



Suoto- ja hulevesien uudet käsittelymenetelmät

Salla Pulliainen (toim.)

Salla Pulliainen (toim.)

Suoto- ja hulevesien uudet käsittelymenetelmät



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

MIKKELI

MIKSEI MIKKELI



Etelä-Savon
maakuntaliitto

XAMK KEHITTÄÄ 228

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2023



Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Mikkelin kaupungin yhteishankkeessa Deve – Demonstraatioympäristö kaatopaikan suoto- ja hulevesien ympäristökuormituksen vähentämiseksi (A78203) ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy:n yhteishankkeessa Devo – Kaatopaikan suoto- ja hulevesien uudet käsittelymenetelmät (A78199) toteutettiin ja kehitettiin uudenlaisia ratkaisuja kaatopaikkojen suoto- ja hulevesien käsittelyyn. Deve-hanketta rahoitti Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta. Devo-hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta ja Metsäsairila Oy. Hankkeiden toteutusaika oli 1.7.2021–30.11.2023.

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Kannen kuva: Manu Eloaho
Taitto: Grano Oy
ISBN: 978-952-344-556-7 (PDF)
ISSN: 2489-3102 (verkko)

julkaisut@xamk.fi

LUKIJALLE

Deve- ja Devo-hankkeiden päätoteuttajana toimi Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Deve-hankkeen osatoteuttajana toimi Mikkelin kaupunki ja Devo-hankkeen osatoteuttajana Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa hankkeiden projektipäällikkönä toimi ins. (AMK) Salla Pulliainen. Devo-hankkeessa projektitutkijana koko hankkeen ajan toimi ins. (AMK) Aki Mykkänen. Lisäksi hankkeen tutkimusinsinöörinä toimi 1.7.2021–31.10.2022 ins. (AMK) Jussi Konttila ja projektitutkijana 1.12.2022–30.11.2023 ins. (AMK) Matti Hämäläinen. Deve-hankkeessa Mikkelin kaupungin osuuden toteuttajana toimi kehitysinsinööri ins. (AMK) Sari Hämäläinen. Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n osuudessa Devo-hankkeessa projektipäällikkönä toimi DI Panu Jouhkimo.

Hankkeiden vastuullisena johtajana Xamkissa toimi Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan tutkimusjohtaja Lasse Pulkkinen, hankkeen yhteyshenkilönä Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan tutkimusryhmäpäällikkö, TKT Hanne Soininen ja hankeasian-tuntijana Hanna-Maija Penttinen. Hanketyön etenemistä ohjasi ja valvoi ohjausryhmä, johon kuuluivat suunnittelupäällikkö Antero Cederström, ympäristösuunnittelija Heikki Tanskanen ja BEM-koordinaattori Juha Kauppinen Mikkelin kaupungilta, kehityspäällikkö Jonne Gråsten Metsäsairila Oy:stä, ohjelmajohtaja Jussi Heinimö Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:stä, Jyrki Hämäläinen Etelä-Savon ELY-keskuksesta, Charlotta Liukas Carbo Culture Oy:stä, Aki Partanen Ramboll Oy:stä, Eveliina Repo Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUTista, Juha-Pekka Saarelainen Watec Consulting Oy:stä, Hannu Salmi Benetech Finland Oy:stä sekä Hanne Soininen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta.

Hankkeen ohjausryhmässä rahoittajan edustajana toimi kehittämisspäällikkö Sanna Poutamo Etelä-Savon maakuntaliitosta. Hanketoimijat kiittävät hankkeen rahoittajia kehittämistyön mahdollistamisesta sekä muita hankkeeseen osallistuneita aktiivisesta osallistumisesta hanketyöhön.

TIIVISTELMÄ

Ennen 2000-lukua yhdyskunta- ja teollisuusjätteiden loppusijoittaminen kaatopaikoille on Suomessa ollut tyypillinen jätteidenkäsittelymuoto, ja kaatopaikoille onkin saattanut päästä nykyisin ongelmajätteiksi lajiteltuja jätteitä. Kaatopaikoilta muodostuu ympäristöä kuormittavia aineita sisältäviä suotovesiä, joiden mukana kaatopaikkojen alapuolisiin vesistöihin voi kulkeutua pistekuormitusta aiheuttavia ravinteita ja haitta-aineita. Pistekuormitusta voidaan vähentää käsittelemällä suotovesiä jo niiden syntypaikalla.

Deve- ja Devo-hankkeissa kehitettiin kaatopaikkojen suoto- ja hulevesien käsittelyä toteuttamalla uudenlaisia ratkaisuja vesien käsittelyyn sekä testaamalla kaatopaikkavesien biologisia puhdistusmenetelmiä. Menetelmiä testattiin Ristiinan suljetulle kaatopaikalle toteutetulla pilottijärjestelmällä sekä Metsäsairilan lajittelu- ja kierrätyskeskuksen suoto- ja hulevesialtaiden yhteyteen sijoitetussa demonstraatioympäristö Vesikossa. Molemmissa kohteissa tavoitteena oli vähentää suotoveden tyypipitoisuutta biologisen typenpoiston avulla sekä testata haitta-aineiden puhdistamista vedestä suodatinmateriaalien avulla. Lisäksi tavoitteena oli näiden pilottien avulla kehittää kaatopaikkavesien käsittelyyn soveltuvaa, monistettavaa ja mahdollisimman huoltovapaata ratkaisua.

Kaatopaikkojen suotovedet voivat olla erittäin väkeviä ja sisältää suuria pitoisuuksia erilaisia haitta-aineita ja ravinteita. Suotovesien laatu asettaakin vaatimuksia käsittelyprosessiin, ja esimerkiksi biologista typenpoistoa kehitettiin hankkeen aikana optimoimalla muun muassa käsiteltävän veden hapetusta ja viipymää. Kokeilujen perusteella biologinen typenpoisto on monivaiheinen prosessi, jossa niin käsiteltävän veden laadulla kuin ympäristöolosuhteillakin on vaikutusta lopputuloksen saavuttamiseen. Tulosten perusteella yhdessä kohteessa toimivaa prosessia ei voi suoraan monistaa toiseen kohteeseen, sillä kaatopaikkojen suotovedet ovat laadultaan aina kohdekohtaisia.

Asiasanat: demonstraatio, hulevesi, suotovesi

ABSTRACT

The South Savo area has many disused landfills. Before the 2000s, disposing municipal and industrial waste in landfills was a typical form of waste treatment in Finland, and hazardous waste may have reached landfills. Landfills produce leachate-containing substances that burden the environment, which can carry nutrients and harmful substances that cause point pollution into the waterways below the landfills. Point pollution can be reduced by treating leachate at its source.

