	<1	<1	<1	<1
elohopea, Hg	Kok.	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
	Liuk.	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
kadmium, Cd	Kok.	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	Liuk.	0,08	0,07	0,05	0,06	0,03
koboltti, Co	Kok.	2,1	1,5	<0,5	1	1,1
	Liuk.	2	1,4	<0,5	1	0,9

Analyysi, 3 näytteenoton keskiarvo µg/l		P14 – Ennen suotopatoja	P11 – Tuloveden mittapato	P4 – HV5 hiilikaivon poisto	P2 – Järjestelmän poiston mittapato	P3 – Ohivirtausoja
kromi, Cr	Kok.	<5	<5	<5	<5	<5
	Liuk.	0,5	0,5	<0,4	0,4	0,7
kupari, Cu	Kok.	3,5	3	4,7	3,8	3,6
	Liuk.	2,9	2,8	3,4	3,2	3,3
lyijy, Pb	Kok.	<1	<1	<1	<1	<1
	Liuk.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
nikkeli, Ni	Kok.	5,7	5,8	4,6	11	4,9
	Liuk.	5,5	5,3	4,5	6	4,6
rauta, Fe	Kok.	2403	1888	758	1542	1960
	Liuk.	982	895	501	687	861
sinkki, Zn	Kok.	17,8	20,8	40,0	67,9	12,6
	Liuk.	14,7	11,8	11,0	14,9	11,4
vanadiini, V	Kok.	<5	<5	<5	<5	<5
	Liuk.	<1	<1	<1	<1	<1

< = alle ainekohtaisen määritysrajan

Tuloksista nähdään rautapitoisuuksien laskevan järjestelmässä. Muutos vaikuttaisi olevan suurempi kokonaisraudassa kuin liukoisessa raudassa, joka on järjestelmän toiminnan takia looginen tulos. Kokonaisrauta voi vähentyä esimerkiksi kiintoaineen jäädessä materiaaleihin, kun taas liukoinen rauta jatkaa liikkumistaan veden mukana. Viitteitä pitoisuuksien vähenemisestä nähdään myös alumiinissa. Antimonissa, arseenissa, elohopeassa, kadmiumissa, koboltissa, kromissa, kuparissa, lyijyssä, nikkelissä, sinkissä sekä vanadiinissa havaitaan näiden näytteenottojen perusteella vain hyvin pieniä pitoisuuksia eikä tuloksissa havaita merkittäviä muutoksia. Vertailtaessa pitoisuuksia Tukholman läänin raja-arvoihin (taulukko 8) nähdään kaikkien paitsi nikkelin ja sinkin olevan alemman ohjearvon alapuolella. Nikkelin arvo ylittää alemman raja-arvon. Sinkin korkein havaittu arvo on sama kuin ylin raja-arvo 125 µg/l.

Taulukko 8. Tukholman läänin raja-arvot (Riktvärdesgruppen 2009) metallien osalta sekä Pitkäjärven näytteistä Hula-hankkeen aikana havaitut korkeimmat ainekohtaiset pitoisuudet.

Aine	Alin raja-arvo (µg/l)	Ylin raja-arvo (µg/l)	Korkein havaittu pitoisuus 2021–2022
kadmium, Cd	0,4	0,5	Kaikki <0,2
kromi, Cr	10	25	Kaikki <5
kupari, Cu	18	40	5,9
elohopea, Hg	0,03	0,07	Kaikki <0,02
nikkeli, Ni	15	30	20,1
lyijy, Pb	8	15	Kaikki <1
sinkki, Zn	75	125	125

Korkeimmat pitoisuudet metalleissa havaitaan selkeästi raudan osalta. Suomen maaperässä on yleisesti paljon rautaa, ja muun muassa kaivu- ja rakennustöiden vaikutuksesta huuhtoumien mukana sitä pääsee kulkeutumaan vesistöihin. Raudan määrille ei ole annettu selkeitä raja-arvoja. Yleisesti kuitenkin kirkkaissa vesissä kokonaisraudan pitoisuus on noin 0,05–0,2 mg/l, humusvesissä 0,4–0,6 mg/l sekä suovesissä jopa 1 mg/l (Oravainen 1999). Hula-hankkeen aikana tulevan veden havaittu keskimääräinen rautapitoisuus oli 2,4 mg/l sekä poistuvan veden 1,5 mg/l. Myös Huky-hankkeen aikana tulevan veden rautapitoisuus oli noin 2 mg/l (Mykkänen 2021). Pitkäjärveen siis virtaa Karilan valuma-alueelta suuria määriä rautaa, vaikkakin pitoisuudet ovat todennäköisesti luonnollisesti muodostuvia.

Suhteuttamalla virtaamamäärän keskiarvoa ja näytteenottojen metallien keskiarvoon, miniiniin, maksimiin ja keskihajontatulokseen saadaan kuvaa Hula-hankkeen toiminta-aikana Karilan alueelta tulevan veden metallikuormista (taulukko 9). Laskut tehtiin alumiinin, nikkelin, raudan ja sinkin osalta, koska niitä havaittiin merkittävimmissä määrin. Kuten aikaisemmissakin laskuissa, myös näitä arvoja tulee tarkastella kriittisesti. Esimerkiksi alumiinin lähes keskiarvoa yhtä suuri keskihajonta kuvastaa hyvin tulosten suurta vaihtelua.

Taulukko 9. Tulevan veden P14-pisteen virtaaman keskiarvoon (7,06 l/s) sekä alumiiniin, nikkeliin, raudan ja sinkin keskiarvoon, keskihajontaan, minimiin ja maksimiin 187 päivän ajanjaksolle lasketut kuormat kilogrammoina.

Metalli	Keskiarvo kg	Keskihajonta kg	Minimi kg	Maksimi kg
alumiini, Al	10,9	7,5	2,3	15,6
nikkeli, Ni	0,6	0,2	0,5	0,8
rauta, Fe	274,1	101,1	159,7	351,3
sinkki, Zn	2,0	0,1	2,0	2,1

Ehdottomasti suurin metallikuormista tulee raudasta (keskiarvo 274,1 kg, minimi 159,7 kg, maksimi 351,3 kg). Järjestelmän eri pisteiden ja niiden mukaisten virtaamamäärien suhteutuksella saadaan vielä suuntaa antavaa kuvaa siitä, kuinka paljon järjestelmä vähentää rautaa (taulukko 10).

Taulukko 10. Keskiarvoilla lasketut virtaamamäärään suhteutetut raudan kuormat kilogrammoina.

Piste	Virtaama keskiarvo (l/s)	Kokonaisrauta keskiarvo (µg/l)	Kg 187 päivää**
P14 – Ennen suotopatoja	7,06	2 403 ± 432	274 ± 49
P11 – Suotopatojen jälkeen	7,06	1 888 ± 548	215 ± 63
Järjestelmään tuleva osuus tulovedestä (virtaama sama kuin P2)	1,25*	1 888 ± 548	38 ± 11
P2 – Järjestelmän poiston mittapato	1,25*	1 542 ± 368	31 ± 7

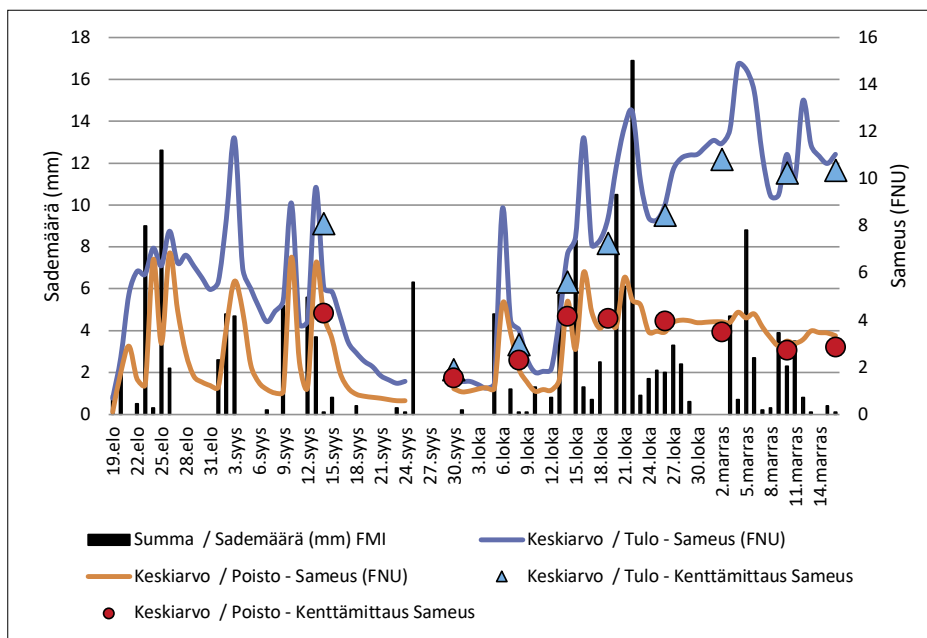
* Laskettu viiden suodatinkaivon yhtenäisestä keskimääräisestä poistovirtaamasta.

** Kaava: (virtaama l/s * 60 * 60 * 24 * 187) * (kokonaispitoisuus µg/l / 1 000 000 000).

Jos Pitkäjärven kohteessa virtaisi jatkuvasti havaittujen keskivirtaamien mukaisesti vettä ja veden kokonaisrautapitoisuudet olisivat näytteenottojen keskiarvojen mukaisia, saataisiin jo pelkillä suotopadoilla ja laskeutumisaltailla merkittävästi vähennettyä veden rautapitoisuutta. Laskujen mukaan erotus laskettuna ennen ja jälkeen suotopatoja otettujen näytteiden pitoisuuksista on 86 kilogrammaa vuodessa eli noin 21 prosenttia vedessä olevasta raudasta. Järjestelmään tulevasta vedestä ja poistuvasta vedestä vähenemä olisi 13,6 kiloa eli noin 18 prosenttia. Vaikka pitoisuus vaikuttaisi pienentyvän selvästi, on arvoja kuitenkin tarkasteltava kriittisesti ja pidettävä niitä lähinnä suuntaa antavina. Vaikuttaisi kuitenkin siltä, että jo pelkillä suotopadoilla voidaan selvästi vähentää huleveden sisältämän raudan määrää.

SAMEUS, FLUORESOIVA ORGAANINEN AINES JA KIINTOAINE

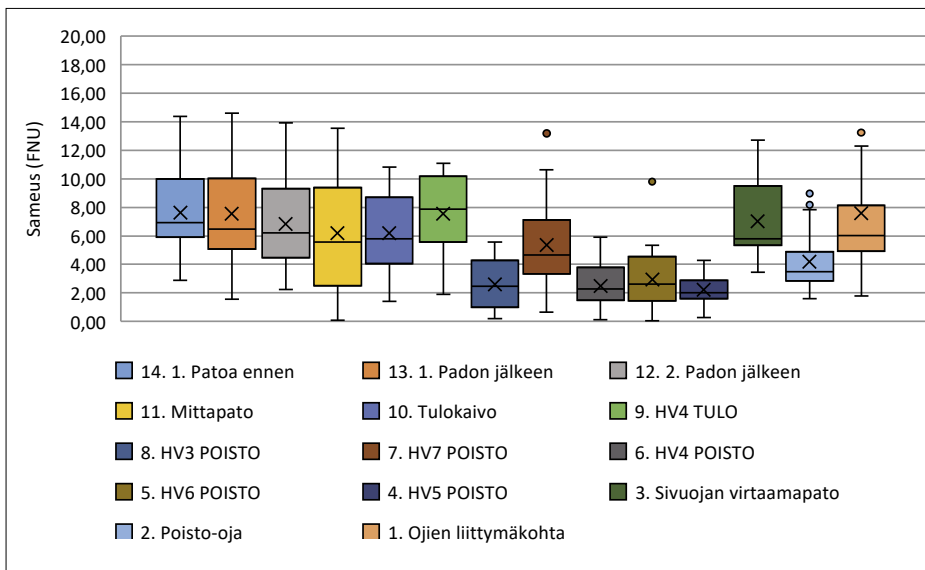
Tarkasteltaessa järjestelmään tulevan ja siitä poistuvan veden sameusarvon muutosta jatkuvatoimisten mittaustulosten ja kenttämittaustulosten avulla voidaan havaita selviä muutoksia (kuva 7). Veden sameusarvo pienenee veden virratessa järjestelmän läpi. Erityisesti sateisten päivien aikaan erot ovat merkittäviä, kun taas kuivempina kausina erot tasaantuvat. Lokakuun 2021 puolessa välissä alkaneiden vesisateiden myötä erot tulevan ja poistuvan veden välillä ovat selkeimmin nähtävillä. Vuoden 2021 aikana jatkuvatoimisesti mitattu sameus on tulevassa vedessä keskimäärin 6,9 FNU ja poistuvassa vedessä 2,9 FNU.



Kuva 7. Pitkäjärven suodatinjärjestelmän tulo- ja poistopisteiden 19.8.–16.11.2021 jatkuvatoimisesti sekä kenttämittarilla mitatut sameuden (FNU) päivittäiset keskiarvot sekä sademäärän summa (Ilmatieteen laitos, Mikkelin lentoaseman havaintopiste).

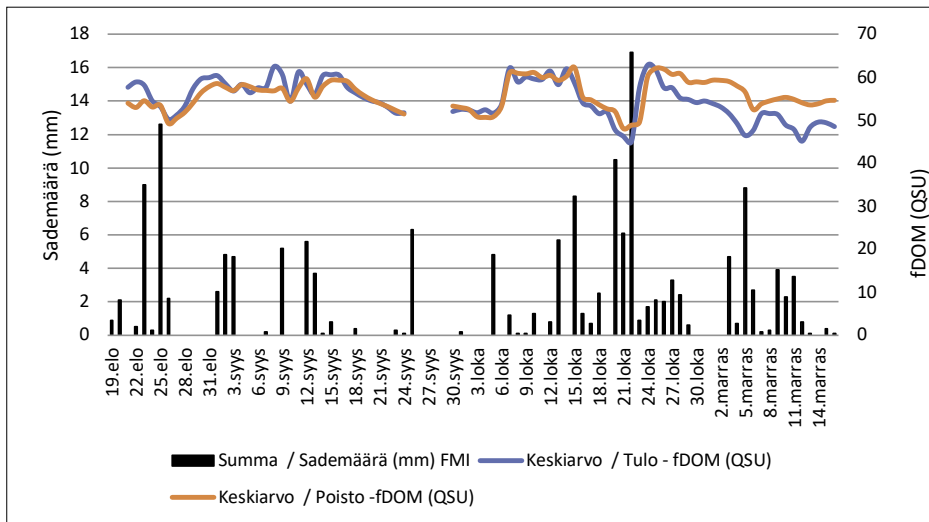
Koko järjestelmässä molempina vuosina tehtyjen kenttämittausten tulosten perusteella voidaan havaita sama muutostrendi (kuva 8). Suotopatoja ennen sijaitsevassa mittauspisteessä (piste 14) sameus on keskimäärin noin 8 FNU, kun taas järjestelmästä poistuvassa vedessä (piste 2) keskiarvo on noin 4 FNU. Hiilikaivojen (pisteet 8, 6, 5 ja 4) vaikutus sameuden vähenemiseen on selkeä, kun taas sepelikaivossa (piste 7) sameuden väheneminen on selvästi muita kaivoja pienempää. Sepelikaivon tulosta ei voi kuitenkaan suoraan verrata hiilikaivojen tuloksiin, koska sen läpi kulkeva vesimäärä on moninkertainen verrattuna hiilikaivoihin. Hiilikaivojen aiheuttama sameuden vähentyminen todennäköisesti perustuu veden suotautumiseen ja virtauksen hidastumiseen, jolloin veteen sitoutuneet partikkelit

jäävät järjestelmään ja suodatinmateriaaleihin. Jo pelkästään veden virtausnopeutta hidastavilla suotopadoilla ja niiden välisillä laskeutuslaitailla on sameutta vähentävä vaikutus. Vertailtaessa pistettä 14 (tuleva vesi ennen patoja) ja pistettä 11 (vesi kaikkien 3 padon jälkeen) nähdään sameusarvossa noin 1,5 FNU:n lasku.



Kuva 8. Pitkäjärven suodatinjärjestelmän 14 pisteen sameuden (FNU) kenttämitatun arvon ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elo–marraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Mittauskertoja oli 27 kappaletta.

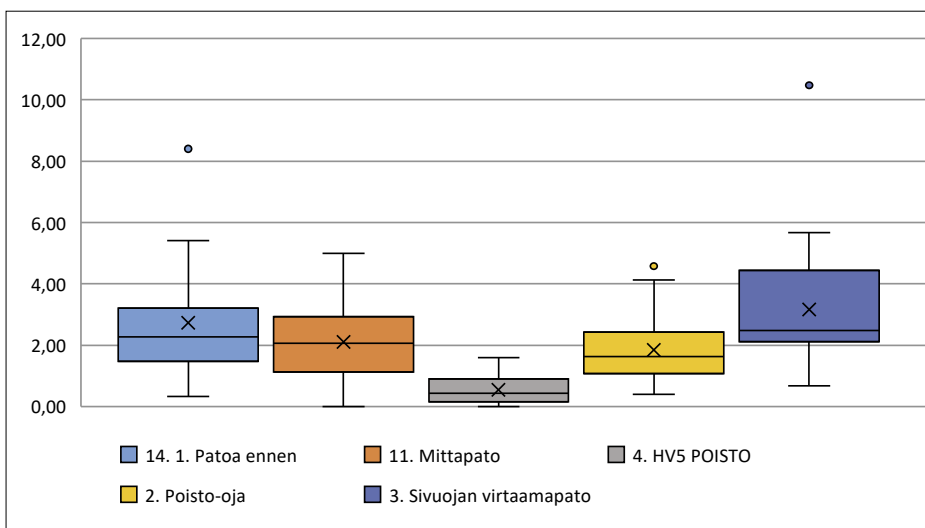
Vuoden 2021 syksyllä käytetyissä jatkuvatoimissa mittareissa oli myös fluoresoivan liuennon orgaanisen aineksen (fDOM) anturit, joiden avulla pystytään havainnoimaan esimerkiksi vedessä kulkeutuvaa humusta tai huuhtouman mukana tulevia orgaanisen aineksen kuormia. Elo–marraskuun mittausjaksolla (kuva 9) tulokset tulevan ja poistuvan veden mittarin välillä ovat hyvin samankaltaiset, eikä selkeitä viitteitä orgaanisen aineksen kuormasta tai sen muutoksista ole havaittavissa.



Kuva 9. Pitkäjärven suodatinjärjestelmän 19.8.–16.11.2021 jatkuvatoimisesti mitatun fluoresoivan liuennon orgaanisen aineksen (QSU) päivittäiset keskiarvot sekä sademäärän summa (Ilmatieteen laitos, Mikkelin lentoaseman havaintopiste).

Kiintoainepitoisuutta seurattiin viideltä pisteeltä järjestelmästä (kuva 10). Pisteet 14, 11, 4 ja 2 ovat perättäisiä, kun taas piste 3 on sivuojan kautta virtaava, ei järjestelmän läpi kulkeva vesi. Järjestelmään tulevan veden (piste 14) kiintoainepitoisuus on keskimäärin noin 2,7 mg/l, kun taas poistuvan veden (piste 2) 1,8 mg/l. Alhaisimmat kiintoainepitoisuudet kuitenkin nähdään HV5-hiilikaivon poistossa (piste 4), jossa pitoisuus on noin 0,5 mg/l. Syy alhaisempaan tulokseen johtuu siitä, että HV5-kaivon läpi kulkeva vesimäärä on hyvin pieni. Lisäksi järjestelmän poistoveden pisteen vesi sisältää myös HV7-sepelikaivon veden.

Sivuojan virtaamapadolta (piste 3) havaittu kiintoainepitoisuus on noin 3,2 mg/l, joka on korkein havaituista tuloksista. Sivuojan läpi virtaa järjestelmän ylivuodosta tuleva, käsittelemätön vesi sekä myös muualta kuin Karilan valuma-alueelta tuleva vesi. Kuten sameustulostenkin kohdalla, pelkillä suotopadoilla on myös kiintoainetta vähentävä vaikutus. Pisteessä 14 (vesi ennen suotopatoja) kiintoainepitoisuus on noin 2,7 mg/l, kun taas pisteessä 11 (vesi kaikkien 3 padon jälkeen) pitoisuus on noin 2 mg/l.



Kuva 10. Kiintoaineksen (mg/l) ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elo–marraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Havaintokertoja oli 19 kappaletta.

Suhteuttamalla kiintoainetuloksien keskiarvoja pisteiden havaittuihin keskivirtaamiin (taulukko 11) saadaan myös suuntaa antavaa kuvaa kohteen kiintoainekuormista. Laskujen perusteella P14- ja P11-pisteiden välinen vähenemä tarkoittaisi noin 58 kilon eli noin 23 prosenttia kiintoainevähennystä. Itse järjestelmä sen sijaan vähentää noin 5 kiloa eli noin 12 prosenttia kiintoaineksestä järjestelmään virtaavasta vedestä. Vaikka nämä tulokset ovat suuntaa antavia, vaikuttaisi jo pelkällä suotopatojen ja altaiden aiheuttamalla veden virtaamanopeuden hidastumisella ja sen myötä kiintoaineen sedimentoitumisella päästävän selkeään kiintoainepitoisuuden laskuun.

Taulukko 11. Keskiarvoilla lasketut virtaamamäärään suhteutetut kiintoaineen kuormat kilogrammoina.

Piste	Virtaama keskiarvo (l/s)	Kiintoaine keskiarvo (µg/l)	Kg 187 päivää**
P14 – Ennen suotopatoja	7,06	2 730 ± 1 872	311 ± 214
P11 – Suotopatojen jälkeen	7,06	2 108 ± 1 366	240 ± 156
Järjestelmään tuleva osuus tulovedestä (virtaama sama kuin P2)	1,25*	2 108 ± 1366	43 ± 28
P2 – Järjestelmän poiston mittapato	1,25*	1 848 ± 1120	37 ± 23

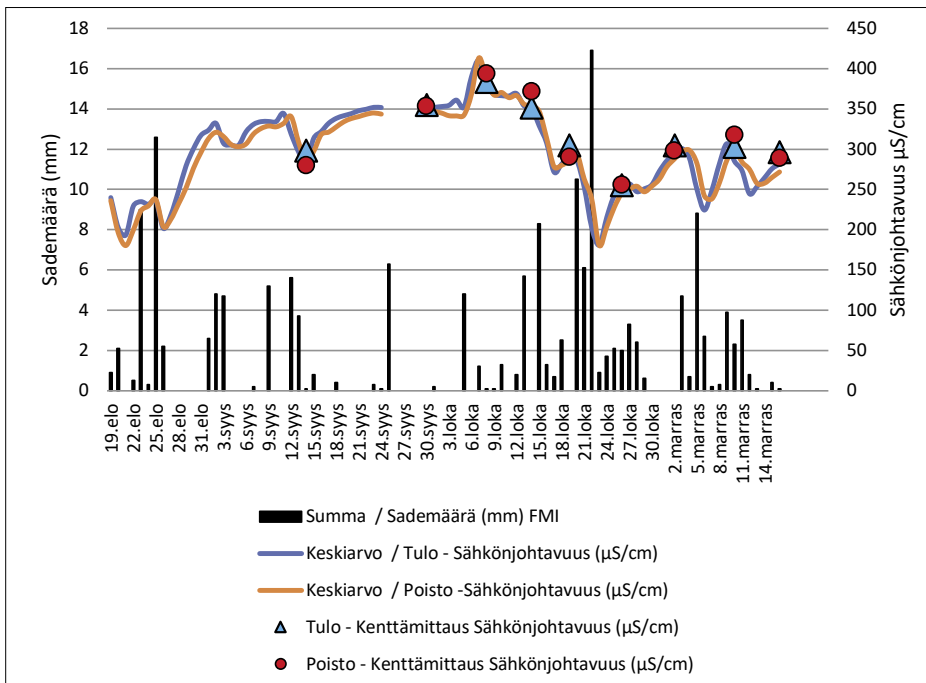
* Laskettu viiden suodatinkaivon yhtenäisestä keskimääräisestä poistovirtaamasta.

** Kaava: (virtaama l/s * 60 * 60 * 24 * 187) * (kokonaispitoisuus µg/l / 1 000 000 000).

Tarkastelemalla sameus- ja kiintoainetuloja ja niiden muutoksia järjestelmässä voidaan järjestelmällä sanoa olevan niitä vähentävä vaikutus. Hiilikaivojen tukkeutumisen ja tukkeutumisen aiheuttaman vähäisen virtaamamäärän takia tuloksia voitaisiin kuitenkin vielä parantaa vaihtamalla suodatinmateriaalit uusiin. Jos kaikista suodatinkaivoista virtaisi läpi sama määrä vettä kuin HV7-sepelikaivosta, olisi järjestelmällä suurempi Pitkäjärveen laskevien hulevesien sameutta ja kiintoainepitoisuutta vähentävä vaikutus. Jatkokäyttöä ajatellen suodatinmateriaalit tulisi siis vaihtaa uusiin. Myös pelkillä järjestelmää edeltävillä suotopadoilla on veden laatua parantava vaikutus. Patojen ja niiden välisten altaiden vaikutuksesta veden virtausnopeus pienenee, jolloin vedessä oleva kiintoaine ja siihen sitoutuneet aineet pääsevät laskeutumaan altaisiin. Jos altaisiin kertyy paljon ainesta, voivat ne lähteä suurien hulevesivirtauksien aikana liikenteeseen ja lopulta päätyä Pitkäjärveen. Tämän takia altaisiin kertynyttä ainesta tulisi aika ajoin myös tyhjentää sekä patorakenteiden kuntoa tarkistaa ja tarvittaessa korjata.

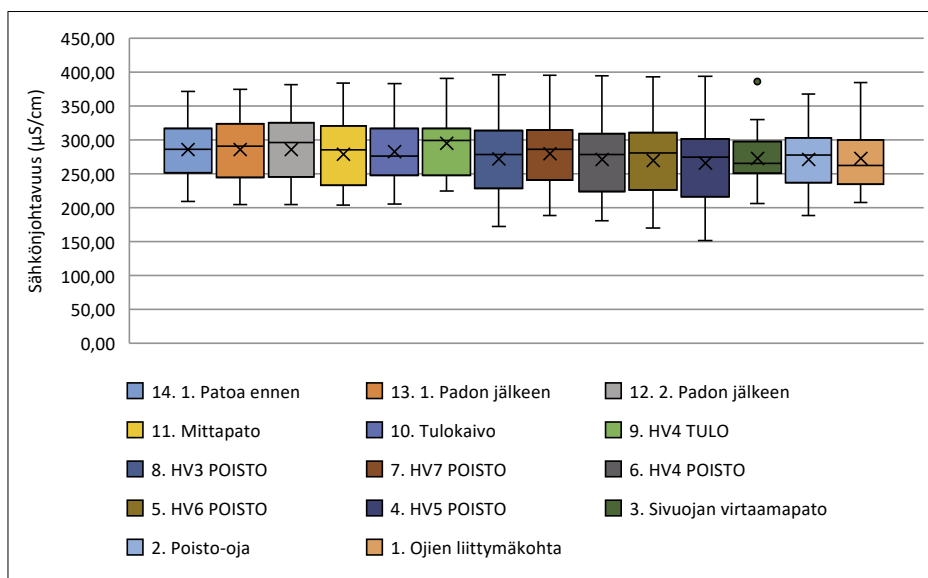
SÄHKÖNJOHTOKYKY JA KLORIDI

Sähkönjohtavuuden tuloksia seurattiin syksyllä 2021 jatkuvatoimisilla mittareilla sekä kenttämittareilla. Tarkasteltaessa järjestelmään tulevaa ja poistuvaa vettä jatkuvatoimisesti tai kenttämittareilla mitatussa sähkönjohtavuudessa ei havaita selkeitä järjestelmässä tapahtuvia muutoksia (kuva 11). Elo–marraskuun välisellä, 90 päivän mittaisella jaksolla missään kohdin ole selkeitä eroavaisuuksia mittareiden mittaustulosten välillä. Koko jakson aikana sähkönjohtavuus on tulevassa vedessä jatkuvatoimisilla mittareilla keskimäärin 297 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja poistuvassa vedessä 293 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Lokakuun puolivälissä alkaneet vesisateet laimentavat veden sähkönjohtavuutta, mutta eroa pisteiden välillä ei havaita.



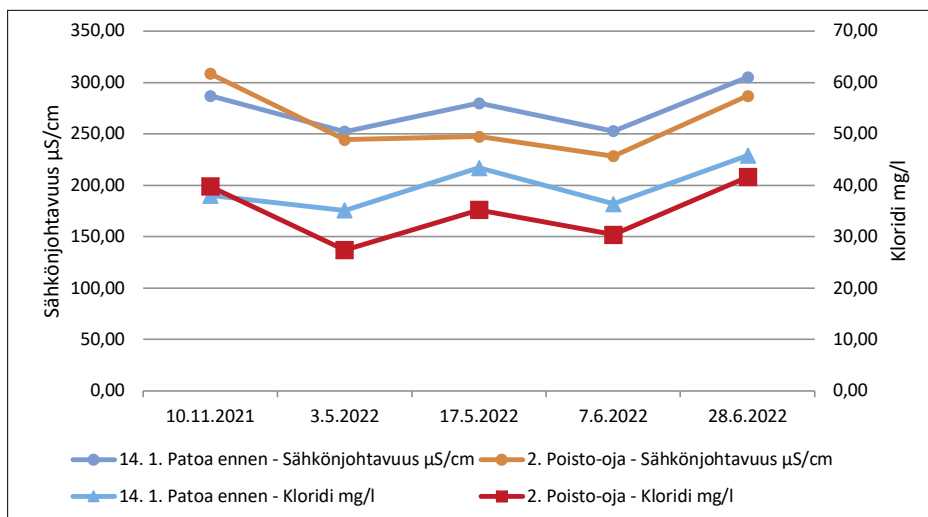
Kuva 11. Pitkäjärven suodatinjärjestelmän tulo- ja poistopisteiden 19.8.–16.11.2021 jatkuvatoimisesti sekä kenttämittarilla mitatut sähkönjohtavuuden ($\mu\text{S}/\text{cm}$) päivittäiset keskiarvot sekä sademäärän summa (Ilmatieteen laitos, Mikkelin lentoaseman havaintopiste).

Sama trendi nähdään koko järjestelmästä tehdyistä ProDSS-kenttämittarin tuloksissa (kuva 12) molempien vuosien osalta. Kaikkien 13 peräkkäisen mittauspisteen välillä selkeitä eroavaisuuksia sähkönjohtavuudessa ei havaita. Esimerkiksi pisteessä 14, joka edustaa vedenlaatua ennen suotopatoja, sähkönjohtavuus on noin $280 \mu\text{S}/\text{cm}$, kun taas pisteessä 2, joka edustaa järjestelmän poistuvan veden laatua, keskiarvo on $270 \mu\text{S}/\text{cm}$. Tämä hyvin pieni muutos ei ole merkittävä ja todennäköisesti aiheutuu järjestelmään jäävästä kiintoaineksesta.



Kuva 12. Pitkäjärven suodatinjärjestelmän 14 pisteen sähkönjohtavuuden ($\mu\text{S}/\text{cm}$) kenttämitatun arvon ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x , kvartiilit, minimi ja maksimi) elo–marraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Mittauskertoja oli 27 kappaletta.

Muutokset veden kloridipitoisuudessa nähdään myös sähkönjohtokyvyn muutoksina. Hula-hankkeen aikana Pitkäjärven kohteesta kloridinäytteitä otettiin viisi kertaa. Tarkasteltaessa samojen ajankohtien sähkönjohtavuuden tuloksia järjestelmästä tulevan ja poistuvan veden tuloksissa (kuva 13) nähdään muutosten olevan lähes identtisiä. Kloridipitoisuuden muuttuessa myös sähkönjohtokyvyn arvo muuttuu. Tulevan veden kloridipitoisuus on viiden havainnon perusteella keskimäärin noin 40 mg/l, kun taas poistuvassa vedessä arvo on noin 35 mg/l.



Kuva 13. Kenttämitattu sähkönjohtavuus ($\mu\text{S}/\text{cm}$) sekä kloridi (mg/l) viideltä havaintokerralta Pitkäjärven suodatinjärjestelmän tulo- ja poistovedestä.

Tarkasteltaessa vielä virtaamamääriin suhteutettuja kloridimääriä (taulukko 12) nähdään vuosittaisten kloridikuormien olevan suuria. Suotopatojen avulla kloridimäärä on vähentynyt noin 5 kiloa eli vain noin 0,1 prosenttia. Sen sijaan järjestelmään tulevasta vedestä on vähentynyt noin 97 kiloa eli noin 12 prosenttia kloridista.

Taulukko 12. Keskiarvoilla lasketut virtaamamäärään suhteutetut kloridin kuormat kilogrammoina.

Piste	Virtaama keskiarvo (l/s)	Kloridi keskiarvo (µg/l)	Kg 187 päivää**
P14 – Ennen suotopatoja	7,06	39 740 ± 4 632	4533 ± 528
P11 – Suotopatojen jälkeen	7,06	39 700 ± 3 173	4528 ± 424
Järjestelmään tuleva osuus tulovedestä (virtaama sama kuin P2)	1,25*	39 700 ± 3 713	802 ± 75
P2 – Järjestelmän poiston mittapato	1,25*	34 880 ± 6 031	704 ± 122

* Laskettu viiden suodatinkaivon yhtenäisestä keskimääräisestä poistovirtaamasta.

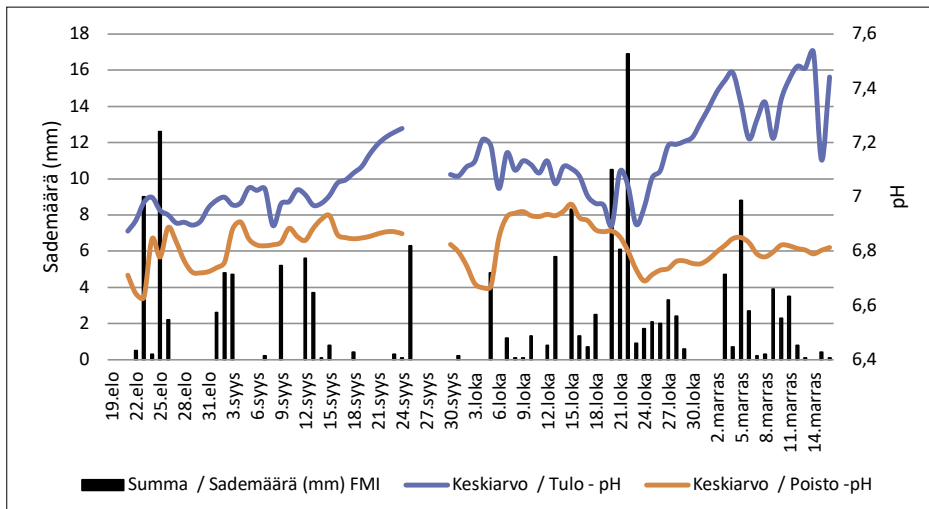
** Kaava: (virtaama l/s * 60 * 60 * 24 * 187) * (kokonaispitoisuus µg/l / 1 000 000 000).

Tulevasta hulevedestä havaittu keskimääräinen noin 40 mg/l kloridiarvo on selvästi korkeahko. Hulevedelle ei kuitenkaan ole annettu selkeitä kloridin raja-arvoja. Myöskään vesistöille ei ole olemassa sovellettavaa raja-arvoa. Pohjavedelle puolestaan kloridin laatu­normi on 25 mg/l (VNa 1040/2006; VNa 341/2009). Kohteen korkeat kloridiarvot selittyvät loogisesti sillä, että valuma-alueen läpi kulkee useita moottoritiealueita sekä pienempiä teitä, joiden maantiesuolaus todennäköisesti nostaa kloridin arvoja.

Erot tulevan ja poistuvan veden välillä eivät siis ole suuria, mutta järjestelmän voidaan sanoa vähentävän veden kloridipitoisuutta ja sähköjohtavuutta hieman. Yleisesti kohteen sähköjohtavuuden arvot ovat hyvin matalia, eikä niissä ole viitteitä esimerkiksi jätevesien pääsemisestä huleveden sekaan. Sen sijaan kloridipitoisuudessa havaitaan korkeita arvoja, jotka todennäköisesti johtuvat valuma-alueella tapahtuvasta maantiesuolauksesta.

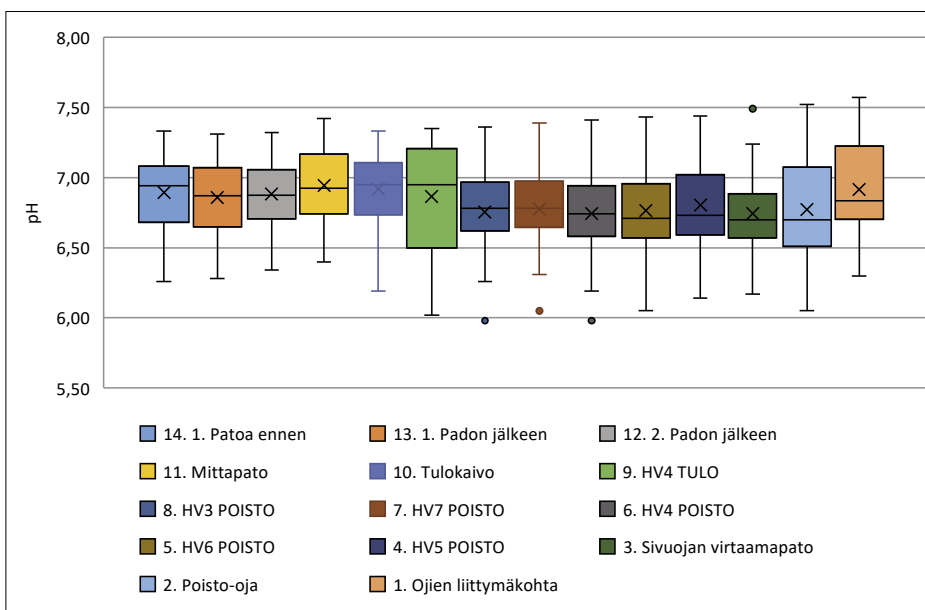
HULEVEDEN HAPPAMUUS

Happamuuden jatkuvatoimisesti mitatuista tuloksista vuodelta 2021 (kuva 14) nähdään keskimäärin noin 0,3 pH-yksikön muutos tulo- ja poistoveden välillä. Tulevassa vedessä pH on keskimäärin noin 7,1 ja poistuvassa vedessä 6,8. Selkeämpi eroavaisuus havaitaan lokakuun puolessa välissä alkaneiden vesisateiden myötä. Vuoden 2021 mittauksen osalta jatkuvatoimisen ja kenttämitatun arvon välillä on pieniä eroavaisuuksia. Laitevalmistajan antama mittavirhe pH-anturille on $\pm 0,2$ pH-yksikköä, joka voi selittää osan erosta. pH-anturit ovat myös kuluvia mittalaitteita, joten on mahdollista, että jatkuvatoimisten mittareiden eroavaisuus lokakuusta 2021 eteenpäin johtuu tulevan veden mitta-anturin käyttöänsä päättymisestä (YSI 2020).



Kuva 14. Pitkäjärven suodatinjärjestelmän 19.8.–16.11.2021 jatkuvatoimisesti mitatun happamuuden (pH) päivittäiset keskiarvot sekä sademäärän summa (Ilmatieteen laitos, Mikkelin lentoaseman havaintopiste).

Molempien vuosien kenttämitatuissa arvoissa (kuva 15) tulos on samansuuntainen kuin vuonna 2021 jatkuvatoimisesti mitatuissa. Tulevassa vedessä (piste 14) pH on noin 6,9, kun taas poistuvassa vedessä (piste 2) pH on 6,7. Vaikka pH-arvoissa ei havaita merkittäviä eroja pisteiden välillä, happamuus on tärkeä vedenlaadullinen parametri.



Kuva 15. Pitkäjärven suodatinjärjestelmän 14 pisteen kenttämitatun pH-arvon ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elo–marraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Mittauskertoja oli 27 kappaletta.

Luonnonvesien pH on Suomessa pääasiallisesti noin 6,5–6,8 (Oravainen 1999, 12). Huleveden happamuudella on merkitystä esimerkiksi sen sisältämien metallien liukoisuuteen, ja monet metallit muuttuvat liukoisemmiksi ja sen myötä myös haitallisemmiksi happamissa oloissa (Airola ym. 2014, 12). Happamuuden (pH-arvon) vaikutusta sedimentissä esiintyvien metallien liukoisuuteen on havainnollistettu taulukossa 13.

Taulukko 13. Metallien liukoisuuteen vaikuttavat pH-arvot (Peng ym. 2009, Luukkonen 2017 mukaan).

Metalli	pH-raja-arvo ^a
sinkki (Zn)	6,0–6,5
kadmium (Cd)	6,0
nikkeli (Ni)	5,0–6,0
arseeni (As)	5,5–6,5
kupari (Cu)	4,5
lyijy (Pb)	4,0
alumiini (Al)	2,5
rauta (Fe)	2,5

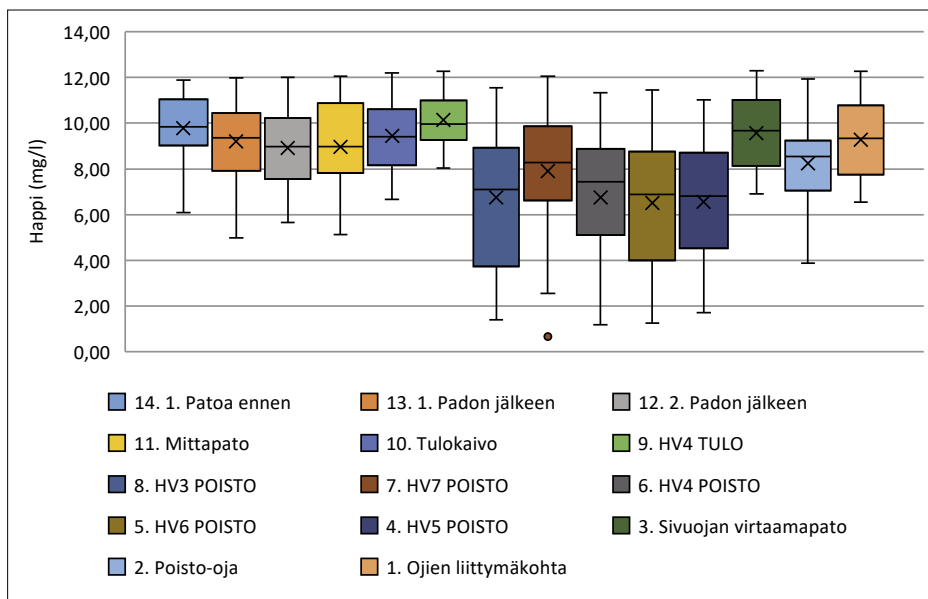
^a Raja-arvon alittuessa metallit liukenevat.

Pienetkin muutokset happamuudessa voivat vaikuttaa metallien liukoisuuteen. Pitkäjärven suodatinjärjestelmän mittauspisteiden pH:n keskiarvot ovat yli 6,5, mutta ajoittain pH-arvo on ollut alle 6,5. Metalleista esimerkiksi sinkki ja arseeni voivat muuttua liukoiksi pH:n ollessa alle 6,5. Suuret muutokset pH-arvossa voivat viitata esimerkiksi jätevesipäästöihin tai muihin vesistöympäristölle vahingollisiin muutoksiin.

HULEVEDEN HAPPIPITOISUUS

Jatkuvatoimisissa mittareissa ei ollut happianturia, joten molempina vuosina kohteen happipitoisuuksia seurattiin pelkästään kenttämittarin avulla.

Molempien vuosien tuloksista (kuva 16) nähdään tulevan veden (piste 14) keskiarvon olevan noin 9,8 mg/l ja poistuvan veden (piste 2) 8,2 mg/l. Hiilikaivoissa (pisteet 8, 6, 5 ja 4) nähdään kohteen alhaisimmat tulokset, noin 6,5 mg/l. Sepelikaivossa sen sijaan arvo on keskimäärin noin 7,9 mg/l. Hiilikaivojen alhaiset tulokset johtuvat todennäköisesti niiden vähäisestä virtaamasta.



Kuva 16. Pitkäjärven suodatinjärjestelmän 14 pisteen kenttämitatun liukoisin hapon (mg/l) ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elomarraskuu 2021 ja touko-lokakuu 2022. Mittauskertoja 27 kappaletta.

On mahdollista, että järjestelmässä tapahtuu happea kuluttavia prosesseja, kuten mikrobitoimintaa, mutta tarkkaa syytä happipitoisuuden vähenemiseen on vaikea sanoa tulosten perusteella. On mahdollista, että tukkeutuneiden suodatinmateriaalien vuoksi vesi jää seisomaan järjestelmään ja veden sisältämät orgaaniset yhdisteet tai mikrobit kuluttavat vedessä olevaa happea.

YHTEENVETO

Taulukossa on 14 on esitetty yhteenvedona Pitkäjärven tutkimusympäristössä tapahtuva huleveden laadullinen muutos. Taulukkoon on merkitty kunkin muuttujan kohdalla havaintojen lukumäärä sekä tulevan veden laadullinen parametri. Kyseistä parametria on jäljempänä verrattu järjestelmän tulopuolella olevien suotopatojen jälkeen otettujen mittausten tai näytteenoton/analyysien tuloksiin sekä järjestelmän jälkeen otettujen mittausten ja näytteenoton/analyysien tuloksiin.

Taulukko 14. Pitkäjärven tutkimusympäristössä tapahtuvien huleveden laadullisten muutosten keskiarvot järjestelmän eri kohdissa.

Parametri	Havainnot kpl	Tuleva vesi	Suotopatojen jälkeen	Järjestelmän jälkeen
kokonaistyyppi (µg/l)	9	912	920	911
NO₃- ja NO₂- summa (µg/l)	9	687	689	617
kokonaisfosfori (µg/l)	3	12,3	11,3	7,3
fosfaattifosfori (µg/l)	3	6,3	5,3	5,3
rauta (µg/l)	3	2 403	1 888	1 542
alumiini (µg/l)	3	96	80	60
sameus kenttämittaus (FNU)	27	7,6	6,1	4,2
kiintoaine (µg/l)	19	2 730	2 108	1 848
sähkönjohtokyky kenttämittaus (µS/cm)	27	286	279	271
kloridi (µg/l)	5	39 740	39 700	34 880

Taulukosta voidaan havaita, että monien muuttujien kohdalla jo suotopadot vaikuttavat veden laatuun. Tämä johtuu niiden veden virtausnopeutta hidastavasta vaikutuksesta sekä veden suotautumisesta patorakenteiden läpi. Virtauksen hidastuessa esimerkiksi kiintoaine ja siihen sitoutuneena olevat eri yhdisteet ja alkuaineet laskeutuvat suotopatojen eteen kaivettujen lietekuoppien pohjalle. Samasta syystä myös sameusarvo laskee vastaavasti. Lietekuoppien täyttymistä on tarkkailtava, sillä niiden ollessa liian täysiä voivat kiintoaine ja siihen sitoutuneena olevat epäpuhtaudet lähteä liikkeelle rankan sateen ja suurien hulevesivirtaamien aikana. Tarkastelemalla vielä muutoksia prosentteina nähdään järjestelmän vaikutus huleveden laatuun (taulukko 15).