The Deve and Devo projects developed the treatment of landfill leachate and stormwater by implementing new solutions for water treatment and testing the biological treatment of landfill water. The methods were tested with the pilot equipment implemented at the closed landfill in Ristiina and the demonstration environment in Vesikko, located in connection with the leachate and stormwater basins of Metsäsairila's sorting and recycling center. At both sites, the goal was to reduce the leachate's nitrogen content via biological nitrogen removal and to test the purification of harmful substances from the water through filter materials. Additionally, the goal was to use these pilots to develop a duplicable solution suitable for the treatment of landfill water, whose processes would not require chemicals to operate and which would be as maintenance-free as possible.

Leachates from landfills can be very concentrated and contain high concentrations of harmful substances and nutrients. The leachate's quality places demands on the treatment process, and, for example, biological nitrogen removal was developed during the project by optimizing, among other things, the oxidation and retention of the treated water. Based on the experiments, biological nitrogen removal is a multi-stage process, where the quality of the treated water and the environmental conditions affect the final result. Based on the results, a process that works at one site cannot be directly duplicated at another site because leachate quality from landfills is always site-specific.

Keywords: demonstration, leachate, stormwater

KIRJOITTAJAT

JANINA HEINILEHTO,

insinööri (AMK), opiskelija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

MATTI HÄMÄLÄINEN,

insinööri (AMK), projektitutkija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

SARI HÄMÄLÄINEN,

insinööri (AMK), kehitysinsinööri
Mikkelin kaupunki

PANU JOUHKIMO,

DI, projektipäällikkö
Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy

JUSSI KONTTILA,

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

AKI MYKKÄNEN,

insinööri (AMK), projektitutkija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

SALLA PULLIAINEN,

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

JUHA-PEKKA SAARELAINEN,

insinööri (AMK), toimitusjohtaja
Watec Consulting Oy

HANNE SOININEN,

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

JOHANNA VALJAKKA,

insinööri (AMK), opiskelija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

SISÄLTÖ

| | |
|---|-----|
| LUKIJALLE | 5 |
| TIIVISTELMÄ..... | 6 |
| ABSTRACT..... | 7 |
| KIRJOITTAJAT | 8 |
| DEVE- JA DEVO-HANKKEISSA KEHITETTIIN KAATOPAIKKOJEN SUOTO- JA HULEVESIEN KÄSITTELYÄ..... | 10 |
| Salla Pulliainen & Hanne Soinin & Panu Jouhkimo | |
| KAATOPAIKKAVESIEN OMINAISUUDET JA KÄSITTELY | 13 |
| Salla Pulliainen & Janina Heinilehto | |
| KAATOPAIKKAVESIEN BIOLOGINEN TYPENPOISTO | 18 |
| Salla Pulliainen & Matti Hämäläinen & Johanna Valjakka | |
| RISTIINAN SULJETUN KAATOPAIKAN BIOSUODATUSLAITTEISTO..... | 23 |
| Salla Pulliainen & Sari Hämäläinen & Juha-Pekka Saarelainen | |
| SUOTOVEDEN ESIKÄSITTELY RAUDAN POISTAMISEKSI..... | 32 |
| Salla Pulliainen & Jussi Konttila | |
| SUOTOVEDEN TYPENPOISTON KOKEET RISTIINAN PILOTTIJÄRJESTELMÄLLÄ..... | 41 |
| Salla Pulliainen & Jussi Konttila | |
| SUOTOVEDEN TYPENPOISTON JATKOKOKEET RISTIINAN PILOTTIJÄRJESTELMÄLLÄ..... | 58 |
| Salla Pulliainen & Sari Hämäläinen | |
| VESIKKO - DEMONSTRAATIOYMPÄRISTÖ VESIEN KÄSITTELYYN | 82 |
| Salla Pulliainen & Panu Jouhkimo & Juha-Pekka Saarelainen | |
| SUOTOVEDEN KÄSITTELYKOKEET VESIKOLLA..... | 88 |
| Salla Pulliainen & Matti Hämäläinen & Aki Mykkänen | |
| YHTEENVETO KAATOPAIKKAVESIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMISTÄ..... | 108 |
| Salla Pulliainen | |

DEVE- JA DEVO-HANKKEISSA KEHITETTIIN KAATOPAIKKOJEN SUOTO- JA HULEVESIEN KÄSITTELYÄ

Salla Pulliainen & Hanne Soininen & Panu Jouhkimo

Deve – Demonstraatioympäristö kaatopaikan suoto- ja hulevesien ympäristökuormituksen vähentämiseksi (A78203) ja Devo – Kaatopaikan suoto- ja hulevesien uudet käsittelymenetelmät (A78199) -kokonaisuuden tavoitteena oli kehittää monistettava ja siirrettävä ratkaisu kaatopaikoilla muodostuvien vesien käsittelyyn, kiinnittää uusia yrityksiä mukaan EcoSairilan kehittämisalustan toimintaan sekä vahvistaa alueen vesien käsittelyyn liittyvää innovaatiotoiminnan ekosysteemiä ja liiketoimintaa. Deve-hankkeen toteutuksesta vastasivat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja Mikkelin kaupunki ja Devo-hankkeen toteutuksesta Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy. Hankkeet alkoivat 1.7.2021 ja päättyivät 30.11.2023.

Pilottiympäristöt kehitystyön pohjana

Deve-hankkeen tavoitteena oli perustaa uudenlainen demonstraatioympäristö jäteaseman suoto- ja hulevesien käsittelyyn. Tavoitteena oli täydentää jo olemassa olevaa EcoSairilan kehittämisalustan vesienkäsittelyn TKI-ympäristöjen kokonaisuutta ja edistää kestävä teknologian käyttöönottoa ja yhteistyötä eri toimijoiden välillä. Lisäksi Deve-hankkeen tavoitteena oli päivittää Ristiinan vanhan kaatopaikan biosuodatuslaitteistoa uudella raudan esipuhdistimella biologisen typenpoiston käynnistämiseksi.

Devo-hankkeen tavoitteena oli kehittää uuden demonstraatioympäristön ja Ristiinan pilottilaitteiston avulla luonnonmukaisia menetelmiä jäteasemien ja suljettujen kaatopaikkojen suoto- ja hulevesien käsittelyyn sekä testata eri suodatinmateriaalien soveltuvuutta käsittelyä vaativille vesille (kuva 1). Pyrkimyksenä oli löytää kustannustehokas ja mahdollisimman huoltovapaa suotovesienkäsittelyratkaisu muun muassa raudan ja ammoniumtypen poistamiseen sekä selvittää ratkaisun markkinapotentiaali ja skaalattavuus.