Taulukko 15. Huleveden laadulliset muutokset prosentteina. Viimeinen sarake (tuleva-järjestelmä) kuvaa järjestelmän poiston muutosta verrattuna vedenlaatuun tulevasta vedestä eli kokonaisvaikutusta.

Parametri	Tuleva vesi	Muutos tuleva-suotopato	Muutos suotopato-järjestelmä	Muutos tuleva-järjestelmä
kokonaistyyppi (µg/l)	912	1 %	-1 %	0 %
NO₃- ja NO₂-summa (µg/l)	687	0 %	-10 %	-10 %
kokonaisfosfori (µg/l)	12,3	-8 %	-35 %	-41 %
fosfaattifosfori (µg/l)	6,3	-16 %	0 %	-16 %
rauta (µg/l)	2 403	-21 %	-18 %	-36 %
alumiini (µg/l)	96	-17 %	-25 %	-38 %
sameus kenttämittaus (FNU)	7,6	-20 %	-31 %	-45 %
kiintoaine (µg/l)	2 730	-23 %	-12 %	-32 %
sähkönjohtokyky kenttämittaus (µS/cm)	286	-2 %	-3 %	-5 %
kloridi (µg/l)	39 740	0 %	-12 %	-12 %

Kokonaistypen osalta padoilla tai muillakaan järjestelmien osilla ei vaikuttaisi olevan merkitystä veden laatuun, sillä analyysien perusteella typen pitoisuus vaikuttaisi säilyvän ennallaan. Järjestelmä vaikuttaisi kuitenkin pidättävän liukoisessa muodossa olevaa tyyppiä. Tämä voi johtua neljässä suodatinkaivossa olevista biohiilistä. Kokonaisfosforin osalta järjestelmässä tapahtuu selvä muutos, sillä sen määrä vähenee noin 41 prosenttia. Kokonaisfosforin pitoisuudet ovat kuitenkin matalia jo tulevassa vedessä, eli määrällisesti muutos ei ole suuri. Myös raudan ja alumiinin osalta on havaittavissa niiden pidättäytymistä järjestelmässä. Raudan pitoisuus vedessä vähenee jo suotopatojen ansiosta hieman yli 20 prosenttia ja edelleen järjestelmän muissa osissa noin 18 prosenttia. Kokonaisvaikutus raudan vähentymiselle on noin 36 prosenttia verrattaessa järjestelmän poistoa tulevaan veteen ennen suotopatoja. Alumiinin määrä vähenee järjestelmässä noin 38 prosenttia.

Kiintoaineessa havaitaan suurin muutos suotopadoissa (23 %), joiden jälkeen myös järjestelmä vähentää kiintoaineksen määrää (12 %). Kokonaisvaikutus on noin 32 prosentin vähenemä. Sähkönjohtokyvyssä havaitaan vain pieni muutos koko järjestelmässä. Suotopadoilla ei vaikuttaisi olevan vaikutusta kloridipitoisuuksiin, mutta järjestelmässä kloridipitoisuus on laskenut noin 12 prosenttia.

Hula-hankkeen aikana tehdyillä havainnoilla järjestelmällä on ollut huleveden laatua parantava vaikutus. Jo pelkillä suotopadoilla ja niiden välisillä laskeutusaltailla on ollut vettä parantava vaikutus, joka jatkuu järjestelmässä veden kulkiessa suodatinmateriaalien läpi. Tuloksia voitaisiin kuitenkin vielä parantaa vaihtamalla selkeästi tukkeutuneet suodatinmateriaalit uusiin. Suodatinmateriaalit ovat olleet käytössä keväästä 2019 lähtien, jolloin niihin on kertynyt merkittäviä määriä kiintoainetta sekä esimerkiksi vedestä poistuneita haitta-aineita. Suodatinmateriaalit vaihtamalla myös niiden läpi virtaavaa vesimäärää saadaan kasvatettua, jolloin suurempi osa tulevasta vedestä voidaan johtaa järjestelmään. Tällöin huleveden puhdistustehokkuus kasvaa entisestään.

Suodatinmateriaalien vaihtamisen lisäksi myös suotopatoihin ja järjestelmän eri kohtiin sedimentoitunutta materiaalia tulisi puhdistaa ja ruopata. Kuten suodatinmateriaaleja, ei myöskään patojen välisiä altaita ole huollettu sitten niiden rakentamisen vuonna 2019. Altaisiin on todennäköisesti sedimentoinut jo merkittäviä määriä kiintoainetta ja sen mukana haitta-aineita. On mahdollista, että altaiden täyttyessä liikaa niistä alkaa irrota hulevesitahtumien aikana materiaaleja takaisin veteen, jolloin niiden tekemä puhdistustyö on ollut turhaa. Myös itse patoja olisi hyvä korjata, koska vesimassojen liikkeiden mukana rakenteet voivat madaltua ja vaurioitua, jolloin vesi ei enää suotaudu patojen läpi.

Pitkäjärven hulevesijärjestelmän vaikutusta tulevan huleveden laatuun on tarkasteltu Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulun eri hankkeissa jo vuodesta 2019 lähtien eli neljän vuoden ajan. Tehdyn monitoroinnin avulla alueella liikkuvista hulevesistä ja niiden laadusta on saatu runsaasti tietoa, ja Hula-hankkeen aikana tehty jatkuvatoiminen virtaamamittaus lisää tietoa entisestään. Kerättyä tietoa voidaan käyttää apuna esimerkiksi tarkentamaan mallinnuksia, jolloin kokonaiskuva Mikkelin alueen hulevesistä paranee.

LÄHTEET

Hulevesiopas. 2012. Suomen kuntaliitto. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BE524727D-9C28-494C-84DC-EE3AD26E45F9%7D/115796> [viitattu 2.11.2022].

Luukkonen, T. 2017. Kaivosvesien muuttamien vesistöjen kunnostaminen – uudet kokeelliset menetelmät. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Kirjallisuuskatsaus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.syke.fi/download/noname/%7B43501B10-1461-4D77-B9D7-9E3B8C3E51C9%7D/149343> [viitattu 8.11.2022].

Mykkänen, A. 2021. Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö. Xamk kehittää 161. Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Oravainen, R. 1999. Vesistötulosten tulkinta – opasvihkonen. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. Saatavissa: <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf> [viitattu 1.11.2022].

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

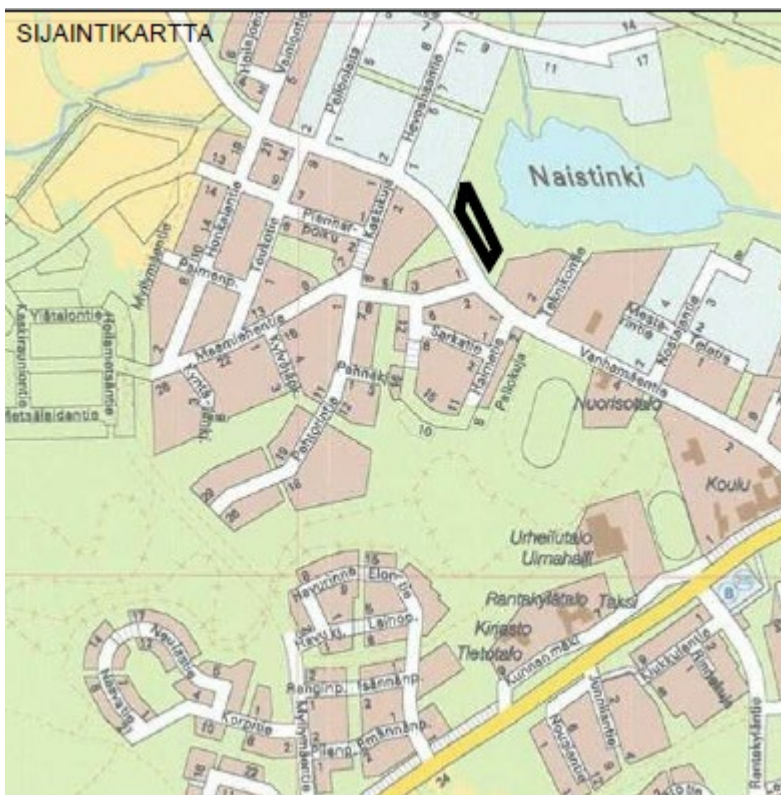
Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 2016. Raportti 25/2016. Hulevesien häirta-aineet – Kuormitusriski Vantaanjoen vesistölle?

YSI. 2020. EXO User Manual – Advanced water quality monitoring platform, ITEM#-603789REF, REVISION K. [viitattu 12.10.2022].

NAISTINGIN HULEVESIKOSTEIKKO – KOHDEKUVAUS JA MONITOROINTIKEINOT

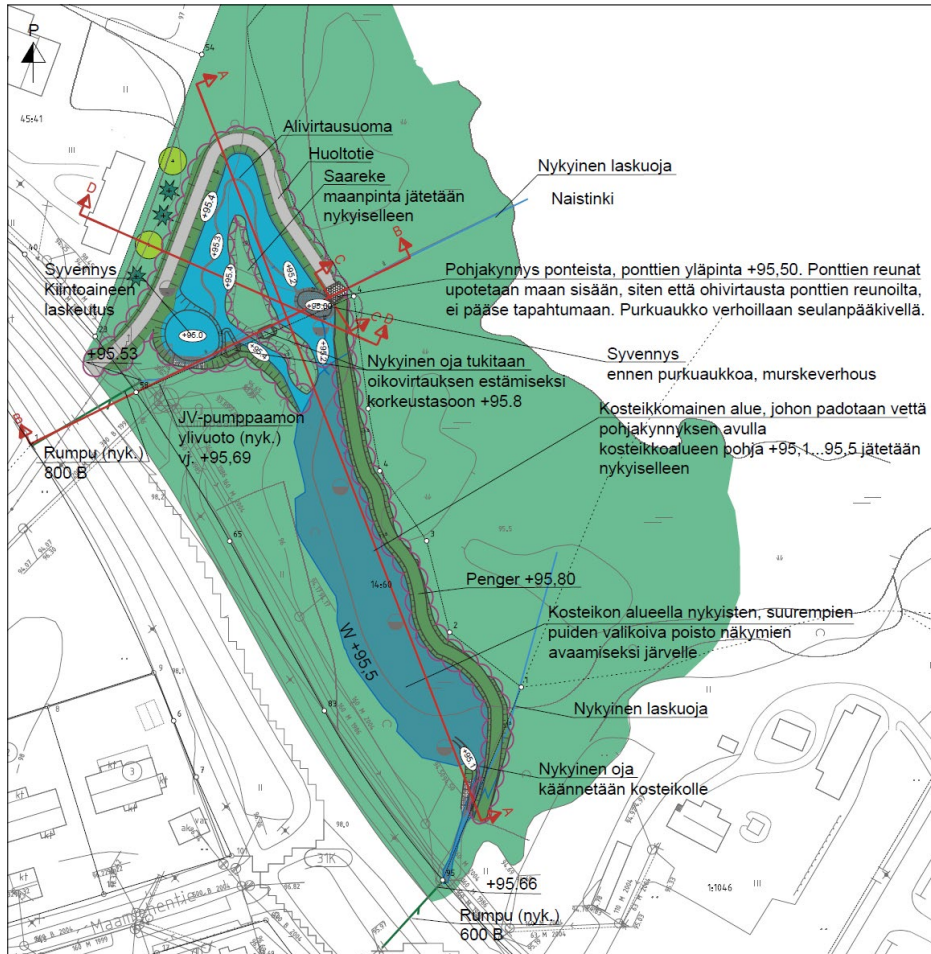
Tuija Ranta-Korhonen & Aki Mykkänen & Marleena Tirkkonen

Mikkelin Rantakylään rakennettiin talven 2020–2021 aikana hulevesikosteikko, jonka tarkoituksena on käsitellä Rantakylän asuin- ja julkisten palvelujen alueella syntyviä hulevesiä, ja samalla parantaa Naistingin lammen vedenlaatua. Naistingin lampi on alueellisesti merkittävä lintujen pesimis- ja levähdyspaikka, joka on muun muassa hulevesien mukanaan tuoman kiintoaineen ja ravinteiden vaikutuksesta kasvanut hiljalleen umpeen. Hulevesikosteikon perustamisen jälkeen Naistingin lammen ympäristössä on tehty vuoden 2022 aikana lisäkunnostusta ja rakennettu muun muassa lietekuoppia. Naistingin hulevesikosteikon sijainti ja sen ympäristö on esitetty kuvassa 1 olevassa kartassa.



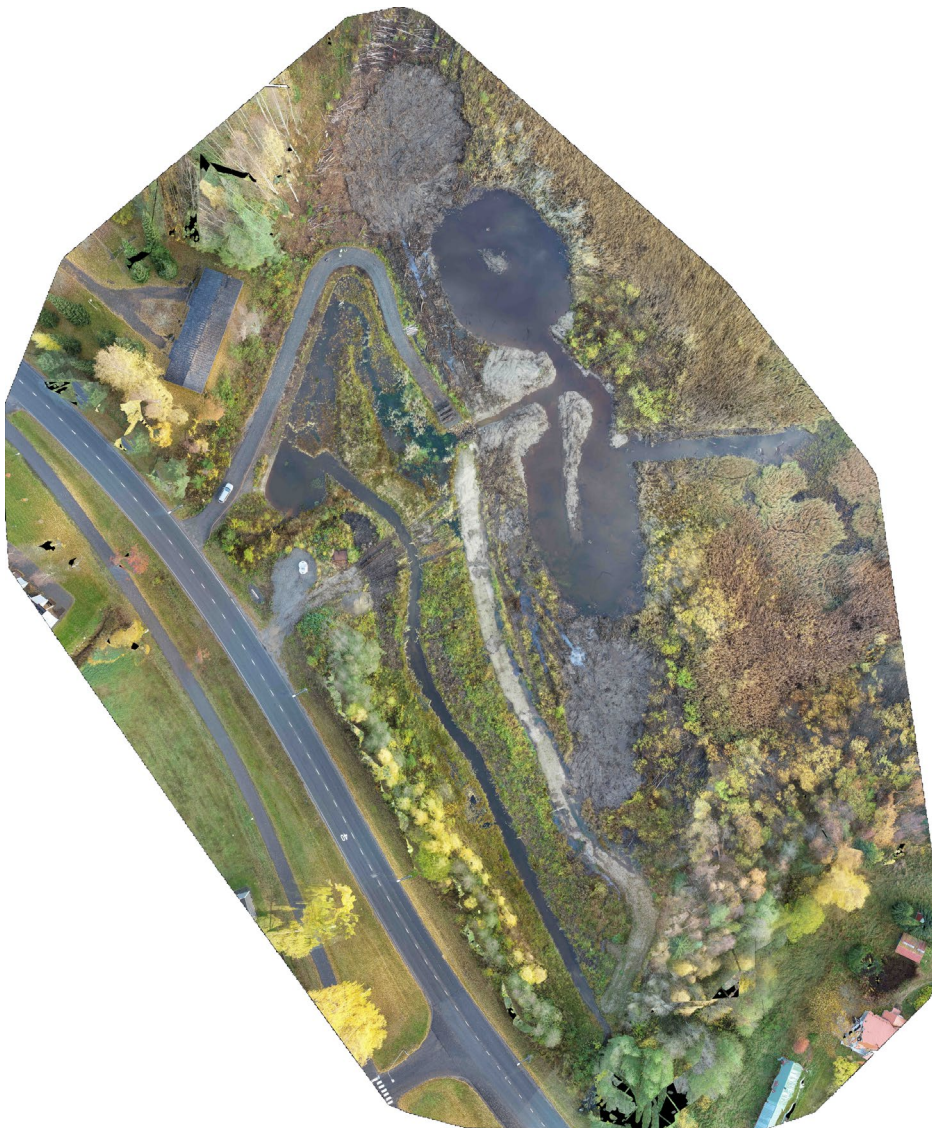
Kuva 1. Naistingin hulevesikosteikon sijainti Mikkelin Rantakylän alueen kaupunkirakenteessa. Altaan sijainti on merkitty karttaan mustalla suunnikkaalla (kuva: Ramboll Oy, Mikkelin kaupunki).

Itse hulevesikosteikossa on kaksi tuloreittiä, joista toinen on käytössä lähinnä ylivalunta-tilanteessa. Kosteikossa veden virtausreitti on polveileva, ja sen varrella kosteikon syvyys vaihtelee. Veden virratessa kosteikon läpi ja virtausnopeuden hidastuessa laskeutuu huleveden sisältämä sedimentti rakenteen pohjalle. Kohteen suunnitelma on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Naistingin hulevesikosteikon suunnitelmakartta (kuva: Ramboll Oy/ Mikkelin kaupunki).

Kohde on melko vastikään rakennettu, ja lisäksi siellä on tehty korjaustöitä syksyllä 2022. Tästä johtuen kohteen ulkoasu tulee muuttumaan vielä huomattavasti kasvillisuuden lisääntyessä. Kohteesta tulee todennäköisesti ajan myötä syntymään monipuolinen elinympäristö hyönteisille ja muille eliöille. Droonilla lokakuussa 2022 otetussa ilmakuvassa (kuva 3) näkyy kosteikon tämänhetkinen tilanne.



Kuva 3. Lokakuussa 2022 droonilla otettu ilmakeku Naistingin hulevesikosteikosta (kuva: Juha Vihavainen).

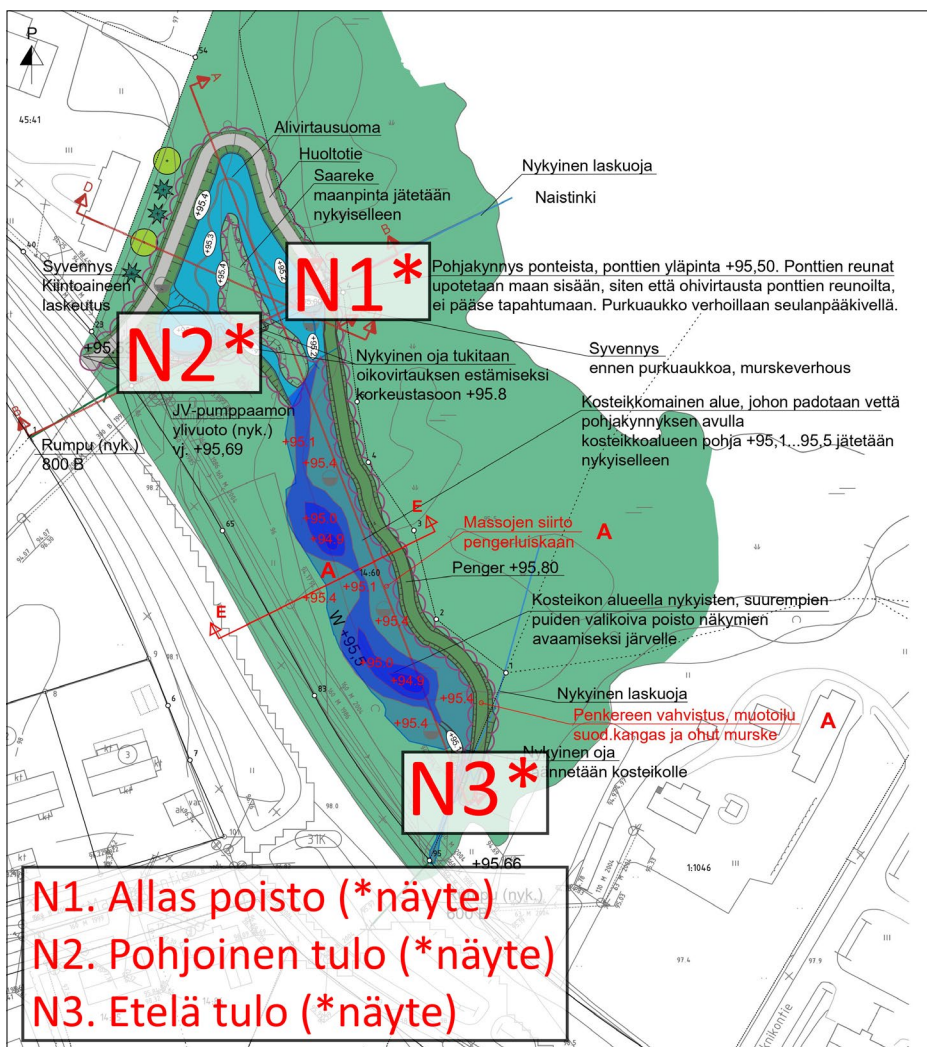
Kuvassa on varsinaisen kosteikon oikealla puolella (yläoikealla) nähtävillä syksyllä 2022 kaivetut lietekuopat. Kuvassa vaaleana luikerteleva kosteikon reunapenger aiheutti Hula-hankkeen monitoroinnille jonkin verran haasteita. Keväällä 2022 lumien sulamisen yhteydessä havaittiin, että pengeri oli painunut ja sulamisvedet virtasivat sen yli rikkoen samalla pengertä. Pengertä korjattiin syyskesällä 2022. Penkereen vahingoittumisen vuoksi kohteeseen ei voitu sijoittaa suunniteltua virtaamamittauspistettä, sillä yksittäisen virtaamapisteen määrittäminen oli mahdotonta. Penkereen rikkoutuminen vaikutti myös hankkeen

näytteenottoon, sillä rikkoutumisen vuoksi ei nähty tarkoituksenmukaiseksi ottaa kohteesta useampaa vesinäytettä, vaan näytteitä otettiin ainoastaan kosteikkoon tulevasta vedestä kosteikon eteläpäästä. Penkereen korjaustöiden jälkeen näytteitä otettiin myös kosteikon poistopuolelta.

Hula-hankkeessa Naistingin hulevesikosteikolla oli kolme mittaus- ja näytteenottopistettä (taulukko 1 ja kuva 4). Vuonna 2021 kohteessa suoritettiin yksi näytteenotto marraskuussa 2021. Kohteen reunuspenkereen rikkoutumisen vuoksi näytteitä otettiin monitorointikauden 2022 aluksi ainoastaan pisteestä N3 eli eteläisen tulon vedestä. Penkereen korjauksen jälkeen näytteitä otettiin myös järjestelmän poistosta, pisteestä N1 tai pisteen välittömästä läheisyydestä ennen pohjapatoa. Kenttäkäyntejä kohteessa tehtiin viikoittain. Kenttäkäynneillä mitattiin vedenlaatua kenttämittarilla sekä otettiin vesinäytteitä, joista määritettiin kiintoaine Xamkin ympäristölaboratoriossa. Muiden parametrien osalta näytteenottoa tehtiin harvemmin ja näytteet analysoitiin ALS Finland Oy:n laboratoriossa. Analysoitavia parametrejä olivat muun muassa metallit (kokonais ja liukoinen), ravinteet P ja N (kokonais ja liukoinen), kloridi, TOC/DOC sekä öljyhiilivedyt (C10-C40). Kaikkia parametrejä ei määritetty jokaisella näytteenottokerralla.