Kuva 1. Devo-hankkeessa kehitettiin kaatopaikalta muodostuvien vesien käsittelyä (kuva Manu Eloaho).

Hankkeiden toimenpiteet jakautuivat yhteensä neljään työpakettiin:

- Deve – Demonstraatioympäristö kaatopaikan suoto- ja hulevesien ympäristökuorituksen vähentämiseksi
- Demonstraatiokokeet kaatopaikkojen suoto- ja hulevesien käsittelyssä
- Toteutettavien hulevesien käsittelyratkaisujen kaupallistamismahdollisuudet sekä yritysten TKI-toiminnan aktivointi
- Viestintä ja raportointi.

Tuloksena uutta tietoa biologisista käsittelyratkaisuista

Käytännön laboratorio- ja pilottimittakaavan kokeilujen kautta hankkeiden tuloksena saatiin uutta tietoa kaatopaikkavesien biologisesta käsittelystä niiden syntypaikalla. Tuotetun tiedon ja kehitetyn tekniikan kaupallistaminen on merkittävä askel kohti ympäristön kannalta haastavien kohteiden suoto- ja hulevesien tehokkaampaa käsittelyä. Kunnat, yritykset ja muut alan toimijat voivat hyödyntää hankkeessa tuotettua tietoa kaatopaikkavesien käsittelyprosesseista ja niiden optimoinnista sekä biosuodatinmateriaaleista ja niiden käytöstä.

Hankkeessa toteutettu demonstraatioympäristö Vesikko vahvistaa Etelä-Savon alueen asemaa vesiosaajana sekä uusien vedenkäsittelyratkaisujen edelläkävijänä. EcoSairilan alueelle sijoitettava demonstraatioympäristö Vesikkoa hyödynnetään yhteistyössä yritysten ja TKI-toimijoiden kanssa uusien kaupallistettavien tuotteiden kehittämiseksi.

Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy vastasi kokonaisuudessa suoto- ja hulevesien käsittelyratkaisujen kaupallistamismahdollisuuksien selvittämisestä sekä yritysten TKI-toiminnan aktivoimisesta. Hankkeessa pyrittiin tunnistamaan potentiaalisia yhteistyökumppaneita, jotka voisivat hyödyntää ympäristöä tutkimus-, kehitys- ja testaustoiminnassa. Lisäksi yrityksiä kannustettiin osallistumaan Vesikko-demonstraatioympäristöä hyödyntävien kehityshankkeiden toteutukseen. Hankekokonaisuudesta ja Vesikko-demonstraatioympäristöstä tuotettu materiaali liitettiin osaksi EcoSairilan verkkosivustoa, <https://ecosairila.fi/blue-economy-mikkeli/bem-osaamiskeskus/tki-ymparistot/>, ja sitä hyödynnetään EcoSairilan ja Blue Economy Mikkelin viestinnässä.

KAATOPAIKKAVESIEN OMINAISUUDET JA KÄSITTELY

Salla Pulliainen & Janina Heinilehto

Vuoden 1994 jäteasetuksen ja uuden jätelain voimaantulon jälkeen Suomessa lopetettiin paljon kaatopaikkoja. Monien kaatopaikkojen käyttö on ollut ympäristölle haitallista, ja sulkemistoimet ovat olleet puutteellisia. Tieto jätteiden aiheuttamista ympäristöriskeistä sekä velvoittava lainsäädäntö kaatopaikkoihin liittyen ovat kehittyneet vasta viime vuosikymmenten saatossa. Suomen ympäristökeskus julkaisi vuonna 2008 oppaan, jonka mukaan vanhoja riskikartoitettuja sekä puutteellisesti suljettuja kaatopaikkoja tulee kunnostaa uudelleen ja jälkihoitaa asianmukaisesti. (SYKE 2008; Porthen 2018, 9–10.)

Vanhat kaatopaikat Suomessa voivat merkittävästi kuormittaa alapuolisia vesistöjä, kun ravinteet, raskasmetallit ja haitta-aineet huuhtoutuvat vesistöihin suoto- ja hulevesien mukana. Suotovesiä muodostuu vanhoilla kaatopaikoilla keskimäärin noin 3–5 m³/vrk/ha. Tieto kaatopaikan historiasta sekä suotovesien muodostumisesta alueella edesauttaa määrittämään kaatopaikan aiheuttamaa ympäristökuormitusta. (Mykkänen ym. 2021a, 92–93.)

Suotovesi

Kaatopaikan suotovedellä tarkoitetaan kaatopaikalle sijoitetun jätteen läpi suotautuvaa nestettä, joka purkautuu kaatopaikasta tai jää kaatopaikkaan. Jätetäytön läpi suotautunut vesi huuhtoo ja liuottaa jätteestä eri yhdisteitä aineiden liukoisuusominaisuuksien perusteella. Suotovesien muodostumiseen ja laatuun vaikuttavat esimerkiksi jätteiden laatu, määrä, hajoamisvaihe sekä kaatopaikan ikä. Lisäksi kaatopaikan rakenneratkaisuilla ja täyttötekniikalla on suuri rooli suotovesien muodostumisen kannalta. Koska monien kaatopaikkojen käytön aikainen hoito tai sulkemisen aikaiset toimenpiteet ovat olleet aikansa lakien ja asetusten mukaisia, rakenneratkaisut ja täyttötekniikat voivat olla puutteellisia nykyasetuksiin nähden. (Mykkänen ym. 2021b, 8; VTT 2009, 13.)

Kaatopaikkavesien ravinteet

Suotovedet sisältävät tyypillisesti runsaasti typpeä (N). Typpi esiintyy tavallisesti suotovesissä ammoniumtyyppinä (NH₄-N), jota muodostuu jätteistä niiden proteiinien anaerobisessa hajoamisessa. Typpi ei sitoudu jätetäyttöön, vaan kulkeutuu suotovesien mukana

vesistöihin. (Flöjt 2010, 8; VTT 2009, 15.) Liiallinen typpi rehevöittää vesistöjä, jonka seurauksena vesistöjen elinvoimaisuus hiipuu. Rehevöityneissä vesistöissä levälauttojen ja kasviplanktonin kasvu kiihtyy ja vesi samenee. Lisäksi vesistön lajisto yksipuolistuu ja köyhtyy, jonka seurauksena luonnon monimuotoisuus heikkenee. (Luonnontila 2014.)

Fosforia (P) esiintyy kaikkialla maaperässä ja vesistöissä niin elävissä organismeissa kuin kuolleissa orgaanisissa aineissa. Suotoveden fosforipitoisuuteen vaikuttavat kaatopaikan jätteiden laatu sekä maaperän ominaisuudet, kuten rakenne, happamuus ja maa-aines. Maataloudessa ja teollisuudessa käytetään paljon fosforia, joka vaikuttaa myös sieltä tulevien jätteiden fosforipitoisuuteen.