Taulukko 1. Naistingin hulevesikosteikon käytetyt vedenlaadun tutkimuspisteet. **(N)**-merkillä varustetut pisteet olivat myös näytteenottopisteitä.

Tutkimuspiste	Kuvaus
N1 (N)	Kosteikon poiston vedenlaatu.
N2 (N)	Kosteikon pohjoisen tulon vedenlaatu.
N3 (N)	Kosteikon eteläisen tulon vedenlaatu.



Kuva 4. Näytteenottopisteet kohteessa (kuva: Ramboll Oy/Mikkelin kaupunki, muokkaukset: Aki Mykkänen).

YHTEENVETO

Kohteeseen tehtiin kenttäkäyntejä ja suoritettiin vedenlaadun kenttämittauksia viikoittain. Ensimmäinen kenttäkäynti oli syyskuun lopussa 2021, ja monitorointia jatkettiin marraskuun puoliväliin. Keväällä 2022 monitorointi aloitettiin huhtikuun lopussa, jolloin lumien sulaminen oli vielä kesken. Mittausten ja näytteenoton tulokset on esitelty toisaalla tässä julkaisussa.

NAISTINGIN HULEVESI-KOSTEIKKO – MONITOROINNIN TULOKSET

Aki Mykkänen & Marleena Tirkkonen & Tuija Ranta-Korhonen
& Anssi Göös

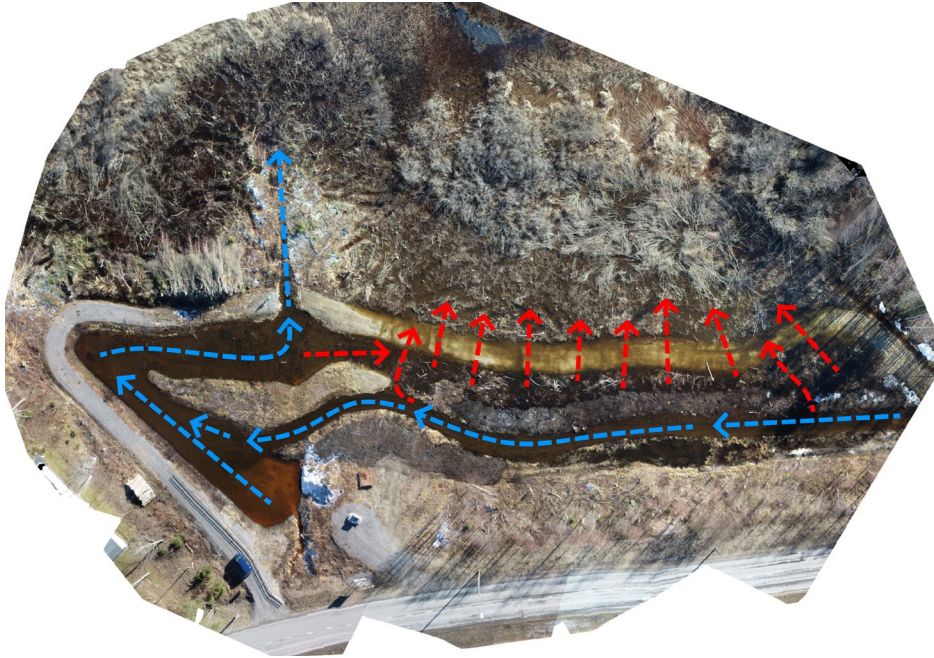
Naistingin hulevesikosteikon kohdekuvaus ja kohteessa tehdyt tutkimukset on käsitelty tämän julkaisun edeltävässä artikkelissa ”Naistingin hulevesikosteikko – kohdekuvaus ja monitorointikeinot”. Tässä artikkelissa kuvaillaan tarkemmin kohteessa tehtyä monitorointia ja sen tuloksia. Naistingin hulevesikosteikolla ei päästy tekemään suunniteltuja tutkimuksia rakenteen vioittumisen vuoksi, mutta kohteessa tehtiin kenttämittauksia sekä otettiin näytteitä alkuperäistä monitorointisuunnitelmaa pienemmässä mittakaavassa.

Kohdetta monitoroitiin pääasiallisesti kenttämittausten sekä rakenteeseen tulevasta vedestä otettujen kiintoainenyytteiden avulla. Kenttämittauksia ProDSS-kenttämittarilla tehtiin viikoittain elo–marraskuussa 2021 sekä touko–lokakuussa 2022. Lisäksi kohteeseen tulevasta vedestä otettiin viikoittain vesinäyte, josta määritettiin kiintoainepitoisuus. Kohteesta otettiin myös vesinäytteitä, joista määritettiin vaihtelevat muuttujat ALS Finland Oy:n laboratoriossa.

RAKENTEIDEN VAURIOITUMINEN

Naistingin hulevesikosteikkoa oli alkuperäisen suunnitelman mukaan tarkoitus monitoroida vuoden 2022 kenttäkauden aikana kenttämittausten ja kolmesta eri pisteestä tehtyjen näytteenottojen avulla. Lisäksi kohteen poisto-ojaan oli suunniteltu jatkuvatoimista virtaamamittausta. Kuitenkin lumien sulaessa keväällä 2022 havaittiin kosteikon rakenteiden, erityisesti sen reunavallin vahingoittuneen talven ja kevään aikana todennäköisesti lumen painon, routimisen ja runsaiden sulamisvesien vaikutuksesta. Tästä johtuen vesi poistui kosteikoista sen reunavalliin tulleiden sortumien kautta eikä suunnitellusti poisto-ojan kautta. Poisto-ojan läheisyydessä oli myös tehty metsätöitä, ja oja oli vahingoittunut ja tukkeutunut töiden aikana. Nämä vauriot ja muutokset muokkasivat järjestelmän virtaamia ja virtaussuuntia niin, että vesi ei enää kulkenut suunniteltua reittiä pitkin. Lisäksi on mahdollista, että kun Naistinginlammen vedenpinta oli keväällä korkealla, lammesta tuli myös takaisvirtaamaa kosteikkoon. Kuvassa 1 on havainnoitu veden virtaamareittejä. Rakenteelle tulleista vaurioista johtuen kosteikosta päädyttiin ottamaan laboratoriossa analysoitavia vesinäytteitä ainoastaan eteläisen tuloputken (N3) kautta tulevasta vedestä

sekä havainnoimaan rakenteessa tapahtuvia muutoksia kenttämittauksin. Näytteenottoja pohjoisesta tuloputkesta (N2) ei nähty mielekkäiksi, koska putki laskee suoraan kosteikkoon, jolloin pelkästään putkesta tulevaa vettä ei saatu eriteltyä.



Kuva 1. Dronella 29.4.2022 otettu ilmakuva kohteesta. Sinisillä nuolilla reitti, jota pitkin vesi kulkisi suunnitelman mukaan. Punaisilla nuolilla kohdat, joista rakenteiden sortumisen myötä vesi pääsee virtamaan (kuva: Juha Vihavainen, muokkaukset: Aki Mykkänen).

Rakenteen vaurioitumisen myötä myös kohteeseen suunniteltu jatkuvatoiminen virtaamamittaus poisto-ojasta jouduttiin perumaan. Virtaamamittausta ei voitu tehdä myöskään kosteikon tulopuolelta, koska kosteikkoon tulee vettä kahden eri purkupisteen kautta. Koska kosteikon korjaustyöt voitiin toteuttaa vasta syyskuussa 2022 ja Hula-hanke päättyi marraskuun lopussa 2022, ei tarkempi tutkimus korjaustöiden jälkeenkään ollut enää aikataulullisesti mahdollista. Välittömästi korjaustöiden jälkeen yritettiin suorittaa tarkempaa näytteenottoa. Koska kosteikon vesi oli vielä selkeästi sameaa korjaustöiden aikaisen maamassojen siirron ja kaivutöiden jäljiltä, ei näytteenottoa tästä syystä pidetty järkevänä. Korjaustöiden jälkeen tehdyn silmämääräisen tarkastelun perusteella vesi kuitenkin vaikuttaisi virtaavan suunnitellun mukaisesti (kuva 2).



Kuva 2. Dronella 12.10.2022 otettu ilmakuva kohteesta kosteikon korjaustöiden jälkeen. Sinisillä nuolilla reitti, jota pitkin vesi kulkee suunnitellun mukaisesti. Merkittynä myös pisteet N3 – etelä tulo sekä N2 – pohjoinen tulo (kuva: Juha Vihavainen, muokkaukset: Aki Mykkänen).

Vaikka kosteikon vaurioituminen esti suunnitelman mukaisen monitorointityöskentelyn, saatiin kohteeseen tulevista vesistä kuitenkin kerättyä paljon tietoa.

HULEVEDEN TYPPIPITOISUUS

Hulevesikosteikolta otettiin typpinäytteitä yhdeksän kertaa eteläisestä tulosta (N3), keran pohjoisesta tulosta (N2) ja kolme kertaa poistosta (N1). Typpinäytteistä analysoitiin kokonaistyyppi sekä nitriitti- ja nitraattitypen summa. Kaikki näytteet analysoitiin ALS Finland Oy:n laboratoriossa. Taulukossa 1 on esitetty typpinäytteiden analyysien tulokset näytepisteittäin. Hulevesikosteikon poistopuolelta otettujen näytteiden vähäisyyden vuoksi johtopäätöskien tekeminen typen muutoksista on hankalaa. Kahden viimeisimmän näytteenoton perusteella kokonaistypen sekä nitriitti- ja nitraattitypen pitoisuudet pääosin vähenevät hulevesikosteikolla.

Taulukko 1. Kaikki Naistingin kohteesta havaitut kokonaistypen ja nitriitti- ja nitraattitypen summan tulokset ($\mu\text{g/l}$) sekä pisteiden keskiarvot ja keskihajonnat.

	N3 – eteläinen tulo		N2 – pohjoinen tulo		N1 – poisto	
	Kokonaistyyppi	Nitraatti- ja nitriittitypen summa	Kokonaistyyppi	Nitraatti- ja nitriittitypen summa	Kokonaistyyppi	Nitraatti- ja nitriittitypen summa
10.11.2021	1 000	800	350	81	260	12
3.5.2022	1 100	850	-	-	-	-
17.5.2022	910	800	-	-	-	-
7.6.2022	990	760	-	-	-	-
28.6.2022	970	880	-	-	-	-
3.8.2022	1000	960	-	-	-	-
31.8.2022	930	790	-	-	-	-
27.9.2022	770	650	-	-	510	300
17.10.2022	460	170	-	-	360	170
Keskiarvo	903	740	-	-	377	161
Keskihajonta	189	230	-	-	126	144

Suomessa ei ole kansallisesti määritettyjä raja-arvoja hulevesien sisältämien yhdisteiden ja haitta-aineiden pitoisuuksille. Suomalaisissa hulevesitutkimuksissa sovelletaankin laajalti Tukholman läänin raja-arvoja. Kaikkien näytteiden osalta kokonaistyyppipitoisuudet jäivät selvästi alle Tukholman läänin alimman raja-arvon ($2\ 000\ \mu\text{g/l}$). Tukholman läänin raja-arvoissa ei ole erikseen määritetty raja-arvoja nitriitti- tai nitraattitypelle. (Riktvärdesgruppen 2009, 11.)

HULEVEDEN FOSFORIPITOISUUS

Huleveden fosforipitoisuutta tarkasteltiin eteläisen tulon (N3) osalta seitsemän eri näytteenottokerran, pohjoisen tulon (N2) osalta yhden näytteenottokerran ja poiston (N1) osalta kolmen näytteenottokerran verran vuosina 2021–2022. Valitettavasti ensimmäisten neljän näytteenoton osalta käytössä oli analyysimenetelmä, joka soveltuu likaisemmille vesille. Tällöin pieniä, alle $50\ \mu\text{g/l}$ muutoksia ei saatu havaittua, vaan näytteiden pitoisuudet jäivät alle käytetyn menetelmän määritysrajan. Analyysimenetelmää vaihdettiin niin, että sen avulla voitiin havaita pienempiä pitoisuuksia, ja kyseisellä menetelmällä analysoitiin vielä kolmen näytteenoton näytteet eteläisestä tulosta (N3) ja kahden näytteenoton näytteet kosteikon poistosta (N1). Kaikki näytteet lähetettiin analysoitavaksi ALS Finland Oy:lle. Taulukossa 2 on esitetty eteläisen tulon ja poiston kokonais- ja fosfaattifosforin pitoisuudet kolmelta viimeiseltä näytteenottokerralta.

Taulukko 2. Kolmen viimeisimmän fosforinäytteenoton tulokset ($\mu\text{g/l}$) sekä niiden keskiarvo ja keskihajonta.

	N3 – eteläinen tulo		N1 – poisto	
	Kokonaisfosfori	Fosfaattifosfori	Kokonaisfosfori	Fosfaattifosfori
31.8.2022	5	5	-	-
27.9.2022	8	6	12	7
17.10.2022	59	31	42	20
Keskiarvo	24	14	27	14
Keskihajonta	30	15	21	9

Naistingin hulevesikosteikon kokonais- ja fosfaattifosforin pitoisuudet ovat hyvin matalat sekä tulevassa että poistuvassa vedessä. Pitoisuudet jäävät selvästi alle Tukholman läänin alimman raja-arvon ($160 \mu\text{g/l}$). Matalien pitoisuuksien ja analyysimenetelmän vaihdon jälkeisten näytteenottojen vähäisen määrän takia ei kosteikon vaikutuksesta fosforipitoisuuden muutoksiin voida sanoa mitään varmaa.

HULEVEDEN METALLIPITOISUUS

Kohteen metallipitoisuuksia tarkasteltiin sekä metallien kokonais- että liukoisina pitoisuuksina. Näytteitä otettiin kolme kertaa eteläisestä tulosta (N3) sekä kerran pohjoisesta tulosta (N2) ja poistosta (N1). Näytteet lähetettiin analysoitavaksi ALS Finland Oy:lle. Taulukossa 3 on esitetty näytteenoton tulosten keskiarvot.

Taulukko 3. Analysoitujen näytteiden metallipitoisuuksien keskiarvot ($\mu\text{g/l}$) näytteenotuspisteittäin. Pisteestä N3 esitetty arvo on kolmen näytteenoton keskiarvo, pisteistä N1 ja N2 yhden näytteenoton tulos.

Analyysi		N3 – eteläinen tulo (3 näytteen ka.)	N2 – pohjoinen tulo (1 näyte)	N1 – poisto (1 näyte)
antimoni, Sb	kok.	<1,0	<1,0	<1,0
	liuk.	0,19	<0,050	<0,050
alumiini, Al	kok.	502	81,1	19,7
	liuk.	88	8,1	<5,0
arseeni, As	kok.	<1,0	<1,0	<1,0
	liuk.	<1,0	<1,00	<1,00
elohopea, Hg	kok.	<0,020	<0,020	<0,020
	liuk.	<0,0050	<0,0050	<0,0050
kadmium, Cd	kok.	<0,20	<0,20	<0,20
	liuk.	0,04	0,02	0,04

Analyysi		N3 – eteläinen tulo (3 näytteen ka.)	N2 – pohjoinen tulo (1 näyte)	N1 – poisto (1 näyte)
koboltti, Co	kok.	<0,50	1,26	<0,50
	liuk.	<0,50	1,15	<0,50
kromi, Cr	kok.	6,1	<5,0	<5,0
	liuk.	0,479	<0,200	0,201
kupari, Cu	kok.	5,6	<1,0	2,2
	liuk.	4,3	<1,0	2,2
lyijy, Pb	kok.	<1,0	<1,0	<1,0
	liuk.	<0,500	<0,500	<0,500
nikkeli, Ni	kok.	7,1	<3,0	7,6
	liuk.	6,6	2,3	7,39
rauta, Fe	kok.	1497	4180	506
	liuk.	177	7	62,2
sinkki, Zn	kok.	19,9	37,6	13,6
	liuk.	12	8	8
vanadiini, V	kok.	<5,0	<5,0	<5,0
	liuk.	<1,0	<1,0	<1,0

< = alle ainekohtaisen määritysrajan

Metallipitoisuuksien muutoksesta hulevesikosteikolla on vaikea tehdä johtopäätöksiä, sillä kosteikon poistosta otettiin vain yksi näyte. Eteläisen tulon (N3) kolmen näytteenoton keskiarvoissa ei myöskään havaita erityisen poikkeavia arvoja. Verratessa analysoitujen näytteiden metallipitoisuuksia Tukholma läänin raja-arvoihin havaitaan kaikkien metallipitoisuuksien jäävän alemman ohjearvon alapuolelle (taulukko 4).

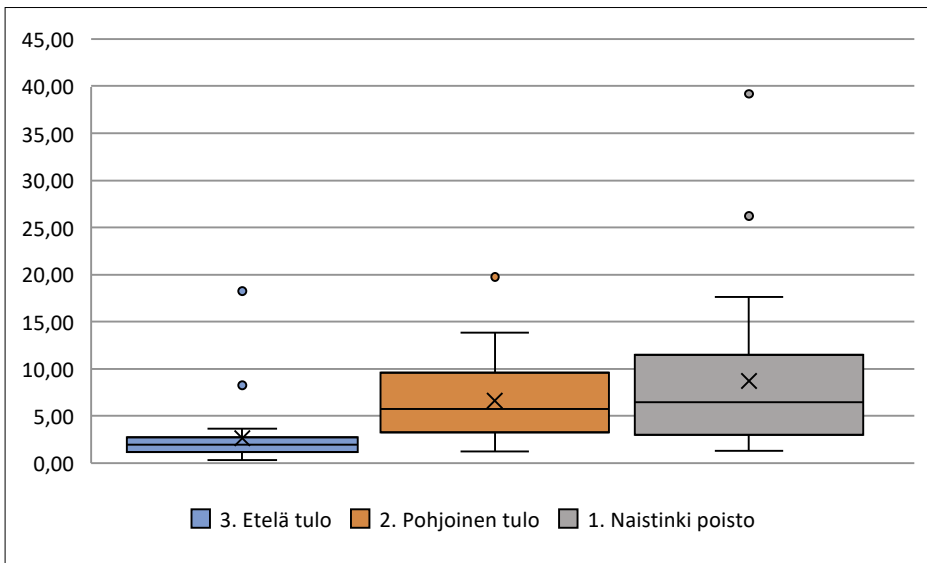
Taulukko 4. Tukholman läänin raja-arvot (Riktvärdesgruppen 2009) metallien osalta sekä Naistingin näytteistä Hula-hankkeen aikana havaitut korkeimmat ainekohtaiset pitoisuudet.

Aine	Alin raja-arvo (µg/l)	Ylin raja-arvo (µg/l)	Korkein eteläinen tulo (µg/l)	Korkein pohjoinen tulo (µg/l)	Korkein poisto (µg/l)
kadmium, Cd	0,4	0,5	<0,20	<0,20	<0,20
kromi, Cr	10	25	6,1	<5,0	<5,0
kupari, Cu	18	40	7,5	<1,0	2,2
elohopea, Hg	0,03	0,07	<0,020	<0,020	<0,020
nikkeli, Ni	15	30	10	<3,0	7,6
lyijy, Pb	8	15	<1,0	<1,0	<1,0
sinkki, Zn	75	125	36,7	37,6	13,6

Tukholman läänin raja-arvoissa ei ole määritetty raja-arvoa huleveden rautapitoisuudelle. Eteläisen tulon rautapitoisuuden keskiarvo on 1,5 mg/l ja pohjoisen tulon yksittäisen vesinäytteen rautapitoisuus yli 4 mg/l. Suurina määrinä rauta voi aiheuttaa haittaa vesielioille. Esimerkiksi Yhdysvaltojen ympäristöhallinnon mukaan rautapitoisuus 1 mg/l on haitallinen vesielioille luonnonvesissä (EPA 2022).

SAMEUS JA KIINTOAINE

Sameutta tarkkailtiin tekemällä mittauksia ProDSS-kenttämittarilla kerran viikossa syysmarraskuussa 2021 ja touko–lokakuussa 2022. Kenttämittausten tulokset on esitetty kuvassa 3. Tuloksista havaitaan, että poistuvan veden sameus on korkeampi verrattuna tulevan veden mittauspisteisiin. Poistuvan veden korkeammat sameusarvot johtuvat todennäköisesti kohteen epäsäännöllisestä virtaamista rakenteiden sortumisen takia, syyskesällä 2022 tehdyistä penkereen korjaustöistä sekä syksyllä 2022 kosteikon poisto-ojan läheisyyteen toteutettujen lietekuoppien kaivutöistä.



Kuva 3. Naistingin hulevesikosteikon kolmen pisteen kenttämitatun sameuden (FNU) ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elomarraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Mittauskertoja oli 29 kappaletta.

Syksyllä 2021 kiintoainenytytteitä otettiin kerran kaikista tutkimuspisteistä. Kosteikkorakenteiden vaurioitumisen vuoksi touko–elokuussa 2022 näytteitä otettiin ainoastaan hulevesikosteikon eteläisestä tulosta (N3). Syksyllä 2022 penkereen korjaustöiden valmistuttua kiintoainenytytteitä otettiin myös kosteikon poistopuolelta (N1). Kiintoainenytytteitä otettiin vuoden 2021–2022 aikana yhteensä 20 kertaa eteläisestä tulosta, kerran pohjoisesta tulosta ja neljä kertaa poistosta (taulukko 5).

Taulukko 5. Naistingin kohteen kiintoainetulokset (mg/l) Hula-hankkeen aikana.

Päivämäärä	N3 – eteläinen tulo	N2 – pohjoinen tulo	N1 – poisto
10.11.2021	34,1	6,9	1,9
3.5.2022	2,6	-	-
10.5.2022	1,80	-	-
17.5.2022	2,2	-	-
24.5.2022	0,2	-	-
31.5.2022	0,13	-	-
7.5.2022	0,4	-	-
16.6.2022	1,3	-	-
21.6.2022	1,8	-	-
28.6.2022	0,13	-	-

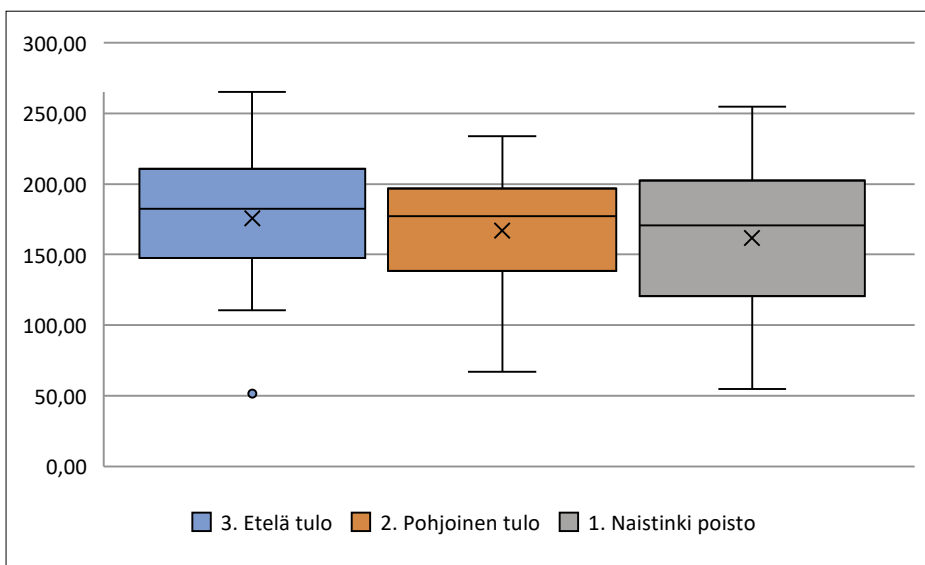
Päivämäärä	N3 – eteläinen tulo	N2 – pohjoinen tulo	N1 – poisto
5.7.2022	1,27	-	-
2.8.2022	1,1	-	-
9.8.2022	0,07	-	-
16.8.2022	0,93	-	-
23.8.2022	0,34	-	-
6.9.2022	0,53	-	-
16.9.2022	0,4	-	-
27.9.2022	0,6	-	3,6
10.10.2022	0,53	-	1,4
17.10.2022	10,4	-	8,53
Keskiarvo	3,0	-	3,9
Mediaani	0,8	-	2,7
Keskiahajonta	7,7	-	3,3

Kuten eri pisteiden näytteenottopäivien eroavaisuuksista voidaan nähdä, vaikeuttivat kosteikkorakenteen vaurioituminen ja tehdyt korjaustyöt merkittävästi näytteenottoja. Ainoastaan pisteestä N3 – etelä tulo saatiin kattava kuva kiintoainemääristä, kun taas kahdesta muusta pisteestä näytteenotot jäivät hyvin hajanaisiksi. Koska myöskään kohteen virtaamia ei voitu seurata, ei tuloksia voida suhteuttaa virtaamamääriin. Pisteestä N3 kiintoainetuloista saadaan kuitenkin käsitys kosteikkoon muodostuvista kiintoainemääristä, jotka vaihtelevat suuresti (keskiarvo 3,0 mg/l, mediaani 0,8 mg/l, keskiahajonta 7,7 mg/l, maksimi 34,1 mg/l). Samanlaista tulosten suurta vaihtelua havaitaan myös mitatuissa sameusarvoissa.

Tukholman läänin alempi raja-arvo huleveden kiintoainepitoisuudelle on 40 mg/l ja ylempi raja-arvo 75 mg/l (Riksvärdesgruppen 2009, 11). Verrattuna edellä mainittuihin raja-arvoihin kosteikolle tulevan veden kiintoainepitoisuudet ovat alhaisia lukuun ottamatta 10.11.2021 eteläisestä tulosta määritettyä kiintoainepitoisuutta (34,1 mg/l). Tulokseen on voinut vaikuttaa näytteenottohetken aikana hulevesikosteikon lähialueella tehdyt maankaivutyöt.

SÄHKÖNJOHTOKYKY JA KLORIDI

Naistingin hulevesikosteikon sähkönjohtavuutta tarkkailtiin tekemällä kenttämittauksia syys–marraskuussa 2021 ja touko–lokakuussa 2022. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 4. Erot sähkönjohtavuuksien keskiarvoissa ovat pienet, mutta sähkönjohtavuus on hieman alhaisempi poistuvassa vedessä (keskiarvo 161 µS/cm) kuin tulevassa vedessä (keskiarvo 175 µS/cm).



Kuva 4. Naistingin hulevesikosteikon kolmen pisteen kenttämitatun sähkönjohtavuuden ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo \bar{x} , kvartiilit, minimi ja maksimi) elo–marraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Mittauskertoja oli 29 kappaletta.

Kohteen kloridipitoisuutta tarkasteltiin ottamalla vesinäytteitä kuusi kertaa eteläisestä tulosta (N3), kerran pohjoisesta tulosta (N2) ja kaksi kertaa poistosta (N1). Näytteet lähetettiin analysoitavaksi ALS Finland Oy:lle. Taulukossa 6 on esitetty analysoitujen kloridipitoisuuksien tulokset. Kloridipitoisuuden muutoksesta hulevesikosteikolla on vaikea tehdä johtopäätöksiä poistopuolelta otettujen näytteiden vähäisyyden takia.

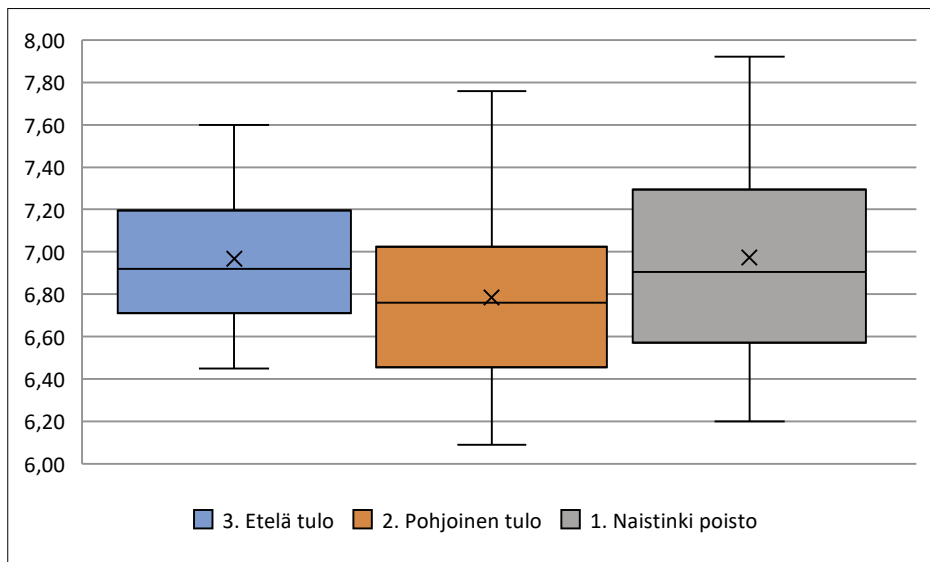
Taulukko 6. Näytteistä havaitut kloridipitoisuudet (mg/l) sekä niiden keskiarvo ja keskihajonta.

	N3 – eteläinen tulo	N2 – pohjoinen tulo	N1 – poisto
10.11.2021	8,9	13,4	8,55
3.5.2022	5,97	-	-
17.5.2022	7,65	-	-
7.6.2022	8,27	-	-
28.6.2022	7,10	-	-
17.10.2022	2,64	-	2,82
Keskiarvo	6,76	-	5,69
Keskihajonta	2,25	-	4,05

Tukholman läänin raja-arvoissa ei ole erikseen määritetty raja-arvoa kloridille. Inha ym. (2013) vertasivat maanteiden hulevesistä määritettyjä kloridipitoisuuksia valtioneuvoston asetuksessa vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006, 341/2009) säädettyihin pohjaveden laatuunormeihin sekä talusvesiasetuksessa (401/2001) annettuihin talusveden laatuvaatimuksiin ja -suosituksiin. Verrattuna kloridipitoisuudelle VNa (1040/2006, 341/2009) annettua pohjaveden laatuunormia 25 mg/l ja talusvesiasetuksessa (401/2001) määritettyä talusveden laatusuositusta 100 mg/l kosteikon tulevan veden kloridipitoisuudet ovat alhaiset.

HULEVEDEN HAPPAMUUS

Happamuutta seurattiin kenttämittarin avulla. Mittauspisteiden väliset erot veden happamuudessa ovat vähäiset. Kuvassa 5 on esitetty kolmen mittauspisteen pH-arvot. Pohjoisen tulon pH:n keskiarvo (6,78) on eteläiseen tuloon (6,97) ja poistoon (6,97) verrattuna hieman alhaisempi.



Kuva 5. Naistingin hulevesikosteikon kolmen pisteen kenttämitatun happamuuden (pH-arvo) ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elomarraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Mittauskertoja oli 29 kappaletta.

Luonnonvesien pH on Suomessa pääasiallisesti noin 6,5–6,8. Luonnonvesien vesieliöstölle sopiva veden pH-alue on 6,0–8,0. (Oravainen 1999, 12.) Huleveden happamuudella on merkitystä esimerkiksi sen sisältämien metallien liukoisuudelle. Monet metallit muuttuvat liukoisemmiksi ja sen myötä myös haitallisemmiksi happamissa oloissa. (Airola ym. 2014, 12.) Happamuuden (pH-arvon) vaikutusta sedimentissä esiintyvien metallien liukoisuuteen on havainnollistettu taulukossa 7.

Taulukko 7. Metallien liukoisuuteen vaikuttavat pH-arvot (Peng ym. 2009, Luukkonen 2017 mukaan).

Metalli	pH-raja-arvo ^a
sinkki (Zn)	6,0–6,5
kadmium (Cd)	6,0
nikkeli (Ni)	5,0–6,0
arseeni (As)	5,5–6,5
kupari (Cu)	4,5
lyijy (Pb)	4,0
alumiini (Al)	2,5
rauta (Fe)	2,5

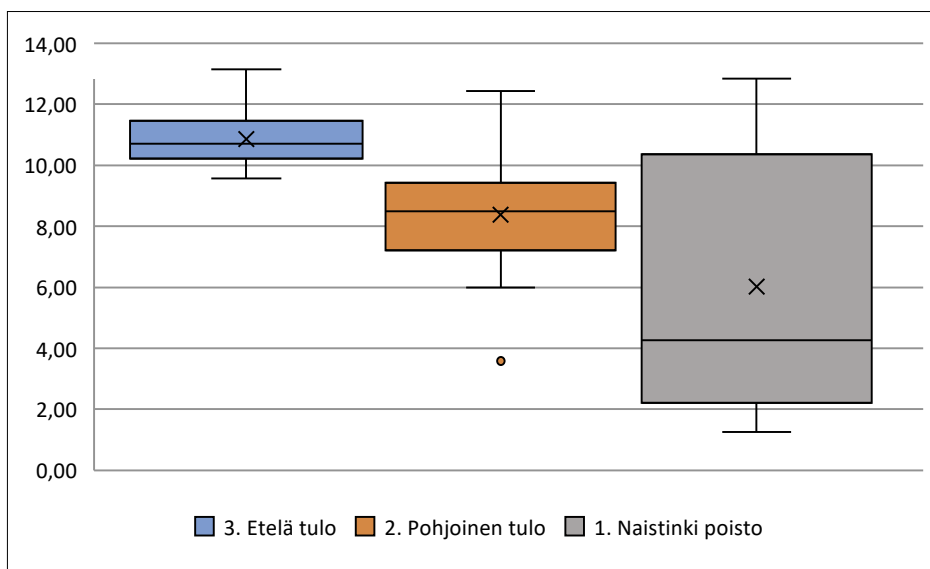
^a Raja-arvon alittuessa metallit liukenevat.

Taulukosta voidaan havaita, että jo pieni muutos pH-arvossa voi vaikuttaa metallien liukoisuuteen. Metalleista esimerkiksi sinkki ja arseeni voivat muuttua liukoiksi pH:n ollessa alle 6,5. Naistingin hulevesikosteikolle tulevan veden pH:n keskiarvo on yli 6,5, mutta ajoittain pH on laskenut lähelle 6,1:tä.

HULEVEDEN HAPPIPITOISUUS

Hulevesikosteikon happipitoisuutta tarkkailtiin kenttämittauksien avulla. Happipitoisuuksien keskiarvoja tarkastellessa eteläisen tulon happipitoisuus on selvästi korkeampi verrattuna poistoon. Kuvassa 6 on esitetty kolmen mittauspisteen happipitoisuuksien keskiarvot. Eteläisen tulon vaihteluväli on myös selkeästi pienin arvojen ollessa lähes jatkuvasti yli 10 mg/l. Pohjoisesta tulosta tulee myös hapekasta vettä, jonka happipitoisuus on keskimäärin noin 8,5 mg/l. Vaihtelu vuodenajan mukaan on myös huomattavaa. Poistuvan veden happipitoisuus vaihtelee suuresti vuodenajan mukaan keskiarvon ollessa noin 6 mg/l.

Happipitoisuus vaihtelee eri ajankohtina, sillä lämpötila vaikuttaa siihen, kuinka paljon happea liukenee veteen ilmakehästä (Oravainen 1999, 4). Poisto-ojan vesi oli etenkin kesällä 2022 todella matalalla, minkä vuoksi kesällä mitatut poistuvan veden happipitoisuudet ovat alhaiset ja happipitoisuuksissa esiintyy suurta vaihtelua. Syy eteläisen tulon korkeisiin happipitoisuuksiin on osittain se, että hulevesiputkesta tullessaan vesi putoaa noin 30 senttimetriä. Tämän pudotuksen aikana vesi hapettuu.



Kuva 6. Naistingin hulevesikosteikon kolmen pisteen kenttämitatun happipitoisuuden (mg/l) ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) elo–marraskuu 2021 ja touko–lokakuu 2022. Mittauskertoja oli 29 kappaletta.

YHTEENVETO

Naistingin kosteikossa tapahtunut rakenteiden murtuminen ja sen aiheuttama veden virtauksien sekautuminen esti laajemman monitoroinnin kohteessa. Kohteessa syksyllä 2022 tehdyt muokkaustyöt myös sekoittivat vesiä, jolloin laajempia näytteenottoja ei nähty mielekkääksi tehdä. Tästä huolimatta erityisesti eteläisestä purkupisteestä kosteikolle tulevasta vedestä saatiin kerättyä hankkeen aikana hyvin tuloksia. Yhteenvetona voidaan todeta, että järjestelmään eteläiseltä tuloputkelta tuleva vesi vaikuttaisi olevan tasalaatuista, eikä se sisällä hälyttäviä määriä kuormittavia aineita tarkasteltujen aineiden osalta. Tästä huolimatta suurten hulevesitapahtumien aikaan arvot voivat moninkertaistua, jolloin hulevesiä on hyvä käsitellä. Tällöin haitalliset aineet eivät pääse pidemmälle vesistöön.

Vaikkakin monitorointia ei Hula-hankkeen aikana pystytty toteuttamaan halutulla tavalla, kohde on jatkossakin otollinen monitorointikohde ja sen aiheuttamaa muutosta vedenlaatuun on hyvä tarkastella. Toimintakuntoisen kosteikon tarkastelulla saadaan tärkeää tietoa vastaavanlaisten kosteikkojen suunnittelu-, rakennus- ja huoltotyöhön. Hulevesikosteikko tulee epäilemättä parantamaan osaltaan Naistingin lammen sekä alapuolisten vesistöjen tilaa ja muodostamaan monimuotoisen elinympäristön eliölajeille.

LÄHTEET

Airola, J., Nurmi, P. & Pellikka, K. 2014. Huleveden laatu Helsingissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu 12/2014.

EPA 2022. National Recommended Water Quality Criteria – Aquatic Life Criteria Table. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table>.

Inha, L., Kettunen, R. & Hell, K. 2013. Maanteiden hulevesien laatu. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 12/2013. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.doria.fi/handle/10024/121259> [viitattu 2.11.2022].

Luukkonen, T. 2017. Kaivosvesien muuttamien vesistöjen kunnostaminen – uudet kokeelliset menetelmät. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Kirjallisuuskatsaus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.syke.fi/download/noname/%7B43501B10-1461-4D77-B9D7-9E3B8C3E51C9%7D/149343> [viitattu 8.11.2022].

Oravainen, R. 1999. Vesistötulosten tulkinta – opasvihkonen. KVVY:n julkaisu. <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf>.

Riktvärdesgruppen. 2009. Förslag till riksvärden för dagvattenutsläpp. Regionala dagvattennätverket i Stockholms län.

PILOT-KOHTEIDEN ÖLJYHIILIVEDYT

Leena Pekurinen

Öljyhiilivedyt ovat yksi yleisimmistä haitta-aineista hulevesissä. Niitä kertyy hulevesiin todennäköisimmin liikenteestä, teollisuudesta, asutuksesta ja rakennustyömailta sekä erilaisissa onnettomuustilanteissa. Kasvipohjaiset öljytuotteet ovat luonnossa nopeasti hajoavia ja ympäristön kannalta yleensä vaarattomia. Sen sijaan mineraaliöljyt ja niistä jalostetut tuotteet ovat myrkyllisiä. Mineraaliöljyt liukenevat veteen huonosti, ja liukenevuus vaihtelee eri hiilivetyjakeiden mukaan. Raakaöljy, bensiini, kevyet kaasuöljyt ja bitumiöljyt ovat haihtuvia öljyjä. Haihtumattomia öljyjä ovat muun muassa raskaat kaasuöljyt, dieselöljyt sekä raskaat ja kevyet polttoöljyt. (Ylönen 2005, 37.) Öljytuotteet voidaan jaotella myös niiden sisältämän hiiliketjun pituuden mukaan. Taulukossa 1 on esitetty öljyhiilivetyjen jaottelu hiiliketjun pituuden mukaan.

Taulukko 1. Öljytuotteet jaotteluina hiiliketjun pituuden mukaan (Gråsten 2008).

Jae	Hiiliketjun pituus	Komponentti
bensiini	C4–C12	Alkaanit, alkeenit, alisykliset (mono- ja dinafteenit) aromaattiset, kuten BTEX ¹
kerosiini	C11–C13	Alifaattiset ja aromaattiset monirenkaiset yhdisteet
dieselöljy ja kevyt polttoöljy	C10–C20	Aromaattiset (alkyylibentseenit ja naftaleenit)
raskas polttoöljy	C19–C25	Aromaattiset (alkyylifenantreenit ja -naftaleenit), N, S tai O sis. polaariset yhdisteet
voiteluöljyt	C20–C45	Sykloparafiinit, PAH ² , N, S tai O sis. yhdisteet

¹BTEX = bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni ja ksyleenit

²PAH = polyaromaattiset hiilivedyt

Veteen jouduttuaan öljyt voivat kulkeutua veden pinnalla pitkiäkin matkoja. Jotkut öljytuotteet haihtuvat ennen kuin ehtivät kulkeutumaan pidemmälle. Öljyt voivat sitoutua myös vedessä olevaan orgaaniseen ainekseen ja kulkeutua sen mukana. Ajan myötä orgaaniseen ainekseen sitoutunut öljy vajoaa pohjan sedimenttikerrokseen. Pohjaveden pinnalle kulkeutuneet yhdisteet leviävät huomattavasti suuremmalle alueelle kuin ne yhdisteet, jotka sitoutuvat orgaaniseen ainekseen ja sedimentoituvat vahinkopaikalle tai sen läheisyyteen.

YLEISIMPIEN ÖLJYTUOTTEIDEN KÄYTTÄYTYMINEN YMPÄRISTÖSSÄ

Moottoribensiiniä käytetään polttomootoreissa, ja sen tunnistaa aromaattisesta hajustaan. Jos bensiiniä joutuu maahan tai veteen, pääosa siitä haihtuu ilmaan. Haihtuminen on nopeampaa lämpimissä oloissa. Haihtuvat hiilivedyt reagoivat herkästi muiden ilman epäpuhtauksien kanssa synnyttäen otsonia, mistä voi aiheutua kasveille ja eläimille vaurioita. (Gråsten 2008.) Bensiinin lisäaineena käytettävää MTBE:tä (metyylitertiäributyylieetteri) voi päätyä pintavesiin muun muassa pakokaasuista. Pohjaveteen joutuessaan MTBE ei ole myrkyllinen, mutta se maistuu juomavedessä. Bensiinin lisäaineena käytettävät BTEX-yhdisteet (bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni ja ksyleeni) liukenevat veteen jonkin verran ja liikkuvat hyvin huokoisessa maaperässä. (Ylönen 2005, 35.)

Kevyt polttoöljy ja dieselöljy vastaavat teknisesti toisiaan. Suomessa kevyeen polttoöljyyn lisätään punaista väriainetta ja tunnisteainetta, jotta se erottuu dieselöljystä. (Tilastokeskus 2005.) Ympäristössä kevyt polttoöljy ja diesel haihtuvat osittain ilmaan, mutta maaperässä niiden komponentit sitoutuvat maa-ainekseen. Sora- ja hiekkapitoisessa maaperässä kulkeutuminen on nopeaa, mutta orgaanista ainesta sisältävässä maaperässä kulkeutuminen on hidasta. Veteen liuennut kevyt polttoöljy hajoaa hitaasti aerobisissa olosuhteissa. Hajoaminen hidastuu entisestään, kun komponentit sitoutuvat orgaaniseen ainekseen ja sedimenttiin. Kevyt polttoöljy onkin erittäin kertyvää, ja siitä on haittaa vesielöstölle. (Gråsten 2008.)

Raskas polttoöljy jähmettyy päästessään ympäristöön, eikä jähmettynyt polttoöljy juurikaan kulkeudu tai haihdu ilmaan. Se ei myöskään liukene veteen, vaan yleensä painuu pohjaan ja sedimentoituu. Raskas polttoöljy hajoaa hitaasti, ja osittain se on hajoamatonta. (Gråsten 2008.)

HULEVESIEN ÖLJYHIILIVETYJEN RAJA-ARVOT

Ruotsissa Tukholman läänissä hulevesien sisältämille haitta-aineille on annettu selkeät raja-arvot. Öljyhiilivetyjen raja-arvot on annettu fraktion C10–C40 pitoisuuksille. Pienemmissä vesistöissä raja-arvot ovat tiukemmat kuin suuremmissa vesistöissä. Öljyhiilivedyille annettu alin raja-arvo on 0,4 mg/l ja ylin raja-arvo 0,7 mg/l. Toiminnanharjoittajia varten hulevesien haitta-aineille on annettu erikseen raja-arvot. Öljyhiilivedyille se on 1,0 mg/l. (Riktvärdesgruppen 2009, 11.) Raja-arvoihin vaikuttavat valuma-alueen sijainti ja se, kuinka suureen vesistöön päästö tapahtuu (Kasurinen 2020, 5–7).

Suomessa vesiympäristölle on annettu ympäristölaatunormit valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006) ja sen muutosasetuksissa (868/2010) ja (1090/2016). Hulevesien öljyhiilivedyille tai muillekaan haitta-aineille ei Suomessa ole asetettu raja-arvoja. Hulevesien raja-arvoista ja vesiympäristön ympäristölaatunormeista kerrotaan artikkelissa ”Perustietoa hulevesistä”.

ÖLJYHIILIVETYJEN MÄÄRITYS HULA-HANKKEESSA

Hula-hankkeessa öljyhiilivetyjen määrittystä varten otettiin kesän 2022 aikana näytteitä Karikon hulevesialtaasta ja Naistingin hulevesikosteikolta. Kaikki näytteet otettiin 250 ml:n ruskeaan lasipulloon, joka suljettiin välittömästi näytteenoton jälkeen. Näytteitä lähetettiin muutaman kerran ALS Finland Oy:n laboratorioon analysoitavaksi. Lisäksi näytteitä analysoitiin InfraCal 2 ATR-SP -analysaattorilla (Wilks Enterprise/Spectro Scientific) Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun omassa ympäristölaboratoriossa. Jos näytteitä ei ollut mahdollista analysoida samana päivänä, ne varastoitettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratorion kylmähuoneeseen. ALS Finland Oy:n laboratorioon lähetetyt näytteet pakattiin kylmälaukkuun ja toimitettiin saman päivän aikana laboratorioon.

ALS Finland Oy:n laboratorion käyttämä analyysimenetelmä on liekki-ionisaatioilmaisimella varustettu kaasukromatografinen menetelmä (CG-FID). Se noudattaa menetelmiä US EPA 8015, US EPA 3510 sekä TNRCC Method 1006 ja täyttää standardin CSN EN ISO 9377-2 vaatimukset. Analyysituloksissa öljyhiilivedyt on ilmaistu yksikössä $\mu\text{g/l}$ ja ne on jaoteltu fraktioihin C10–C21, C21–C40 ja C10–C40. Menetelmän mittausepävarmuus on dokumentin ”Guide to the Expression of Measurement”, CGM 100:2008 Corrected version 2010 mukainen laajennettu mittausepävarmuus, jossa on käytetty kattavuuskerrointa 2. Tämä tarkoittaa noin 95 prosentin luotettavuustasoa. Mittausepävarmuutta käytetään pitoisuuksille, jotka ylittävät raportointirajan.