Suotoveden virtaus jätetäytön läpi liuottaa fosforia jätteistä. Typen tavoin liian korkea fosforipitoisuus vesistöissä rehevöittää vesistöjä ja kiihdyttää muun muassa levien kasvua. Luonnonvesissä fosforia on yleensä vähäisiä määriä, mutta tietyissä olosuhteissa sitä voi vapautua veteen esimerkiksi pohjasedimentistä, jonne fosforia on varastoitunut vettä runsaammin. (Hytti 2013.)

Haitta-aineet

Kaatopaikan suotovesissä esiintyviä raskasmetalleja ovat esimerkiksi lyijy (Pb), kadmium (Cd) ja elohopea (Hg). Niiden liukenemis- ja esiintymismuoto suotovedessä vaihtelee, ja raskasmetallit voivat olla sitoutuneena myös orgaaniseen aineeseen. Suotoveden alhainen pH edistää raskasmetallien liukenemistä jätteistä suotoveteen. (Kosonen 2021, 13; VTT 2009, 16.)

Raskasmetallit ovat sekä terveydelle että ympäristölle haitallisia metallista ja sen pitoisuudesta riippuen. Jo pienet pitoisuudet tiettyä raskasmetallia voivat heikentää eliöiden kasvua ja häiritä niiden lisääntymistä, ja eliöstömuutoksen seuraukset voivat ulottua jopa ekosysteemin rakennemuutoksiin asti. Suuret raskasmetallipitoisuudet myrkyttävät vesieliöitä, ja pitkäaikainen altistuminen voi aiheuttaa lajistomuutoksia. (SYKE 2019b, 17.)

Metalleista rauta on tärkeä hivenaine kaikille elollisille organismeille. Luonnossa sitä esiintyy paljon maaperässä. Maaperästä rautaa kulkeutuu vesistöihin ja pohjavesiin esimerkiksi eroosion ja rapautumisen vaikutuksesta. Punainen tai ruskea sävy maaperässä tai vedessä kertoo sen rautapitoisuudesta.

Biologinen hapenkulutus (BOD) kertoo vedessä olevasta biohajoavan orgaanisen aineen määrästä, jota pieneliöt hajottavat. Kemiallinen hapenkulutus (COD) puolestaan kertoo veden kaikista kemiallisesti vettä hapettavista aineista, joista kaikki eivät ole biohajoavia. Näitä biohajoamattomia yhdisteitä vedessä ovat esimerkiksi lääkeaineet ja teollisuuskemikaalit. Kemiallista hapenkulutusta mittaamalla saadaan tietoa veden laadusta ja mahdollisten päästöjen ympäristökuormituksesta.

Suodatusmenetelmät veden käsittelyssä

Biosuodattaminen on luonnollinen puhdistusmenetelmä, jonka avulla kaatopaikan suoto- ja hulevesiä voidaan puhdistaa ympäristölle haitallisista aineista. Biosuodattamisessa suoto- ja hulevesiä johdetaan suodattimeen, jossa veden painovoimaisen valunnan aikana vedestä poistuu haitta-aineita mekaanisten, biologisten sekä kemiallisten prosessien vaikutuksesta suodatinmateriaalin partikkeleihin sedimentoitumalla. Biosuodatuksessa haitta-aineiden partikkeliolomuoto pidättyy biosuodattimessa liuenutta olomuotoa helpommin (SYKE 2016, 20). Biosuodattimiin perustuvia menetelmiä käyttämällä voidaan keventää vesistöjen haitta-ainekuormitusta ja edistää ympäristöterveyttä. Tieto käytettävän suodatinmateriaalin raaka-aineesta ja valmistusprosessista on keskeistä määrittelyssä sen käyttökelpoisuutta haluttuun kohteeseen. (Mykkänen ym. 2021b, 8; Kirjokivi & Haapea 2018; Saario & Laurila 2019, 21.)

Biosuodatus poistaa tehokkaasti raskasmetalleja (Kirjokivi 2018, 27). Suodatusreaktiossa veteen liuenneet raskasmetallimolekyylit kiinnittyvät orgaanisen suodatinmateriaalin partikkeleihin. Pintakiinnitys voi tapahtua fysikaalisena, kemiallisena tai ioninvaihtoadsorptiona. (Farre 2015, 13.)

Raudanpoisto suotovedestä edellyttää paljon happea. Hapellisissa olosuhteissa suotoveden rauta saostuu sakaksi, ja kyseissä saostumisreaktiossa kuluu paljon happea. Korkea rautapitoisuus voi häiritä biosuodatusprosessia muiden poistettavien aineiden osalta hapen kulutuksen vuoksi. Lisäksi syntyvä sakka voi tukkia suodatinjärjestelmän. Mikäli rautapitoisuus suotovedessä on korkea ja happea tarvitaan myös jatkokosprosessissa, tulee rauta poistaa esikäsitteilyllä. Fosfori saostuu raudan tavoin esipuhdistimen altaan pohjalle sakaksi. Esipuhdistimen avulla estetään bioreaktorin tukkeutuminen sekä mahdollistetaan suodattimen optimaalinen suodatusteho muiden vesistöä kuormittavien aineiden osalta.

Kaatopaikkavesien fosforin vähentämiseksi on olemassa useita eri menetelmiä. Fosfori saostuu usein raudan mukana, joten fosforin ja raudan poistoon käytetään usein samaa menetelmää. Biosuodatinta käyttämällä fosfori suodattuu biosuodattimessa sedimentoitumalla tai imeytymällä. Sedimentoitumisessa fosfori kerrostuu suodatinmateriaalin pinnalle ja imeytymisessä fosfori suodattuu orgaaniseen suodatinmateriaaliin. Kiintoaineeseen sitoutunut fosfori pidättyy suodatinmateriaaliin tehokkaasti, mutta fosfaattifosforin eli liukoisessa muodossa olevan fosforin suodattuminen on heikkoa (Kirjokivi 2018, 27). Suodatinmateriaali voi myös vapauttaa fosforia käsiteltävään veteen, ja orgaanisen suodatinmateriaalin hajoaminen voi toimia fosfaattifosforia vapauttavana riskitekijänä. (SYKE 2016, 20–21.)

Kaatopaikkavesistä voidaan poistaa typpeä monivaiheisella biologisella menetelmällä. Suotoveden biologinen typenpoisto on yksi Devo-hankkeen päätavoitteista, ja sitä on optimoitu hankkeen pilottijärjestelmien avulla Ristiinan suljetulla kaatopaikalla ja demonstraatioympäristö Vesikolla. Biologinen typenpoisto käsitellään tässä julkaisussa erikseen artikkelissa ”Kaatopaikkavesien biologinen typenpoisto”.