InfraCal-analysaattorin toiminta perustuu hiilivetyjen absorboiman infrapunasäteilyn mittaamiseen, ja sillä voidaan mitata kokonaishiilivetypitoisuutta (TPH, Total Petroleum Hydrocarbons) vedessä ja maa-aineksessa. InfraCal-analysaattorin antama tulos on ilmaistu yksikössä ppm. Laitteen mittaustarkkuus on 0,3 ppm öljyä vedessä ja mittaalue 0–2 000 ppm. Veden paino on 1 kg/l, joten 1 ppm vastaa käytännössä yksikköä 1 $\mu\text{g/l}$. Uuttoliuoksena käytettiin heksaania. Kuvassa 1 InfraCal-analysaattorin nollaus käynnissä ennen varsinaisia mittauksia.



Kuva 1. InfraCal-analysaattorin nollaus käynnissä (kuva: Leena Pekurinen).

InfraCal-mittausta varten näytteiden pH säädettiin 1 ml rikkihapolla (4 mol) ja näytteet uutettiin heksaanilla uutusuhteella 10:1. Uuttoliuos valutettiin lasisuppiloon asetetun 40 µm suodatinpaperin (Whatman 40 ashless) läpi, johon oli punnittu noin 1 g silikageeliä. Silikageeli poisti näytteistä veden ja polaariset yhdisteet, jolloin jäljelle jäivät TPH-yhdisteet. Näytteet mitattiin pipetoimalla 60 µl heksaaniliuosta mittauskyvetin keskelle ja käynnistämällä mittaus. Kustakin näytteestä tehtiin kahdesta neljään mittaus. Jokaisen mittauksen välissä mittauskyvetti puhdistettiin puhtaalla heksaanilla ja nukkaamattomalla pyyhkeellä. Jokaisen näytteen jälkeen laite nollattiin. Mikrolitruisku huuhdeltiin heksaanilla jokaisen näytteen jälkeen ja ennen nollausta huolellisesti useampaan kertaan.

KARIKON HULEVESIALLAS

Karikon hulevesialtaan näytteenottopisteet öljyhiilivetyjen analysointia varten olivat K1, K3, K4, K7 ja K9. Näytteenottopisteet ovat nähtävillä kuvassa 2.



Kuva 2. Karikon hulevesialtaan näytteenottopisteet (kuva: Mikkelin kaupunki, muokkaukset: Aki Mykkänen)

ALS Finland Oy:n laboratorioanalyysjä varten näytepisteistä K1, K3 ja K9 otettiin näytteitä 10.11.2021 ja 17.10.2022. Lisäksi kesän 2022 aikana otettiin satunnaisia näytteitä eri näytepisteistä. Laboratoriossa öljyhiilivedyt analysoitiin jaoteltuna kolmeen eri fraktioon. Taulukossa 2 on esitetty laboratorioanalyysien tulokset.

Taulukko 2. Laboratorioanalyysitulokset Karikon hulevesialtaasta otetuissa vesinäytteissä. Määrittämissä ylittävillä pitoisuuksilla on ilmoitettu mittausepävarmuus.

Pvm.	Öljyhiilijakeet	K9	K3	K1
10.11.2021	C10 – C21 fraktio	<25	<25	<25
	C21 – C40 fraktio	<25	<25	65 ± 19
	C10 – C40 fraktio	<50	<50	68 ± 20
3.5.2022	C10 – C21 fraktio	<25		<25
	C21 – C40 fraktio	<25		<25
	C10 – C40 fraktio	<50		<50
28.6.2022	C10 – C21 fraktio		<25	
	C21 – C40 fraktio		<25	
	C10 – C40 fraktio		<50	
3.8.2022	C10 – C21 fraktio	<25		
	C21 – C40 fraktio	<25		
	C10 – C40 fraktio	<50		
27.9.2022	C10 – C21 fraktio	<25		
	C21 – C40 fraktio	<25		
	C10 – C40 fraktio	<50		
17.10.2022	C10 – C21 fraktio	<25	<25	<25
	C21 – C40 fraktio	71 ± 21	49 ± 15	29 ± 9
	C10 – C40 fraktio	78 ± 23	53 ± 16	<50

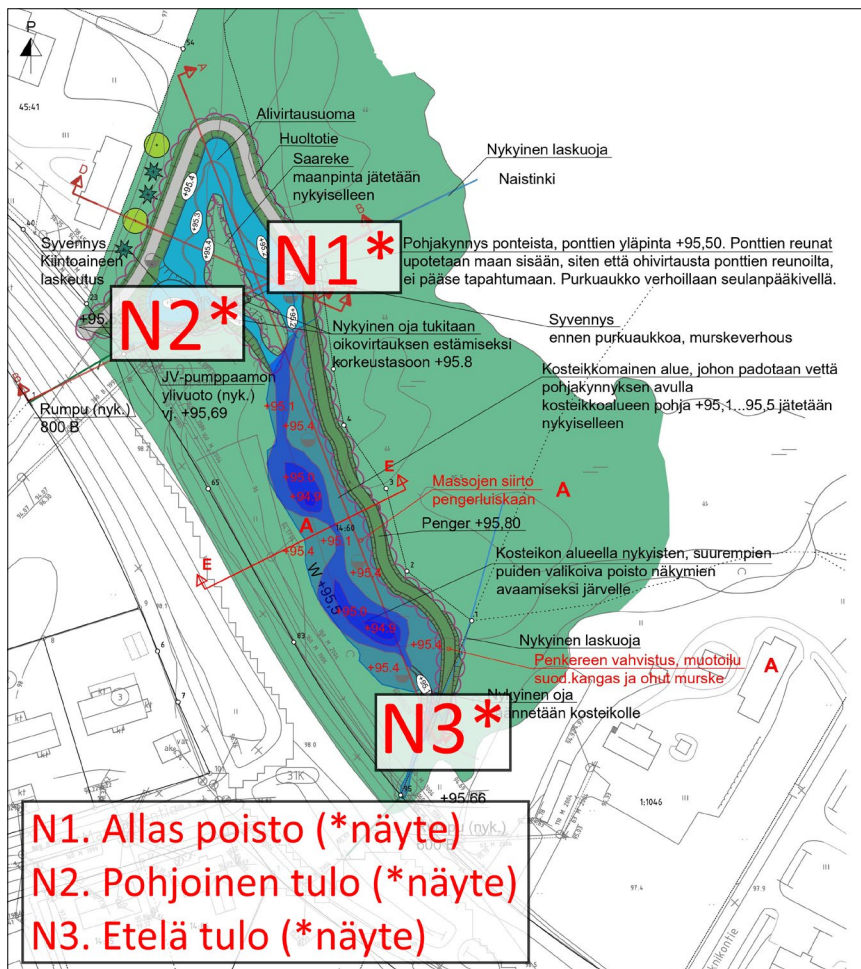
Näytepisteessä K9 eli hulevesialtaan tulopuolella havaittiin 17.10.2022 öljyhiilivetyä 71 µg/l (C21–C40 fraktio) ja 78 µg/l (C10–C40 fraktio). Muissa näytepisteistä K9 otetuissa näytteissä ei havaittu öljyhiilivetyä. Näytepisteessä K3 eli altaan poistopuolella havaittiin 17.10.2022 otetussa näytteessä öljyhiilivetyä 49 µg/l (C21–C40) ja 53 µg/l (C10–C40). Näytepisteestä K1 10.11.2021 otetussa näytteessä öljyhiilivetyä havaittiin 65 µg/l (C21–C40) ja 68 µg/l (C10–C40). Näytepisteessä K1 havaittiin 17.10.2022 otetussa näytteessä öljyhiilivetyä 29 µg/l (C21–C40). Kaikissa muissa näytteissä öljyhiilivetyypitoisuudet jäivät alle laboratorion määrittämissä rajojen.

InfraCal-mittauksia varten näytepisteistä K4 ja K7 otettiin kolmetoista kertaa näytteitä kesän 2022 aikana. Lisäksi yksi näyte otettiin näytepisteestä K1. Kesäkuussa 2022 altaan ensimmäisen padon yhteyteen asennettiin öljypuomi kokoamaan mahdolliset öljyhiilivedyt puomille. Ratkaisu osoittautui toimimattomaksi, ja puomi poistettiin heinäkuussa. Kesä–heinäkuun aikana puomin edustalta otettiin kuitenkin kolme näytettä.

Suurin osa näytteistä otettiin hulevesialtaan tulopuolelta (K7). Tulopuolella kokonaisöljyhii-
livitypitoisuudet vaihtelivat -18,4:stä 27,9 ppm:ään. Yleisesti pitoisuudet olivat noin 25–30
ppm. Suurin pitoisuus, 82 ppm, oli 16.9.2022 otetussa näytteessä. Mittausajankohtaa edel-
tävän vuorokauden aikana sademäärä oli 17,7 mm. Sademäärät muina mittausajankohtina
olivat vain vähäisiä tai sadetta ei ollut lainkaan. Poistopuolella ei havaittu öljyhii-
livityä. Öljypuomin edustalta otetuista näytteistä yhdessä öljyhii-
livitypitoisuus oli 22,7 ppm muiden
tulosten ollessa negatiivisia. Tulokset ovat mittausten keskiarvoja. Kun InfraCal-mittauksissa
näytteiden uuttosuhde oli 1:10, on tulokset jaettava kymmenellä.

NAISTINGIN HULEVESIKOSTEIKKO

Naistingin hulevesikosteikon näytteenottopisteet öljyhii-
livityjen analysointia varten olivat
N1 (poisto), N2 (tulo pohjoinen) ja N3 (tulo eteläinen). Näytteenottopisteet ovat nähtävillä
kuvassa 3.



Kuva 3. Naistingin hulevesikosteikon näytteenottopisteet (kuva: Ramboll Oy/Mikkelin kaupunki, muokkaukset: Aki Mykkänen)

ALS Finland Oy:n laboratoriossa analysoitiin 10.11.2021 näytepisteistä N1, N2 ja N3 otetut sekä 17.10.2022 näytepisteistä N1 ja N3 otetut näytteet. Taulukossa 3 on esitetty laboratorioanalyysien tulokset.

Taulukko 3. Laboratorioanalyysitulokset Naistingin hulevesikosteikolta otetuissa vesinäytteissä.

Pvm.	Öljyhiilijakeet	N3	N2	N1
10.11.2021	C10 – C21 fraktio	<25	<25	<25
	C21 – C40 fraktio	<25	<25	<25
	C10 – C40 fraktio	<50	<50	<50
17.10.2022	C10 – C21 fraktio	<25		<25
	C21 – C40 fraktio	<25		<25
	C10 – C40 fraktio	<50		<50

Laboratorion analyyseissä öljyhiilivetyjä oli kaikissa näytteissä alle määritysrajojen, eli niissä ei havaittu öljyhiilivetyjä.

InfraCal-mittauksia varten näytteitä otettiin seitsemän kertaa näytepisteistä N1 ja N3 kesän 2022 aikana. Näytepisteestä N3 (eteläinen tulo) otettiin näytteitä kerran kesäkuussa ja kuusi kertaa elo–lokakuun aikana. Näytepisteestä N1 (poisto) otettiin kaksi näytettä lokakuussa. Tulevassa vedessä öljyhiilivetyypitoisuus vaihteli -9,7:stä 923,9 ppm:ään. Näytepisteessä N3 oli 16.8.2022 silmin nähden havaittavissa öljyä veden pinnalla. Siitä otettu näyte sisälsi 924 ppm öljyhiilivetyjä. Samalla näytteenottokerralla tuloputken suulta tulevasta virtaavasta vedestä otetussa näytteessä öljyhiilivetyjä mitattiin 163 ppm. Muutoin öljyhiilivetyypitoisuudet jäivät alle 30 ppm:n, myös poistopuolella. Tulokset ovat mittausten keskiarvoja. Kun InfraCal-mittauksissa näytteiden uuttosuhde oli 1:10, on tulokset jaettava kymmenellä.

TULOSTEN ARVIOINTIA

Öljyhiilivetyjen tutkimisessa keskityttiin pääasiassa Karikon hulevesialtaaseen sen sijainnin ja liikennemäärien vuoksi. Lisäksi näytteitä otettiin Naistingin hulevesikosteikolta. Näytteitä otettiin kerran syksyllä 2021 ja säännöllisesti kesän 2022 aikana. Tulokset osoittivat, että hulevesialueille tulevat vedet sisältävät pääsääntöisesti vain vähän tai ei lainkaan öljyhiilivetyjä. Korrelaatiota sadannan ja pitoisuuden välillä ei ollut lukuun ottamatta Naistingin hulevesikosteikkoa, josta otetuissa näytteissä havaittiin pieniä määriä öljyhiilivetyjä silloin, kun näytteenottoa edeltävän vuorokauden aikana oli satanut vettä. Samanlaista korrelaatiota ei voitu havaita Karikon mittaustuloksissa.

Tuloksia arvioitaessa ei voida suoraan vetää johtopäätöksiä hulevesialueiden öljyhiilivety-pitoisuuksista. Näytteenottoon perustuva menettely kertoo vain senhetkisen pitoisuuden kyseisessä näytteessä. Luotettava kuva öljyhiilivedyistä hulevedessä voitaisiin saada jatkuvalla mittauksella.

KÄYTETTYJEN MENETELMIEN VERTAILU

Öljyhiilivetyä analysoitiin InfraCal-analysaattorilla lähes viikoittain kesän 2022 aikana. Heinäkuussa oli pidempi tauko kesälomien vuoksi. ALS Finland Oy:n laboratorioon lähetettiin näytteitä harvemmin. Karikon ja Naistingin kohteista 17.10.2022 otetuista näytteistä analysoitiin öljyhiilivedyt ALS Finland Oy:n laboratoriossa kaasukromatografisella CG-FID-menetelmällä sekä InfraCal-analysaattorilla. Taulukossa 4 on esitetty vertailu havaituista öljyhiilivedyistä. ALS Finland Oy:n laboratoriotulokset on saatu kolmelle eri öljyfraktiolle. Taulukossa on esitetty eri fraktioiden yhteenlaskettu pitoisuus. InfraCal-mittausten tulokset on jaettava kymmenellä uuttosuhteen 1:10 vuoksi.

Taulukko 4. Öljyhiilivedyt 17.10.2022 otetuista vesinäytteistä InfraCal-analysaattorilla ja ALS Finland Oy:n laboratoriossa.

Öljyhiilivedyt		InfraCal (infrapuna)	ALS Finland Oy (CG-FID)
17.10.2022	K9	4	149
	K3	-1	102
	N3	13	<50
	N1	-23	<50

Kaasukromatografisella menetelmällä yli laboratorion määrittämysrajan saadut pitoisuudet on havaittu painavammassa C21–C40 ja C10–C40 fraktioissa. Kevyimmässä fraktioissa (C10–C21) ei öljyhiilivetyä havaittu. InfraCal-analysaattorilla saadut tulokset ovat huomattavasti alhaisemmat kuin laboratorioanalyysien tulokset. Samansuuntainen havainto oli tehty ÄLYKÖ-hankkeessa maanäytteiden analyysissä. (Malk & Sormunen 2017, 399.) Alhaisilla pitoisuuksilla InfraCalin herkkyys riittää antamaan luotettavia tuloksia.

VERTAILU TUKHOLMAN HULEVESIEN LAATULUOKITUKSEEN

Kun verrataan saatuja tuloksia Tukholman hulevesien laatuluokitukseen, Hula-hankkeessa otettujen näytteiden öljyhiilivetyjen pitoisuudet ovat olleet alhaisia. Tukholman hulevesien laatuluokituksissa öljypitoisuudet yli 1,0 mg/l (>1 000 µg/l) luokitellaan korkeaksi pitoisuudeksi. Hula-hankkeen aikana Naistingista 16.8.2022 otetun näytteen toisen rinnakkaisnäytteen pitoisuus oli InfraCal-analysaattorilla mitattuna 128,5 ppm (µg/l), mutta kahden

rinnakkaisen näytteen keskiarvo jäi alle 100 ppm:n ollen 92,4 ppm. Tulokset ovat 1:10 mittalaitteen ilmoittamasta lukemasta (uuttosuhteen 1:10 vuoksi). Alhaiselle pitoisuudelle annettu raja-arvo <0,5 mg/l alittui kaikissa muissa näytteissä sekä Naistingin että Karikon kohteissa. Yksittäinen korkea pitoisuus Naistingin hulevesialtaassa johtuu todennäköisesti valuma-alueelta tulleesta yksittäisestä päästöstä.

VIRHELÄHTEITÄ

InfraCal-analysaattorilla saatiin mitattua vain kokonaispitoisuuksia, ja menetelmä itsessään on epävarma. Erityisesti pienillä pitoisuuksilla tulokset vaihtelivat ja olivat jopa negatiivisia. Laitteen kyvetti toimii valmistajan mukaan vähintään viisi vuotta. Laite on hankittu vuonna 2015, joten sen kyvetti ei välttämättä enää toimi ihanteellisesti, mikä voi osaltaan vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Näytteen annosteluun käytettiin mikrolitruuiskua, joka ei ollut alkuperäinen, laitteen mukana tullut ruisku. Laitteen valmistajan mukaan muut ruiskut eivät välttämättä riitä analyysin tarkkuuteen. Ruiskun vaikutus tulosten epävarmuuteen on kuitenkin pieni.

InfraCal-analysaattorin kyvetin sekä näytteen annostelussa käytetyn ruiskun puhdistukseen käytettiin heksaania. Laite nollattiin ennen mittauksia ja näytteiden välissä heksaanilla. Heksaanin puhtaus voi vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Lisäksi kyvetin puhdistuksessa käytetystä puhdistusliinasta mahdollisesti irronneet kuidut voivat vääristää tuloksia. Laite oli tehdaskalibroitu kevyen mineraaliöljyn kalibrointiliuoksilla TPH:lle (Light Mineral Oil in N-Hexane for TPH Analysis) eikä se sovellu sellaisten haihtuvien yhdisteiden analysoimiseen, jotka haihtuvat uuttoliuottimena käytetyn heksaanin mukana mittauksen yhteydessä (Malk 2022).

Mittauksiin liittyy myös muita mahdollisia virhelähteitä. Näytteitä otettiin veden pinnan alta, mutta silloin kun pinnalla oli silmin havaittavaa öljyä, näyte otettiin pintavedestä. Näytteet eivät siten olleet täysin edustavia eivätkä toisiinsa verrattavia. Mahdollisesti sedimenttiin kerääntynyttä öljyä ei voitu toteutetuilla menetelmillä havaita. Ympäristössä esiintyy luonnostaan hiilivety-yhdisteitä. Niitä on myös hulevesissä olevissa kiintoaineissa. Nämä luontaiset hiilivedyt ovat voineet vaikuttaa InfraCal-tuloksiin.

ALS Finland Oy:n laboratorioanalyseissä käytetty CG-FID-menetelmä on standardoitu ja sen prosessit ovat myös vakiintuneet. Laboratorioanalyysien tuloksia voidaankin pitää luotettavina. On kuitenkin muistettava, että yksittäinen näyte kertoo vain yhden näytteenottohetken tilanteen.

YHTEENVETO

Hula-hankkeen aikana otettiin vesinäytteitä öljyhiilivetyjen määrittystä varten Naistingin hulevesikosteikolta ja Karikon hulevesialtaasta. Vaikka hulevesialueiden läheisyydessä kulkee vilkasliikenteisiä teitä, ei niiden vaikutusta öljyhiilivetyjen määrään hulevedessä voitu havaita. Osa öljyhiilivedyistä, kuten bensiini, nafta ja bitumiöljyt, ovat haihtuvia, ja ne haihtuvat ilmaan ennen kuin saavuttavat hulevesialtaan. Osa mahdollisista öljyhiilivedyistä on voinut sitoutua maaperään ja kasvillisuuteen ennen kuin hulevesi on saavuttanut altaan. Hulevesialtaaseen päätyvät öljyhiilivedyt sitoutuvat osittain myös veden kiintoaineeseen ja sedimenttiin eivätkä siten näy vesinäytteissä. Verrattaessa tuloksia vesinäytteiden kiintoainepitoisuuksiin ei niiden välillä voitu havaita korrelaatiota.

Öljyhiilivetyjä sisältävät öljytuotteet ovat ominaisuuksiltaan ja myrkyllisyydeltään toisistaan poikkeavia, joten niitä tulisi tarkastella jakeittain eikä niinkään kokonaispitoisuuksien perusteella. Toisaalta, kun tunnetaan eri öljyjakeiden käyttäytyminen erilaisissa olosuhteissa, voi kokonaisöljyhiilivetypitoisuus antaa nopeasti tärkeää tietoa huleveden laadusta.

InfraCal-analysointimenetelmän käyttö öljyhiilivetyjen määrittämiseen on nopeaa ja yksinkertaista. Tarkkuudessa ja luotettavuudessa se ei kuitenkaan pärjää kaasukromatografiaan perustuvalla laboratorioanalyysillä. Laboratoriossa tehtävät analyysit soveltuvat hyvin tavanomaiseen hulevesien laadun seurantaan. Onnettomuustilanteissa, kun tietoa tarvitaan nopeasti, InfraCal-analysointimenetelmällä saadaan nopeasti suuntaa antavaa tietoa laajemmalla alueella. Luotettavampia tuloksia voidaan saada, jos laite kalibroidaan tietyille öljyfraktiioille.

LÄHTEET

Gråsten, J. 2008. Öljyvahingot Etelä-Savossa – priorisointi- ja toimintamalli. Etelä-Savon ympäristökeskuksen raportteja 5/2008. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/42992>. [viitattu 12.9.2022].

Kasurinen, E. 2020. Hulevesien haitta-aineet ja käsittelymenetelmät. Kandidaatintyö. Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta. Tampereen yliopisto. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202008176501>. [viitattu 11.10.2022].

Malk, V. 2022. Henkilökohtainen tiedonanto 22.6.2022.

Malk, V. & Sormunen, A. 2017. Ympäristön monitorointi ja pikamittausmenetelmien hyödyntäminen öljyvahinkotilanteessa. Teoksessa Malk, V. (toim.) Itä-Suomen maa-alueiden ja Saimaan vesistöalueen öljyn- ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien älykäs minimointi ja torjunta. Xamk kehittää 3. Kaakkois-Suomen ammatti- korkeakoulu, 385–409. [viitattu 7.11.2022].

Riktvärdesgruppen. 2009. Förslag till riktvärden för dagvattenutsläpp. Regionala dagvattennätverket i Stockholms län. Regionplane- och trafikkontoret. Stockholms läns landsting. Februari 2009. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www2.taby.se/Global/SRMH/Informationsblad/Milj%C3%B6skydd/Extern%20information/F%C3%B6rslag%20till%20riktv%C3%A4rden%20f%C3%B6r%20dagvatten%20-%20Regionplane-%20och%20trafikkontoret%20Stockholms%20L%C3%A4ns%20Landsting.pdf>. [viitattu 19.10.2022].

Tilastokeskus. 2005. Polttoainemäärien määritelmät. WWW-dokumentti. Päivitetty 11.2.2002. Saatavissa: <https://www.stat.fi/tup/khkinv/polttoainemaaritelmat.html>. [viitattu 24.10.2022].

Ylönen, K. 2005. Eräät orgaaniset ja epäorgaaniset haitta-aineet Etelä-Savon tärkeimpien vedenottamoiden raaka- ja pohjavesissä. Etelä-Savon ympäristökeskuksen moniste 65. PDF-dokumentti. [viitattu 5.10.2022].

HULEVESIEN KÄSITTELY- SUOSITUKSET JA TEKNIS- TALOUDELLISTA TARKASTELUA – HULA-HANKKEEN KOKEMUKSIA

Tuija Ranta-Korhonen & Aki Mykkänen & Marleena Tirkkonen

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

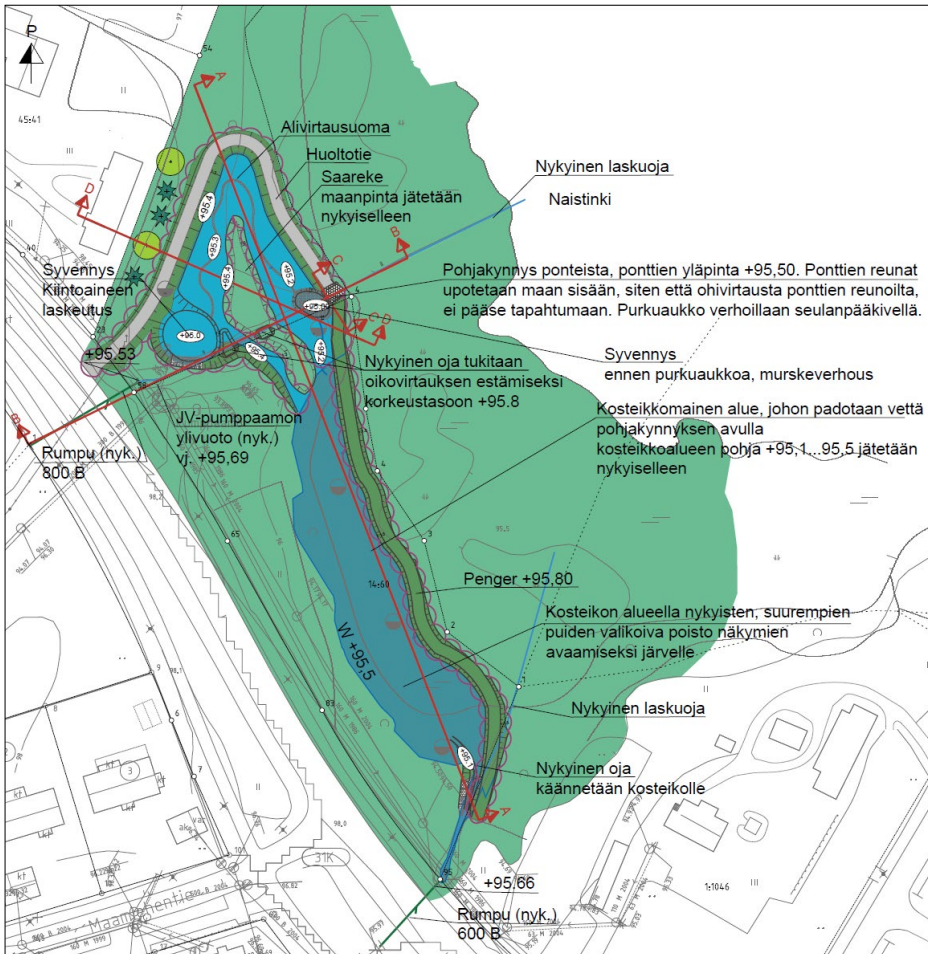
HULEVESIEN KÄSITTELYMENETELMÄT JA HULA-HANKKEEN PILOT-KOhteet

Merkittävin keino hulevesien laadun parantamiseksi erilaisissa käsittelyrakenteissa ennen vesien johtamista edelleen vastaanottavaan vesistöön on veden virtausnopeuden hidastaminen. Virtausnopeuden hidastaminen vaikuttaa veden sisältämän kiintoaineen laskeutumiseen. Suurin osa hulevesien sisältämistä epäpuhtauksista, esimerkiksi ravinteet ja metallit, on tyypillisesti sitoutunut kiintoaineeseen.

Virtausnopeutta voidaan hidastaa muun muassa hulevesirakenteen virtausuoman mutkittamalla, erilaisilla uomaan kaivetuilla syvennyksillä tai kuopilla sekä pohjapadoilla. Virtaamien voimakas vaihtelu hulevesitapahtumien aikaan aiheuttaa helposti eroosiota esimerkiksi tulouomissa, joten tulouoman suulle voi olla hyvä sijoittaa suurempia kiviä virtaaman hajottamiseksi (Kerava 2020, 79). Myös hulevesien suodattamiseen tarkoitetut rakenteet hidastavat luonnollisesti hulevesien virtausnopeutta. Lisäksi hulevesirakenteiden kasvillisuudella on virtausnopeutta hidastava vaikutus (Hulevesiopas 2012). Hula-hankkeen kolmessa eri pilot-kohteessa on hyödynnetty kaikkia edellä mainittuja virtauksen hidastamiskeinoja.

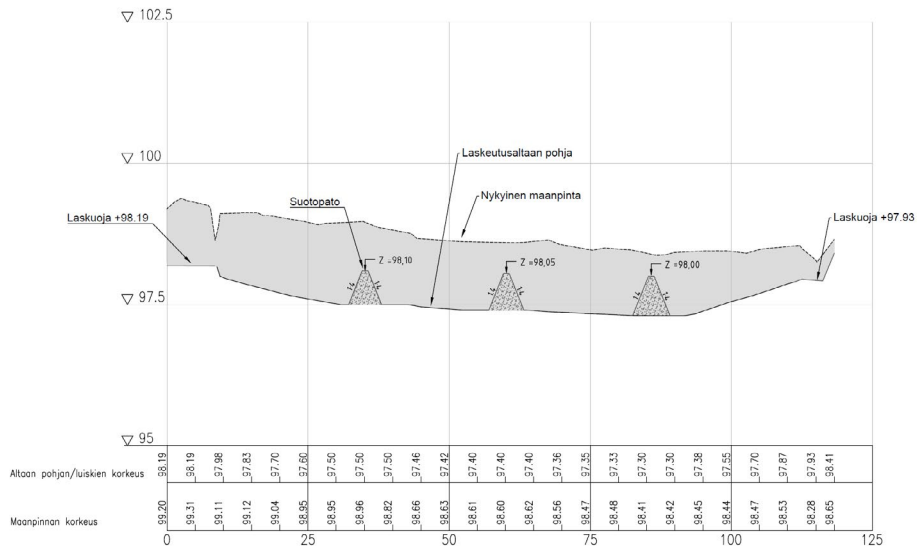
Kuvassa 1 on nähtävillä Naistingin hulevesikosteikon suunnitelmapartta. Kartasta voidaan havaita, että Naistingin hulevesikosteikossa hyödynnetään veden virtauksen hidastamista

virtausuomien muotoilulla, uomaan kaivettujen syvennysten avulla sekä kosteikkomaisella alueella, johon vettä padotaan pohjakynnyksen avulla. Kohteeseen on myös istutettu rantakasvillisuutta ja ajan myötä sinne kasvaa luonnostaan myös muuta kasvillisuutta.



Kuva 1. Naistingin hulevesikosteikon suunnitelmakartta (Ramboll Oy / Mikkelin kaupunki).

Kuvassa 2 on nähtävillä Karikon hulevesialtaan pituusleikkauskuva. Kuvasta voidaan havaita, että altaan tulopuoli syvenee heti laskuojan suun jälkeen. Kun uoma samalla laajenee kapeasta laskuojasta leveämmäksi altaaksi, laskee veden virtausnopeus nopeasti. Pohjapadot puolestaan pidättävät osa-altaaseen laskeutuneen kiintoaineen ja sen sisältämät epäpuhtaudet. Altaasta lähtevä laskuoja on korkeammalla tasolla kuin altaan pohja poistopuolella. Tällöin saadaan altaan vedessä vielä mahdollisesti oleva kiintoaine lopullisesti laskeutumaan altaan pohjalle.



Kuva 2. Karikon hulevesialtaan pituusleikkaus, jossa näkyvät vedenalaiset suotopadot (kuva: Sitowise Oy, Mikkelin kaupunki).

Lisäksi vielä Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmässä (kuva 3) veden hidastamista hyödynnetään jo ennen järjestelmää. Järjestelmää edeltävällä, toisella puolella Ketunniementietä sijaitsevalla ojaosuudella on kolme suotopatoa, joiden välillä on laskeutusaltaita. Lisäksi altaan kasettipohjainen vastaanottosäiliö hidastaa veden kulkua kuten myös järjestelmän poiston puolella oleva imeytys-viivästysalue. Vaikka käsittelyjärjestelmä on rakennettu koeympäristöksi, jossa voidaan tutkia erilaisia suodatinmateriaaleja, eikä täyden mittakaavan hulevedenpuhdistamoksi, on sen yhteydessä rakennetuilla, veden virtausnopeutta vähentävillä rakenteilla Pitkäjärven laskevan huleveden laatua parantava vaikutus.

Hulevesiympäristöissä kasvillisuuden huomioiminen on tärkeä osa suunnittelua. Joissakin tapauksissa haluttujen kasvien kasvumahdollisuuksien parantaminen esimerkiksi rakenteisiin sijoitettavilla kasvualustoilla tai kasvilajien istuttaminen alueelle voi olla hyvä ratkaisu hulevesien puhdistustehokkuuden parantamiseksi. Uusien kasvilajien istuttamisessa tulee tietenkin huomioida niiden soveltuvuus istutettavalle alueelle, jottei ympäristöön esimerkiksi tuoda sinne sopimattomia vieraslajeja (Hulevesiopus 2012).

Kasvillisuuden suunnittelussa tulee myös huomioida käsittelyjärjestelmän hoito- ja huolto- toimenpiteet. Koska ravinteet ja haitalliset aineet siirtyvät vedestä kasveihin, kasvillisuuden kuollessa ja maatuessa aineet voivat siirtyä takaisin veteen, jolloin kasvien suorittama veden puhdistus on ollut hyödytöntä. Tämä saadaan estettyä niittämällä, keräämällä ja hävittämällä kasvillisuusjäte vuosittain. Yleensä leikkuutyö on Suomen olosuhteissa hyvä tehdä kerran vuodessa syys–lokakuussa ennen kuin kasvit kuolevat ennen talvea (Hulevesiopus 2012). Kasvillisuuden huomioiminen hulevesien käsittelyn yhteydessä on tärkeä osa onnistuneita rakenteita. Suunnittelun ja rakentamisen tueksi on saatavilla Suomen Rakennustiedon julkaisema RT-kortti hulevesirakenteiden kasvillisuudesta (RT 103007).

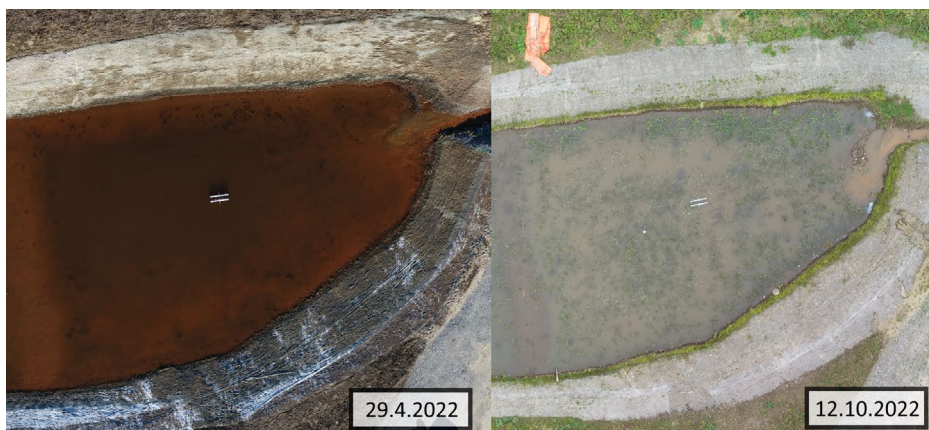
KASVILLISUUS HULA-HANKKEEN KOHTEISSA

Hula-hankkeen aikana kohteiden kasvillisuutta ei seurattu suunnitelmallisesti, mutta kohteissa kasvillisuuden muutoksia tarkkailtiin kenttätyöskentelyn yhteydessä. Vuoden 2021 keväällä valmistuneessa Karikon hulevesialtaassa ei havaittu vesikasvillisuutta syksyllä 2021, mutta vuoden 2022 monitorointikauden aikana tapahtunut kasvillisuuden muutos oli huomattava. Monitorointikauden alussa keväällä altaassa ei ollut havaittavissa juurikaan kasvillisuutta, mutta puolen vuoden aikana altaan maisema muuttui huomattavasti ja erityisesti altaan tulopuolelle kasvoi runsaasti erilaista vesikasvillisuutta (kuva 4).



Kuva 4. Karikon hulevesialtaan tulopuolelle vuoden 2022 aikana kasvanutta vesikasvillisuutta. Alemmissa kuvissa jatkuvatoiminen vedenlaatumittari kasvillisuuden keskellä sekä esimerkkinä alueen reunalta havaittu osmankäämi (kuva: Aki Mykkänen).

Kasvillisuuden lisääntyminen altaassa näkyy erityisen hyvin kohteesta dronella otetuista ilmakuvista (kuva 5). Keväällä 29.4.2022 otetussa dronekuvassa altaassa ei ole havaittavissa kasvillisuutta, kun taas 12.10.2022 otetussa kuvassa altaan tulopuolella on havaittavissa runsaasti kasvillisuutta. Rakenteessa jäljempänä olevissa osa-altaissa kasvillisuutta oli selkeästi vähemmän. Tämä havainto on yhtenäinen vedenlaatutuloksien kanssa, sillä niiden mukaan allas on vähentänyt kiintoainesta ja ravinteita. Ensimmäiseen murskepadon rajaamista osa-altaista jää kiintoainetta ja ravinteita suuri määrä, jolloin se toimii myös parhaana kasvuympäristönä kasveille. On tavallista, että rakennettuihin hulevesiympäristöihin ilmestyy hyvin nopeasti kasvillisuutta, vaikkei sitä olisi sinne istutettu.



Kuva 5. Karikon hulevesialtaan tuloaltaasta keväällä ja syksyllä 2022 otetut dronekuvat. Kuvista havaitaan hyvin altaaseen puolen vuoden aikana muodostunut kasvillisuusmäärä (kuvat: Juha Vihavainen, muokkaukset: Aki Mykkänen).

Kasvillisuus voi vähentää tehokkaasti hulevedessä olevia liukoisia aineita, koska liukoisessa muodossa olevat ravinteet ja yhdisteet ovat suoraan kasvien käytettävissä. Karikon hulevesialtaassa havaittiin viitteitä tästä liukoisten ravinteiden osalta. Altaan tulo- ja poistupuolien välisiä tuloksia vertaillaessa nitriitti ja nitraattityypen määrä (tuleva vesi keskiarvo 751 $\mu\text{g/l}$) on vähentynyt noin seitsemän prosenttia, kun taas fosfaattifosforin (tuleva vesi keskiarvo 18 $\mu\text{g/l}$) määrä 50 prosentilla. Myös liukoisissa metalleissa havaitaan pieniä muutoksia. Liukoisten yhdisteiden lisäksi kasveilla on havaittu myös olevan mahdollisesti mikromuovia vähentäviä ominaisuuksia. Tutkimusten mukaan kasvit voivat pidättää mikromuoveja juurikanavissa, jolloin ne poistuvat vedestä eivätkä pääse alapuolisiin vesistöihin (Kuoppamäki ym. 2021). Tässä on huomionarvoista se, että kasvien lakastuessa mikromuovit voivat vapautua takaisin veteen.

HULEVESIEN SUODATTAMINEN

Hulevesien käsittelyssä on testattu eri tutkimuksissa vuosien varrella hyvinkin erilaisia suodatinmateriaaleja. Suodattamisen vaikutus huleveden laatuun perustuu sekä kemiallisiin, fysikaalisiin että biologisiin reaktioihin. Testattuja materiaaleja ovat olleet muun muassa männyn kaarna, aktiivihiili ja biohiili, shungiitti, hiekka, sora ja puuhake (Rimpeläinen 2019, 10; Morrtinen 2019, 36). Hula-hankkeen yhtenä pilot-kohteena olevassa Pitkäjärven tutkimusympäristössä suodatinmateriaaleina oli käytetty biohiili-sepeli-seosta ja verrokkina pelkkää sepeliä.

Merkittävää materiaalien valinnassa on materiaalin vedenläpäisevyys. Mikäli suodatinmateriaalin vedenläpäisevyys on liian pieni, padottaa materiaali helposti. Mikäli vedenläpäisevyys taas on liian suuri, virtaa hulevesi materiaalin läpi liian nopeasti eivätkä puhdistavat

prosessit suodattimessa ehdi vaikuttaa riittävän tehokkaasti veden laatuun. Materiaaleja joudutaan ajoittain uusimaan, ja jo materiaaleja valittaessa olisi hyvä huomioida materiaalin jatkokäyttömahdollisuudet. Joitakin materiaaleja voidaan pestä, mikä lisää materiaalien käyttöikä. Materiaalien jatkohyödyntämisessä on otettava huomioon niihin kertyneet epäpuhtaudet, esimerkiksi ravinteet, metallit ja mikromuovit.

PUUMATERIAALIT

Mielenkiintoisena uutena mahdollisena keinona puhdistaa hulevesiä voidaan pitää puupohjaisten materiaalien hyötykäyttöä. Vuosina 2018–2020 toteutetussa PuuMaVesi-hankkeessa (Puupohjaisilla uusilla materiaaleilla tehoa metsätalouden vesiensuojeluun ja vesistökuunnostuksiin) tutkittiin eri puulajista tehtyjen, vesistöihin sijoitettujen rankanippujen puhdistavaa vaikutusta. Puurakenteita käytettiin metsätalouden kohteissa, mutta toteutus on helposti monistettavissa myös hulevesikohteisiin.

Metsätalouden kohteissa tehdyn tutkimuksen perusteella puuaines tehostaa veden sisältämien aineiden pidättymistä ja toimii samalla vesieliöstön elinympäristönä. Hankkeessa tehdyn tutkimuksen perusteella todettiin, että puurankojen lisääminen puroihin, ojiin ja lasketusaltaisiin vähensi veden sisältämien aineiden pitoisuuksia kiintoaineen, kemiallisen hapenkulutuksen, kokonaisravinteiden ja orgaanisen hiilen osalta. Veteen sijoitettujen rankojen puhdistustulos perustuu niiden veden virtausnopeutta hidastavaan vaikutukseen ja puurankojen pinnalle syntyvään mikrofilmiin. (Vuori ym. 2021, 4, 21.)

PuuMaVesi-hankkeen innoittamana Mikkelin kaupunki päätti kokeilla puurankojen vaikutusta hulevesien laatuun Karikon altaalla. Altaan poikki sijoitettiin syyskuussa 2022 sekapuusta tehty puurankanippulinja ensimmäisen ja toisen sekä toisen ja kolmannen pohjapadon rajaamiin osa-altaisiin (kuva 6).



Kuva 6. Mikkelin kaupungin Karikon hulevesialtaan poikki sijoittamat rankaniput (kuva: Tuija Ranta-Korhonen).

Rankanippujen sijoittaminen osa-altaisiin laskee altaan pintaveden virtausnopeutta. Tämän vuoksi niiden voi olettaa parantavan altaan puhdistustehoa. Lisäksi rankojen pinnalle syntyvällä biofilmillä on luultavasti oma vaikutuksensa vedenlaatuun. Hula-hankkeen monitoroinnissa syys–lokakuun 2022 aikana ei vielä havaittu rankanippujen aiheuttavan muutoksia vedenlaatuun. Hankkeen puitteissa oli kuitenkin mahdollista monitoroida rankanippujen vaikutuksia ainoastaan hyvin lyhyen aikaa. Monitorointia olisi mielenkiintoista jatkaa vuonna 2023 lumien sulettua.

TEKNIS-TALOUDELLINEN TARKASTELU

Mikkelin kaupunkiin on viime vuosina rakennettu useita erityyppisiä hulevesirakenteita. Suunnittelussa ja rakentamisessa on huomioitu kohteiden erityispiirteet ja rakennuspaikka. Kaupungin alueella on runsaasti erilaisia pienvesistöjä, joilla on tärkeä merkitys sekä kaupunkikuvalle että kaupungin imagolle. Koko Etelä-Savon maakunnan imago rakentuu vesistöille, sillä maakunta identifioituu Saimaan maakunnaksi. Tästäkin syystä vesistöjen hyvällä laadulla on suuri merkitys Mikkelin kaupungille.

Hulevesien käsittelyrakenteiden suunnittelu ja rakentaminen ovat luonnollisesti vaatineet kaupungilta runsaasti myös taloudellista panostusta. Pitkäjärven tutkimusympäristön ra-

kennuskustannukset olivat vuonna 2018 noin 190 000 euroa, josta 70 prosenttia katettiin Euroopan aluekehitysrahaston ja valtion tuella (Mikkeli 2021). Naistingin hulevesikosteikon suunnittelu- ja perustamiskustannukset puolestaan olivat noin 68 000 euroa, ja Karilan hulevesialtaan noin 55 000 euroa (Cederström 2022). Hinnoista saa hyvän käsityksen erityyppisten hulevesirakenteiden suunnittelu- ja rakentamiskustannuksista. Jäljempänä artikkelissa käydään läpi erityyppisten hulevesirakenteiden perustamis- ja huoltokustannuksia Suomessa toteutuneista kohteista löytyvien tietojen perusteella.

TIETOA PERUSTAMIS- JA HUOLTOKUSTANNUKSISTA

KOSTEIKKOMAINEN RAKENNE

Hulevesien määrällisessä hallinnassa hulevesikosteikoilla on merkittävä vaikutus hulevesitulvien estämiselle, virtaaman tasaamiselle ja eroosion ehkäisylle. Lisäksi kosteikko voi vähentää hulevesien määrää imeyttämällä, mikäli maaperän vedenläpäisevyys on kohtalainen. Hulevesien laadullisessa hallinnassa kosteikoilla on hyvä puhdistuskyky (65–100 %) kiintoaineen ja kokonaisfosforin osalta. Kokonaistypen osalta puhdistuskyky on keskitasoinen (30–65 %). (Kuntaliitto 2012, 200–201, 175.)

Kosteikon tilantarve on suurin toteutusta rajoittava tekijä. Mitoitukseltaan kosteikon tulee olla vähintään 1–2 prosenttia valuma-alueen pinta-alasta. Mikäli kosteikolla pyritään poistamaan ravinteita, kosteikon tulee olla jopa 2–4 prosenttia valuma-alueen pinta-alasta. Hulevesikosteikkojen valuma-alueen tulisi kuitenkin olla vähintään kymmenen hehtaaria, mikä mahdollistaa pysyvän vedenpinnan ja kasvillisuuden säilymisen. Valuma-alue voi olla kooltaan pienempi, mikäli riittävä perusvirtaama voidaan varmistaa esimerkiksi purkautuvalla pohjavedellä. (Kuntaliitto 2012, 182, 203.)

Kosteikot soveltuvat pien- ja rivitaloalueille ja liikennealueille, jotka eivät sijaitse pohjavesialueella eivätkä liikennemäärät ole huomattavat. Kosteikot soveltuvat osittain tai tietyin ehdoin kerrostaloalueille, tiheästi rakennetuille alueille ja hotspot-alueille. Ydinkeskustaan ne eivät sovellu tai soveltuvat harvoin. Kosteikot soveltuvat kylmiin ilmasto-olosuhteisiin, ja ne voivat toimia tehokkaasti myös talvella. (Kuntaliitto 2012, 202–204.)