LÄHTEET

Farre, A. 2015. Removal of heavy metals from urban stormwater runoff by filtration through different filter materials. Chalmers University of Technology. Department of Civil Environmental Engineering. Pro gradu -tutkielma. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343713002674>. [viitattu 31.5.2022].

Flöjt, M. 2010. Kaatopaikkojen vaikutukset ympäristöön ja maankäyttöön. Kouvolassa ja litissä sijaitsevat kaatopaikat. Lahden ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/22711/Flöjt_Mika.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 26.5.2022].

Hytti, K. 2013. Fosfaatin määritys luonnonvesistä. Näytteen esikäsittelyn ja käytetyn analyysilaitteen merkitys. Metropolia ammattikorkeakoulu. Laboratorioanalytiikan koulutus. Opinnäyte. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/53811/Fosfaati.pdf?sequence=1> [viitattu: 28.5.2022].

Kirjokivi, T. 2018. Biohiilisuodatin hulevesien käsittelyssä. Lahden ammattikorkeakoulu. Energia- ja ympäristötekniikan koulutus. Opinnäyte. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/146053/Kirjokivi_Tomi.pdf?sequence=1 [viitattu 19.7.2022].

Kirjokivi, T. & Haapea, P. 2018. Hulevesien paikallinen käsittely biosuodattamalla. LAMK Pro 23.5.2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.lamkpub.fi/2018/05/23/hulevesien-paikallinen-kasittely-biosuodatta-malla> [viitattu 30.5.2022].

Kosonen, J. 2021. Haitalliset aineet kaatopaikkojen suotovesissä ja suotovesien käsittely. Turun ammattikorkeakoulu. Energia- ja ympäristötekniikankoulutus. Opinnäyte. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/511617/Kosonen_Juuso.pdf?sequence=2 [viitattu 27.5.2022].

Luonnontila. 2014. Typpikuormitus. WWW-dokumentti. Päivitetty 25.9.2014. Saatavissa: <https://www.luonnontila.fi/fi/elinymparistot/sisavedet/sv2-sisavesien-typpikuormitus> [viitattu 27.5.2022].

Mykkänen, A., Hämäläinen, L., Saarelainen, J.-P. & Hämäläinen, S. 2021a. Ristiinan vanhan kaatopaikan suotovesien biosuodatuslaitteisto. Teoksessa Mykkänen, A. (toim.) Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö. Mikkeli: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 92–106. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-359-4>.

Mykkänen, A., Soininen, H., Heinimö, J. & Hämäläinen, S. 2021b. Huky-hanke. Teoksessa Mykkänen, A. (toim.) Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö. Mikkeli: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 7–9. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-359-4>.

Oravainen, R. 1999. Vesistötulostentulkinta opasvihkonen. Kokemäen joen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf> [28.5.2022].

Porthen, S. 2018. Suljetut kaatopaikat ja niiden käyttömahdollisuudet. Turun ammattikorkeakoulu. Ympäristöteknologiakoulutus. Opinnäyte. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018062814267>. [viitattu 24.5.2022].

Saario, T. & Laurila, L. 2019. Biohiilen valmistus ja ominaisuudet. Niina Laurila (toim.) Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savoon. Mikkeli: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 16–22. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/168846/URN:NISBN9789523441651.pdf?sequence=2&isAllowed=y>[1.6.2022].

SYKE. 2008. Ympäristöhallinnon ohjeita. Kaatopaikkojen käytöstä poistaminen ja jälkihoito. Suomen ympäristökeskuksen julkaisuja. PDF-dokumentti. Saatavissa: [SYKE_OH_1_2008.pdf](#) (valtioneuvosto.fi) [viitattu 24.5.2022].

SYKE. 2016. Kosteikkojen ja biosuodatusalueiden toimivuus hulevesien käsittelyssä. HULE-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/160201>. [viittaus 31.5].

SYKE. 2019b. Haitalliset aineet Suomen vesissä. Tilanne ja seurannan suuntaviivat. Suomen ympäristökeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/301460> [viitattu 27.5.2022].

VTT. 2009. Uudet jätteenkäsittelykeskusten vesienhallintatekniikat. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n julkaisuja. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2009/T2502.pdf> [viitattu 16.5.2022].

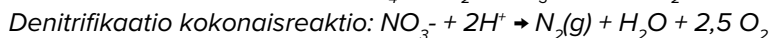
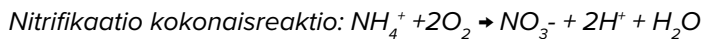
KAATOPAIKKAVESIEN BIOLOGINEN TYPENPOISTO

Salla Pulliainen & Matti Hämäläinen & Johanna Valjakka

Luonnonvesissä typpi poistuu vesiekosysteemistä luonnollisen, bakteerien avulla tapahtuvan biologisen typenpoistoprosessin avulla. Prosessissa bakteerit muuttavat typen kaasumaiseen muotoon, jolloin typpi poistuu vedestä ilmakehään. Suotoveden sisältämää typpikuormaa voidaan pienentää käyttämällä samaa, biologisiin prosesseihin perustuvaa typenpoistomenetelmää. Biologinen typenpoisto on kaksivaiheinen prosessi, jossa ammonium-muodossa oleva typpi muuntuu nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessissa typpikaasuksi. Prosessin toimivuuteen vaikuttaa suotoveden ominaisuuksien lisäksi erilaiset ympäristötekijät, joiden avulla typenpoistoa voidaan optimoida.

Typen poistuminen on monivaiheinen prosessi

Nitrifikaatio tarkoittaa suotovedessä prosessia, jossa suotoveden ammoniumtyppi (NH_4^+) hapettuu *Nitrosomonas*-bakteerien avulla nitriitiksi (NO_2^-), ja tämän jälkeen *Nitrobacter*-bakteerit hapettavat nitriitin edelleen nitraatiksi (NO_3^-). (Mälkönen 2003, 111–112; Biologinen suodatus s.a.) Tämän reaktion syntymisessä tarvitaan myös hiilidioksidia (CO_2), happea (O) ja ravinteita, kuten hiiliyhdisteitä (Mälkönen 2003, 111–112). Typenpoiston toinen vaihe on denitrifikaatio, jossa nitraatti pelkistyy typpikaasuksi (N_2). Reaktioon tarvitaan alhainen happipitoisuus, nitraattia tai nitriittiä sekä ulkopuolinen hiilen (C) lähde. (Mälkönen 2003, 112–113; Biologinen suodatus s.a.) Nitrifikaatio-denitrifikaation kaava:



jossa

NH_4^+ = ammoniumioni

NO_3^- = nitraatti-ioni

$\text{N}_2(\text{g})$ = typpikaasu

Nitrifikaation edellytykset

Nitrifikaatio on aerobinen prosessi, jossa ammoniumtyppi hapettuu nitraattitypeksi. Nitrifikaation käynnistyminen asettaa vaatimuksia sekä käsiteltävän veden ominaisuuksille että prosessin ympäristötekijöille. Nitrifikaatioon vaikuttavatkin oleellisesti muun muassa nitrifikaatiobakteerit, veden lämpötila, happamuus ja happipitoisuus, veden typpi- ja fosforipitoisuudet sekä prosessin vaatima aika.

Luonnonvesissä on luonnostaan nitrifikaatiobakteereita. Kaatopaikkavedet sen sijaan ovat hyvin monihaitallisia, eikä tiedetä, missä määrin suotovedessä elää nitrifikaatiobakteereja. Nitrifikaatio kuitenkin vaatii riittävän konsentraation kyseisiä bakteereja, ja jotta voidaan varmistua kaatopaikan suotovesien sisältävän niitä, voidaan prosessiin lisätä jätevedenpuhdistamon aktiivilietettä. Nitrifikaatiobakteerit ovat hyvin herkkiä ympäristön muutoksille, ja niillä kestää aikaa sopeutua muuttuneisiin olosuhteisiin. Näin ollen nitrifikaatiobakteerien kasvaminen ja prosessin käynnistyminen vie aikaa. Lisäksi suotovesien tiedetään sisältävän runsaasti mikrobeja inhiboivia aineita, kuten rikkiyhdisteitä, raskasmetalleja ja erilaisia orgaanisia yhdisteitä. (Nieminen 2011, 24.)

Nitrifikaatio on lämpötilasidonnainen prosessi, joten lämpötila vaikuttaa suorasti nitrifikaatiobakteerien kasvunopeuteen (Nieminen 2011, 21). Veden matala lämpötila hidastaa nitrifikaatiota, ja liian alhainen lämpötila, alle +4 °C, estää koko reaktion. Optimaalinen lämpötila nitrifikaatiolle on 30–35 °C. (Mälkönen 2003, 111–112.) Eri bakteereista on määritetty niiden kasvunopeuksia, ja esimerkiksi nitrifioivien bakteerien kasvunopeus on 5 °C:n lämpötilassa 77 % hitaampi kuin 20 °C:n lämpötilassa (Nieminen 2011, 21). Kaatopaikalta kerättävä suotovesi johdetaan kaatopaikalta eteenpäin maanalaisia putkistoja pitkin, jolloin veden lämpötila käytännössä pysyy melko matalana ympäri vuoden aiheuttaen haastetta biologiselle typenpoistolle.

Kaatopaikkavesissä typpi on pääasiassa ammonium-muodossa (NH_4) ja hapettomissa olosuhteissa, jolloin ammonium ei pääse hapettumaan nitraatiksi (Nieminen 2011, 20). Nitrifikaatio tapahtuu aerobisissa olosuhteissa, joten anaerobisista olosuhteista tuleva suotovesi tulee hapettaa mikrobien toimintaa varten. Nitrifikaationopeus onkin riippuvainen hapen pitoisuudesta (Rantanen 2010, 16). Käsiteltävän veden happipitoisuuden tulee optimaalisissa olosuhteissa olla vähintään 2 mg/l (Rantanen 2010, 19; Nieminen 2011, 22). Vähimmäishappipitoisuutta reilusti suurempi happipitoisuus ei lisää prosessin tehokkuutta, mutta lisähapetus aiheuttaa lisäkustannuksia (Nieminen 2011, 22).

Eri kirjallisuuslähteiden mukaan ammoniumtypen hapetus nitriitiksi vaatii 3,43–4,6 mg O_2 /mg NH_4^+ -N (Ruissalo 2006, 12; Lehtniemi 2004, 46; Lähde 2008, 10). Hapettuminen edelleen nitriitistä nitraatiksi kuluttaa happea 1,14 mg/mg NO_2^- -N (Lehtniemi 2004, 46). Taulukkoon 1 on koottu nitrifikaatioon vaadittava liuenneen hapen teoreettinen tarve ammoniumtypen pitoisuuteen suhteutettuna eri kirjallisuuslähteiden mukaan.

Taulukko 1. Nitrifikaatioon vaadittava liuenneen hapen teoreettinen tarve ammoniumtyypen pitoisuuteen suhteutettuna.

| N_H4 | O_2 | lähde |
|--------|--------|--------------------|
| 1 g | 4,3 g | Ruissalo 2006, 12 |
| 1 g | 3,34 g | Lehtniemi 2004, 46 |
| 1 g | 4,6 g | Lähde 2008, 10 |

Suotoveden happamuuden tulisi optimiolosuhteissa olla välillä pH 7,5–8,6 (Nieminen 2011, 21). pH tulee olla vähintään 6,5, ja täysi inhibitio tapahtuu pH:ssa 5,8 (Rantanen 2010, 18). Suuret vaihtelut happamuudessa vaikuttavat nitrifikaatioon heikentävästi. Lisäksi nitrifikaatio kuluttaa veden alkaliteettia ja voi siten aiheuttaa veden pH:n laskua. Voimakkaimmillaan nitrifikaatio voi näin ollen luoda itsessään olosuhteet, joissa prosessi ei voi toimia. (Rantanen 2010.)

Suotoveden sisältämät typpi- ja fosforipitoisuudet vaikuttavat nitrifikaation käynnistymiseen. Tyypin ja fosforin suhde (N/P) tulisi käsiteltävässä vedessä olla 100:1. Lisäksi liian suuri ammoniumtyypin määrä voi inhiboida nitrifikaatiobakteerien kasvua. (Nieminen 2011, 21–22.) Jätevedessä on useimmiten riittävä määrä epäorgaanisia ravinteita, joiden avulla voidaan poistaa orgaanisia aineita. Fosforia ja typpeä on kuitenkin liikaa suhteessa hiileen. (Karttunen 2004, 169; Mälkönen 2003, 169.) Tyypin poisto on usein monivaiheisuutensa vuoksi vaikeampaa kuin esimerkiksi fosforin tai orgaanisen aineen poistaminen. (Vesi.fi s.a.)

Virtaamavaihtelut vaikuttavat nitrifikaation tehoon. Suuret vaihtelut virtaamassa aiheuttavat impulsseja typpikuormaan, jolloin prosessin teho voi hetkellisesti laskea ja typpeä pääsee reaktorin läpi. (Rantanen 2010, 19.) Taulukkoon 2 on koottu nitrifikaation edellytyksiä.