Kosteikon perustamiskustannukset vaihtelevat (taulukko 1). Esimerkiksi Kivipuron kosteikon perustamiskustannukset olivat noin 360 000 euroa ja suunnittelukustannukset 20 000 euroa. Rakennuskustannukset sisälsivät kahden laskeutusaltaan maanrakennustyöt, ojien ja polkujen rakentamisen sekä kosteikkokasvillisuuden istuttamisen. (Punttila 2014, 67.) Kosteikon perustamistapa vaikuttaa merkittävästi kustannuksiin. Kosteikko voidaan toteuttaa esimerkiksi kaivamalla tai patoamalla. Huomattavat perustamiskustannukset syntyvät maan kaivusta, kaivetun maa-aineksen hyödyntämisestä kosteikkorakenteissa, viimeistelytoista sekä rakenteiden ja luiskien muotoilemisesta. (Puustinen ym. 2007, 35, 71.) Kosteikon rakentaminen painanteisiin vähentää rakennustöiden määrää (Kuntaliitto 2012, 175).

Taulukko 1. Kosteikkojen perustamiskustannuksia (Siekkinen 2020a; Siekkinen 2020b; Punttila 2014).

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

Kosteikolle tehtäviä huoltotoimenpiteitä ovat liian rehevän kasvillisuuden, altaiden pohjalle kerääntyneen kiintoaineksen sekä roskien ja vierasesineiden poistaminen. Hulevesikosteikon altaiden pohjalle kertyvän kiintoaineen määrää tulee seurata ja poistaa säännöllisesti kosteikon puhdistustehokkuuden ylläpitämiseksi. Kiintoaineksen poistamisen aikaväli vaihtelee kosteikkokohtaisesti, mutta Ruotsissa suositeltu aikaväli on viisi vuotta tai kun avovesialtaan syvyydestä kymmenen prosenttia on täyttynyt kiintoaineksella. (Kasvio ym. 2016, 18.) Kiintoaine poistetaan lietepumpulla tai kaivinkoneella. Kasvillisuutta tulee niittää noin kolmen vuoden välein. Kunnostusruoppaus tehdään kasvillisuuden kasvaessa liian reheväksi eli noin 10–15 vuoden välein. (Kuntaliitto 2012, 259.)

Vuosina 2012 ja 2013 Kivipuron kosteikon ylläpitokulut olivat 5 000 ja 8 000 euroa. Vuosittainen huolto riippuu muun muassa kasvillisuuden kasvusta, eroosiosta ja kiintoaineen sedimentaatiosta. Ojat tulee tyhjentää 1–2 vuoden välein ja suuremmat altaat joka 5.–10. vuosi. Altaan pohjalle kertyneen kiintoaineen poiston oletettiin maksavan neliometriä kohden yhden euron. (Punttila 2014, 67.) Kuopiossa sijaitsevien kosteikkojen kosteikko-kohtainen kunnossapitokustannuksien keskiarvo oli viiden vuoden aikana 1 387 euroa (Eskelinen 2018, 16).

HULEVESIALLAS

Hulevesien määrällisessä hallinnassa hulevesialtaalla on merkittävä positiivinen vaikutus hulevesitulvien estämiseen, virtaaman tasaamiseen ja eroosion ehkäisyyn. Hulevesien laadullisessa hallinnassa lammikolla on hyvä puhdistuskyky (65–100 %) kiintoaineen ja kokonaisfosforin osalta. Kokonaistypen osalta puhdistuskyky on keskitasoa (30–65 %). (Kuntaliitto 2012, 200–201.)

Hulevesialtaan toteuttamiselle ei yleensä ole huomattavia rajoittavia tekijöitä. Pinta-alaltaan hulevesialtaan tulisi olla noin yksi prosentti, mutta ainakin 0,1–0,2 prosenttia valuma-alueen pinta-alasta. Pysyvän vedenpinnan hulevesirakenteet, kuten hulevesialtaat, vaativat kymmenen hehtaarin valuma-alueen, mikä mahdollistaa pysyvän vedenpinnan ja kasvillisuuden säilymisen. (Kuntaliitto 2012, 172, 182, 203.)

Hulevesialtaat soveltuvat hyvin pien- ja rivitaloalueille ja liikennealueille, jotka eivät sijaitse pohjavesialueella eivätkä liikennemäärät ole huomattavat. Lammikot soveltuvat osittain tai tietyin ehdoin kerrostaloalueille, tiheästi rakennetuille alueille ja hotspot-alueille. Ydinkeskustaan ne eivät sovellu tai soveltuvat harvoin. Lammikot soveltuvat kylmiin ilmasto-olosuhteisiin, ja ne voivat toimia tehokkaasti myös talvella. (Kuntaliitto 2012, 172, 182, 202–204.)

Hulevesialtaan säännöllisiin huoltotoimenpiteisiin kuuluvat muun muassa pohjasedimentin poistaminen, kasvillisuuden hoitotyöt sekä roskien poistaminen. Pysyvän vedenpinnan rakenteiden yhteyteen tulee rakentaa huoltotie, joka mahdollistaa rakenteiden huoltamisen. (Kuntaliitto 2012, 172, 259.) Huomioimalla hulevesialtaan kunnossapito jo suunnitteluvaiheessa voidaan säästää huomattavasti kustannuksissa. Esimerkiksi Hulluojan hulevesialtaan, kooltaan 670 m², kiintoaineen poisto maksoi ennen noin 3 000 euroa, koska altaalle tuleva vesi oli kiintoainepitoista ja luonnonkivillä päällystetylle pohjalle kertyneen kiintoaineen poistaminen vaati hulevesialtaan tyhjentämisen. Lisäksi huoltotoimenpide tehtiin 1–2 kertaa vuodessa, ja se kesti useita työpäiviä. Hulluojan uuden hulevesialtaan suunnittelussa huomioitiin altaan kunnossapito. Uusi hulevesiallas tulee olemaan kokonaistilavuudeltaan 507 m³, ja se sisältää pysyvän vedenpinnan alueen sekä lammikoitumisalueen. Altaan eteen on suunnitelmassa lisätty tasausallas, johon suurin osa kiintoaineesta laskeutuu ja jonka tyhjennys onnistuu kaivinkoneella. Lammikoitumisalueen pohjaksi on valittu eroosiomatto, joka sisältää niittysiemeniä. Huollon kustannusarvion mukaan uuden hulevesialtaan pohjalle laskeutuneen kiintoaineen poistaminen maksaa noin 350 euroa. Huoltotoimenpide on tarkoitus tehdä kerran vuodessa, ja se kestää noin yhden työpäivän. (Rautakoski 2020.)

SUODATUSKAIVO

Suodatuskaivojen hulevesien puhdistustehokkuus perustuu suodatusmateriaalien, kuten hiekan ja soran, kykyyn pidättää haitta-aineita. Yleensä suodatinkerros on paksuudeltaan noin 0,5 metriä. (Ahponen 2005, 75.) Suodatinmateriaalit ovat yksi osa suodatusrakenteiden kustannuksista. Taulukossa 2 on esitetty suomalaisten toimittajien suodatinmateriaalien ohjeellisia hintoja. Hinnat on arvioitu olettaen, että suodatinmateriaalia ostetaan 30 m³. Huomioitavaa on, että joitain suodatinmateriaaleja, kuten biohiiltä, käytetään tyypillisesti seoksissa. (Holt ym. 2018, 38–39.)

Taulukko 2. Suodatinmateriaalien yksikköhintoja vuonna 2017 (Chaurand ym. 2019, 34; Holt ym. 2018, 39).

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

^a Yhdistelmä, joka on samanlainen kuin StormFilter-tutkimuksessa käytetty O/5

^b Murskattu kivi, joka on samanlainen kuin StormFilter-tutkimuksessa käytetty SSr O/16

^c Yksikköhinta vastaa pesemättömän sepelin hintaa. Chaurandin ym. 2019 kokeissa käyttämän sepelin hinta oli noin 45 prosenttia korkeampi

Suodatinkaivojen huoltotoimenpiteisiin kuuluu suodatinkerroksen toimivuuden ja kaivojen kunnon ylläpito. Suodatinkaivo on puhdistettava joka vuosi. Suodatinkaivojen ongelmana on niiden suodatinmateriaalin tukkeutuminen. Suodatinmateriaalien vaihtaminen tapahtuu noin viiden vuoden välein. (Kuntaliitto 2012, 266.)

HULA-HANKKEEN HULEVESIRAKENTEIDEN KUNNOSSAPITOTOIMENPITEET

Tärkeä osa hulevesien käsittelyyn tehtyjen rakenteiden, kuten altaiden tai kosteikoiden, toimivuudesta on hyvin suunnitellut ja toteutetut kunnossapitotoimenpiteet. Muuttuvat sääolosuhteen ja vaihtelevat vesimäärät kuluttavat rakenteita. Vaikka rakenteet toimisivat alussa hyvin, menettävät ne ilman säännöllistä huoltoa toimintatehoaan esimerkiksi rakenteiden muuttumisen, tukkeutumisen tai vaikkapa liiallisen kasvillisuuden muodostumisen myötä. Tällöin hulevesirakenteet voivat pahimmassa tapauksessa muuttua päästölähteeksi ja jopa huonontaa hulevesien tilaa. Joskus näissä muutoksissa voi kestää vuosia, mutta esimerkiksi suurien sadevesitapahtumien myötä nopeasti kasvavat virtaamat tai talviaikainen routa voivat muuttaa veden virtausreitit. Olisikin ensiarvoisen tärkeätä, että hulevesirakenteet käytäisiin tarkastamassa ainakin kerran vuodessa. Kohteesta olisi myös hyvä tehdä eräänlainen kohdekortti, johon käynnit ja mahdolliset huolto- ja korjaustoimenpiteet voitaisiin kirjata.

Koska hulevedet sisältävät myös suuria määriä kiintoainesta, joka sedimentoituu altaisiin tai suodattuu materiaaleihin, on myös rakenteiden säännöllinen vaihto tai puhdistus avainosassa. Esimerkiksi hulevesialtailla on tietty tilavuus, mitä ne voivat pidättää sedimentoituvaa kiintoainetta. Tämän määrän täyttyessä kertynyt kiintoaine ja siihen mahdollisesti sitoutuneet haitalliset aineet ja ravinteet lähtevät taas takaisin liikkeelle veden virtauksen mukana kumoten rakenteella tehdyn puhdistustyön. Jos vettä suodatetaan materiaalien läpi, tukkeutuvat ne ajan saatossa. Tällöin materiaalien läpi kulkeva vesimäärä pienenee ja hulevesien puhdistusteho heikkenee sitäkin kautta (Hulevesiopas 2012). Huoltotoimenpiteiden kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että kohteen ympärillä on riittävästi tilaa, jotta kohteen lähelle on mahdollista päästä esimerkiksi imuautolla tai kaivinkoneella. Samalla on otettava huomioon huoltoreittien rakenteiden kantavuus. Nämä asiat on luonnollisesti huomioitava jo alueen kaavoitus- ja suunnitteluvaiheessa.

Hula-hankkeessa tarkastelluista kohteista Naistingin hulevesikosteikko on malliesimerkki talven (lumen painon ja routimisen) ja muiden sääolosuhteiden aiheuttamista vaurioista hulevesirakenteille. Kosteikossa reunavalli oli talven 2021–2022 ja kevään 2022 aikana vaurioitunut luultavasti routimisen ja sulamisvesien vaikutuksesta. Kohde vaati korjaustoimenpiteitä, jotka päästiin toteuttamaan vasta syyskuussa 2022. Kohteen suunnitelman mukaista toimintaa on kuvattu tarkemmin tämän julkaisun artikkelissa Naistingin hulevesikosteikko – kohdekuvaus ja monitorointikeinot.

Pitkäjärven tutkimusympäristö, joka oli hankkeessa yhtenä tarkasteltavana kohteena, vaatisi myös huoltotoimenpiteitä. Järjestelmän hulevesiä puhdistava vaikutus perustuu veden virtaaman hidastamisen ja kiintoaineen laskeuttamisen lisäksi veden suodattamiseen. Järjestelmässä on viisi kaivoa suodatinmateriaalille, joista neljään laitettiin biohiili-sepeliseosta ja yhteen pelkkää sepeliä vuonna 2019. Neljässä suodatinkaivossa oleva biohiili-sepelisekoitus on havaintojen perusteella selvästi tukkeutunut. Tämä aiheuttaa sen, että niiden läpi virtaava vesimäärä on hyvin pieni verrattaessa sepeliä sisältävään kaivoon. Hula-hanketta edeltävän Huky-hankkeen aikana vuonna 2020 tehtyjen kohteen muutostöiden jälkeen vesi jakautui tasaisesti kaikkien viiden kaivon välille halutulla virtaamalla. Vuonna 2020 neljän biohiili-sepeliseosta sisältävän kaivon yhteinen poistovirtaama on ollut koko vuonna keskimäärin noin 1,3 litraa sekunnissa (Mykkänen 2021). Hula-hankkeen aikana biohiiltä sisältävät neljä kaivoa ovat alkaneet padottaa. Neljän hiilikaivon yhteenlaskettu poistovirtaama vuonna 2022 oli vain 0,2 litraa sekunnissa eli noin 15 prosenttia vuoden 2020 virtaamasta. Vaikuttaisi siltä, että kaivot ovat kyllästyneet ja tukkeutuneet kiintoaineksella (kuva 7).



Kuva 7. Yksi Pitkäjärven suodatinjärjestelmän biohiili-sepeliseosta sisältävistä suodatinkaivoista, joka on padottanut syksystä 2021 lähtien. Kuvassa oikealla näkyvä tuloputki tulisi olla veden yläpuolella, mutta koska suodatinmateriaali on tukkeutunut, ei vettä pääse poistumaan samaa tahtia kuin sitä virtaa kaivoon (kuva: Aki Mykkänen).

Suodatinmateriaalien tukkeutuminen ei ole yllätys, koska samat materiaalit ovat olleet käytössä kaivoissa jo vuodesta 2019. Neljän käyttövuoden aikana suodinmateriaalit ovat pidättäneet huleveden sisältämän kiintoaineen kaivoihin, mutta samaan aikaan kertynyt kiintoaine hidastaa ja lopulta tukkii kaivojen virtauksen. Jatkokäyttöä ajatellen kaivojen materiaalit tulisi vaihtaa uusiin sekä järjestelmän muutkin kaivot tyhjentää pumppuauton avulla. Lisäksi myös järjestelmää edeltävät, suotopatojen väliset laskeutusaltat tulisi tyhjentää niihin kertyneestä kiintoaineksestä. Kuten kaivoihin, on myös altaisiin neljän vuoden aikana jäänyt merkittäviä määriä aineita.

Kiintoainesta kerryttäviin rakenteisiin, kuten laskeutus- ja hulevesialtaisiin sekä avo-ojiin tulisi tehdä säännöllisesti ruoppauksia ja perkauksia. Ruoppausväli on tapauskohtainen, mutta yleisesti kunnostusruoppaus on hyvä tehdä hulevesialtaissa 10–15 vuoden välein. Avo-ojia suositellaan perattavaksi 5–10 vuoden välein. Rakenteita tulee kuitenkin seurata vuosittain ja tyhjentää ne tarvittaessa jo ennen suunniteltua huoltoväliä (Hulevesiopas 2012). Pitkäjärven suodatinjärjestelmää edeltävien laskeutusaltaiden ruoppaus ja perkaus alkaa siis olla ajankohtaista, mutta vasta vuoden 2021 keväällä rakennetun Karikon hulevesialtaan pitäisi toimia ilman ruoppauksia vielä useamman vuoden ajan. Kaikissa kohteissa

myös kasvukaudella muodostuvan kasvillisuuden määrää tulisi tarkastella ja tarvittaessa niittää, kerätä ja hävittää kasvillisuusjäte vuosittain. Lisäksi myös esimerkiksi Pitkäjärven järjestelmää edeltävien suotopatojen kunto tulisi tarkastaa ja tarvittaessa korjata rakenteita niin, että vesi virtaa niistä halutulla tavalla.

YHTEENVETO

Hulevesien käsittelyä varten on olemassa useita erilaisia ratkaisuja, joiden avulla huleveden laatua saadaan parannettua. Hulevesien käsittelyrakenteiden suunnittelussa tulee huomioida valuma-alueen ja rakenteen sijoituspaikan erityispiirteet. Lisäksi tulee huomioida käsittelyrakenteiden seuranta sekä huoltotoimenpiteet. Huonosti huolletut rakenteet voivat pahimmassa tapauksessa heikentää alapuolisten vesistöjen tilaa entisestään. Vaikka rakenteista tulisi suunnitella mahdollisimman huoltovapaita, tulee niiden toimintaa silti ajoittain tarkastella ja huoltaa niille soveltuvalla tavalla.

Oikein suunnitelluilla, toteutetuilla ja huolletuilla hulevesirakenteilla saadaan aikaiseksi vedenlaatua parantava vaikutus, jolloin ihmistoiminnasta aiheutuva kuormitus vesistöihin vähenee. Erityisesti kaupunkialueilla, joilla sadevettä läpäisemätöntä pintaa on runsaasti, on hulevesisuunnittelu tärkeässä osassa vesistöjen kunnon ylläpitämiseksi.

Hula-hankkeen pilot-kohteilla todettiin suoritetun monitoroinnin perusteella olevan hulevesien laatua parantava vaikutus, olkoonkin, että Naistingin hulevesikosteikon toimintaa ei ollut mahdollista tarkastella riittävästi. Kohteiden rakennuskustannukset erosivat toisistaan huomattavasti. Rakennuskustannuksilla on luonnollisesti oma merkityksensä hulevesien käsittelyrakenteita suunniteltaessa ja rakennettaessa. Hulevedet ovat kiinnostava tutkimusaihe ja hulevesirakenteiden toiminnasta löytyy runsaasti tarkasteltavaa. Oma tutkimuskohteensa on lisäksi hulevesirakenteiden huolto- ja kunnossapitotyöt, sekä esimerkiksi rakenteisiin kertyvän lietteen laatu ja jatkokäyttö.

LÄHTEET

Ahponen, H. 2005. Luonnonmukaisten hulevesienkäsittelymenetelmien ja aluesuunnittelun keinoin kohti parempaa taajamahydrologiaa. Vakkilainen, P., Kotola, J. & Nurminen, J. (toim.) Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. Helsinki: Ympäristöministeriö, 64–71. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40647/SY_776.pdf?sequence=1 [viitattu 11.11.2022].

Cederström, A. 2022. Henkilökohtainen tiedonanto 14.11.2022.

Chaurand, G., Sillanpää, N., Hänninen, T., Kauppila, E., Hyöty, P. & Hyöty, P. 2019. Lentoaseman hulevesi käsitellään pian maanalaisessa kosteikossa. *Vesitalous* 2 (2019), 17–23. Verkkolehti. Saatavissa: https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902_lowres.pdf [viitattu 11.11.2022].

Eskelinen, A. 2018. Hulevesirakenteiden kunnossapito Kuopiossa. Savonia ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala. Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/141702/Eskelinen_Anna-Kaisa.pdf.pdf?sequence=1 [viitattu 11.11.2022].

Holt, E., Koivusalo, H., Korkealaakso, J., Sillanpää, N. & Wendling, L. 2018. Filtration Systems for Stormwater Quantity and Quality Management. Guideline for Finnish Implementation. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2018/T338.pdf> [viitattu 11.11.2022].

Hulevesiopus. 2012. Suomen kuntaliitto. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BE524727D-9C28-494C-84DC-EE3AD26E45F9%7D/115796> [viitattu 2.11.2022].

Järveläinen, J., Kuoppamäki, K. & Pöysti, M. 2019. Hulevesien siirto, biosuodatuskäsittely ja suodatusmateriaalien vertailu Lahdessa. *Vesitalous* 2/2019. https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902_lowres.pdf.

Kasvio, P., Ulvi, T., Koskiaho, J. & Jormola, J. 2016. Kosteikkojen ja biosuodatusalueiden toimivuus hulevesien käsittelyssä. HULE-hankkeen loppuraportti. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 2016:7. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/160201/SYKEra_7_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 11.11.2022].

Kaupunkitilaohje 2022. Helsingin kaupungin kaupunkitilaohje. Hulevesi- ja kosteikkokasvillisuus. Päivitetty 20.9.2022. <https://kaupunkitilaohje.hel.fi/kortti/hulevesi-ja-kosteikkokasvillisuus/>.

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

Kuoppamäki, K., Pflugmacher Lima, S., Scopetani, C. & Setälä, H. 2021. The ability of selected filter materials in removing nutrients, metals, and microplastics from stormwater in biofilter structures. *Journal of Environmental Quality*, 50(2), 465–475. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20201>.

Mikkeli 2021. Hulevesien käsittelyn T&K -ympäristö -investointihanke. <https://mikkeli.fi/tietoja-mikkelista/hankkeet-ja-projektit/hulevesien-kasittelyn-tk-ymparisto-investointihanke/>

Mykkänen, A. 2021. Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö. Xamk kehittää 161. Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Mörttinen, A.-P. 2019. Hulevesien puhdistamiseen käytettävät suodatinmenetelmät. Opinnäytetyö LAMK. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/161295/Morttinen_Ari-Pekka.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Punttila, E. 2014. Cost-benefit analysis of municipal water protection measures – Environmental benefits versus costs of implementation. Publications by City of Helsinki Environment Centre 2014:21. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-21-14.pdf> [viitattu 11.11.2022].

Puustinen, M., Koskiahho, J., Jormola, J., Järvenpää, J., Karhunen, A., Mikkola-Roos, M., Pitkänen, J., Riihimäki, J., Svensberg, M. & Vikberg, P. 2007. Maatalouden monivaikutteisten kosteikkojen suunnittelu ja mitoitus. Suomen ympäristökeskuksen julkaisuja 2007:21. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38401/SY_21_2007.pdf?sequence=3&isAllowed=y [viitattu 11.11.2022].

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

Rimpeläinen, A.-M. 2019. Hulevesisuodattimen tekniset ratkaisut. Kandidaatintyö, LUT-yliopisto. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159775/Kandidaatintyo_Rimpelainen_Aino.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

RT 103007. Hulevesirakenteiden kasvillisuus. Ohjekortti, lokakuu 2018.

Siekinen, J. 2020a. Kempeleen Metsärinteen hulevesikosteikkojen toimenpidesuunnitelma. Päivitetty 11.5.2020. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kempele.fi/media/kempeleen-mets-e4rinteen-hulevesikosteikkojen-toimenpidesuunnitelma-11.5.2020-juha-siekinen-kosteikkomaailma.pdf> [viitattu 11.11.2022].

Siekinen, J. 2020b. Raahen Ruottalonlahden hulevesikosteikon toimenpidesuunnitelma. Päivitetty 18.6.2020. Saatavissa: <https://www.raahe.fi/sites/raahe.fi/files/liitetiedostot/Raahen%20Ruottalonlahden%20hulevesikosteikon%20toimenpidesuunnitelma%2018.6.2020%20Juha%20Siekinen%20Kosteikkomaailma.pdf> [viitattu 11.11.2022].

Vuori, K.-M., Leppänen, M., Koljonen, S., Jämsén, J., Vaso, A., Keskinen, E., Hämäläinen, H., Nieminen, M., Huotari, E. & Soimasuo, J. 2021. Puupohjaisilla uusilla materiaaleilla tehoa metsätalouden vesiensuojeluun ja vesistökuunnostuksiin. PuuMaVesi-hankkeen lopuraportti. 30.1.2021.