Taulukko 2. Nitrifikaation edellytyksiä.

| | Edellytykset |
|----------------------------|--|
| Lämpötila | Optimilämpötila 30–35 °C, vähintään +4 °C. |
| Happipitoisuus | Nitrifikaatio tapahtuu aerobisissa olosuhteissa. Happipitoisuus tulee olla > 2 mg/l. |
| Happamuus | Suotoveden optimi-pH välillä 7,5–8,6, vähintään 6,5. |
| Mikrobit | Riittävästi nitrifikaatiobakteereja. |
| Aika | Mikrobien sopeutuminen ja kasvaminen hitaita prosesseja. |
| Ravinteet | Tyypin ja fosforin suhde. Ammoniumioneja nitrifioitavaksi. |
| Virtaama ja viipymä | Riittävän pitkä kokonaisviipymä. |

Denitrifikaatioon vaikuttavat tekijät

Denitrifikaatio on typenpoiston toinen vaihe, jossa bakteerit hajottavat hapettomissa oloissa nitraatteja (NO_3^-) ja nitriittejä (NO_2^-) typpikaasuksi (N_2). Reaktioon tarvitaan alhainen happipitoisuus, nitraattia tai nitriittiä sekä ulkopuolinen hiilen (C) lähde (taulukko 3). Optimaalinen pH-arvo denitrifikaatiolle on 7–8. (Karttunen 2004, 213.) Prosessi kuluttaa orgaanista ainetta, joten sitä tulee olla riittävästi käytettävissä. Denitrifikaatio-prosessia voidaankin seurata biologista hapenkulutusta (BOD) seuraamalla. Orgaanista ainesta on riittävästi, kun biologisen hapenkulutuksen ja typen (BOD/N) suhde on yli 3. Denitrifikaation käynnistymisaika on hidas, sillä anaerobisten mikrobien kasvuaika on pitkä, jopa 2–4 kuukautta. (Nieminen 2011, 24.) Denitrifikaatio ei ole yhtä herkkä ympäristöolosuhteille kuin nitrifikaatio (Rantanen 2010, 19).

Taulukko 3. Denitrifikaatioon vaikuttavia tekijöitä.

| | Vaikutus |
|------------------------|--|
| Orgaaninen aine | Tulee olla riittävästi. |
| Happipitoisuus | Happi inhiboi denitrifikaatiota. |
| Aika | Mikrobien sopeutuminen ja kasvaminen hitaita prosesseja. |
| Happamuus | Optimaalinen pH välillä 7–8. |
| Ravinteet | Tarvitsee nitriittiä ja nitraattia ja ulkopuolisen hiilen lähteen. |

LÄHTEET

Biologinen suodatus. s.a. Pedanet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://peda.net/hankkeet/vesiviljely/koulutus/kp/k/biologinen-suodatus> [viitattu 3.5.2023].

Karttunen, E. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. 1. painos. Suomen rakennusinsinöörienliitto RIL ry.

Lehtniemi, L. 2004. Pienpuhdistamoiden toimivuus ja typenpoisto. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 9/2004. Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134621/mo9_2004.pdf?sequence=10.

Lähde, J. 2008. Ammoniumtyyppi ilmastuksen ohjausparametrinä yhdyskuntajäteveden puhdistuksessa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/38668/nbnfi-fe200806031504.pdf?sequence=3>.

Mälkönen, E. 2003. Metsämaan ravinteisuuden hoito. Teoksessa Mälkönen, E (toim.). Metsämaa ja sen hoito.1.painos. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti.

Nieminen, P. 2011. Vaikeasti biohajoavien yhdisteiden esikäsittely otsonoinnilla. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/20594/nieminen.pdf?sequence=3>.

Rantanen, P.-L. 2010. Biologinen typen- ja fosforinpoisto jätevesistä. Lisensiaattityö. Aalto yliopisto. https://acris.aalto.fi/ws/portalfiles/portal/31065772/Lisensiaattity_Pirjo_Rantanen_2010_Final.pdf.

Ruissalo, M. 2006. Yhdyskuntajätevedenpuhdistamon rejektivesien erilliskäsittely. Pro gradu -tutkielma. Saatavissa: https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/7228/URN_NBN_fi_jyu-2006416.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Vesi.fi. s.a. Yhdyskuntavesien aiheuttama vesistökuormitus. WWW-dokumentti. Julkaistu 9.5.2022. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/yhdyskuntajatevesien-aiheuttama-vesistokuormitus/> [viitattu 10.5.2023].

RISTIINAN SULJETUN KAATOPAIKAN BIOSUODATUSLAITTEISTO

Salla Pulliainen & Sari Hämäläinen & Juha-Pekka Saarelainen

Vuosina 2019–2021 Mikkelin kaupungin investointihankkeessa (A74989) toteutettiin suotoveden biosuodatuslaitteisto Ristiinan suljetulle kaatopaikalle. Tavoitteena oli käsitellä kaatopaikalla muodostuvaa suotovettä biologisen typenpoiston avulla sekä kehittää biohiilipohjaisia ratkaisuja hule- ja suotovesien käsittelyyn. Biosuodattimen toimintaa seurattiin aluksi Huky – Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö (A74988) hankkeessa toteutetuissa kokeissa. Kokeissa biologiselle typenpoistolle haastetta aiheutti suotoveden sisältämä runsas rautapitoisuus, joka tukki järjestelmän osia ja kulutti typenpoiston ensimmäisen vaiheen, nitrifikaation, tarvitsemaa happea pois suotovedestä. (Mykkänen 2021.)

Pilottilaitteiston kehitystä jatkettiin Deve – Demonstraatioympäristö kaatopaikan suoto- ja hulevesien ympäristökuormituksen vähentämiseksi -hankkeessa, jossa järjestelmään lisättiin vuosina 2021–2022 raudanpoistoyksikkö, ilmastinyksikkö ja ilmastimia sekä aktiivilietteenkierrätysjärjestelmä. Lisäksi vuoden 2023 kokeita varten järjestelmään tehtiin edelleen muutoksia tulevan veden pumppauksen osalta.

Pilottilaitteiston alkuperäiset suunnitelmat ja hankkeiden aikana toteutetut järjestelmän jatkokehitykset on suunnitellut Juha-Pekka Saarelainen Watec Consulting Oy:stä ja toteutuksesta vastannut Maarakennus Talpa Oy. Pilottilaitteiston pohjalta tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa lopullinen kustannustehokas biologinen puhdistamisratkaisu Ristiinan kaatopaikan suotovesille. Tavoitteena on saada vanhan kaatopaikan suotovesien käsittely hallintaan ja vähentää suotovesien alapuolisille vesistöille aiheuttavaa kuormitusta.

Ristiinan vanha kaatopaikka

Ristiinan vanha kaatopaikka, jolla pilottilaitteisto sijaitsee, on ollut toiminnassa vuosina 1974–2004, ja se on lopullisesti suljettu vuonna 2007 pintatiivistyksellä. Toiminta-aikanaan kaatopaikka toimi yhdyskuntajätteen loppusijoituspaikkana, ja kaatopaikalle on sijoitettu lisäksi muun muassa rakennusjätettä, ylijäämämaita ja jätevesilietettä. Kaatopaikan suotovesien käsittelyyn on vuonna 1996 rakennettu juurakkopuhdistamo, joka ei kuitenkaan ole toiminut suunnitellulla tavalla erityisesti puhdistamon ja suotoveden purkuojan korkeusasemista johtuen. (Mykkänen 2021.)

Nykyisellään suotovedet purkautuvat kaatopaikan pohjoispuolella olevaan suotoveden tasausaltaaseen. Pilottilaitteisto sijaitsee jätetäytön ja tasausaltaan välissä (kuva 1). Huky-hankkeen aikana sekä Devo-hankkeessa vuosina 2021–2022 toteutetuissa kokeissa kaatopaikalta tuleva suotovesi pumpattiin järjestelmään tasausaltaaseen johtavasta suotoveden tulokaivosta (kuva 2).



Kuva 1. Ristiinan pilottijärjestelmä sijaitsee jätetäytön ja suotoveden tasausaltaan välissä (kuva Henri Kettunen).



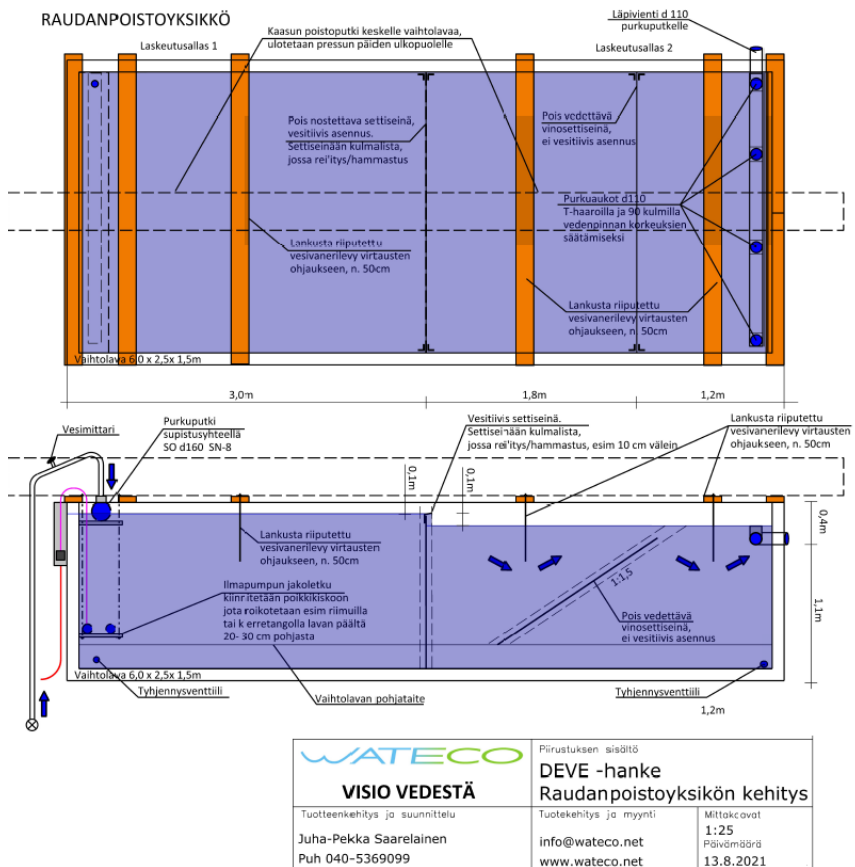
Kuva 2. Vuosien 2021–2022 kokeissa suotovettä pumpattiin raudanpoistoyksikköön suotoveden tulokaivosta (kuva Salla Pulliainen).

Raudanpoistoyksikkö esikäsittelee veden

Vuonna 2021 Ristiinan pilottilaitteistoa päivitettiin uudella, siirtolavalle rakennetulla raudan esipuhdistimella (kuva 3). Raudanpoistoyksikön tavoitteena oli ilmastuksen ja tarpeeksi pitkän viipymän avulla muuttaa suotoveden sisältämä rauta saostuvaan muotoon ja laskeuttaa se yksikön pohjalle. Raudan lisäksi esikäsitellyssä suotovedestä laskeutuu muun muassa kiintoainesta, fosforia ja raskasmetalleja. Raudanpoistoyksikön laskeutusaltaat on jaettu väliseinien avulla kahteen osioon, joissa on virtauksenohjauseiniä virtauksen hidastamiseksi (kuva 4). Samalla raudanpoistoyksikköön asennettiin ilmastin, jonka avulla pyrittiin varmistamaan käsiteltävän veden riittävä happipitoisuus sekä raudanpoistoa että sen jälkeen tapahtuvaa biologista typenpoistoa varten. Vesi poistuu yksiköstä vedenpinnan korkeudelta lähtevään purkuputkistoon, josta vesi johdetaan edelleen eteenpäin biosuodatinjärjestelmässä. Raudanpoistoyksikön toimintaa testattiin syksyn 2021 aikana.



Kuva 3. Syksyllä 2021 käyttöön otettu raudanpoistoyksikkö (kuva Salla Pulliainen).



Kuva 4. Raudanpoistoyksikön suunnitelmapiirros (mukaillen Juha-Pekka Saarelainen 2021).

Ilmastuksen tehostaminen

Kun koko pilottijärjestelmä otettiin päivityksen jälkeen käyttöön vuonna 2022, raudanpoistoyksikön ja bioreaktorin väliin lisättiin IBC-kontti. Konttiin sijoitettiin toinen ilmastin sekä kantoainetta ja vaahdotuslasi bakteerien kasvualustaksi (kuva 5). Kesällä 2022 toteutettujen kokeiden tulosten perusteella raudanpoistoyksikön toiseen altaaseen lisättiin vielä yksi ilmastin suotoveden hapetusta tehostamaan.



Kuva 5. Kantoaine- ja ilmastusyksikkönä toimii IBC-kontti (kuva Salla Pulliainen).

Bioreaktori

Esikäsitelty ja ilmastettu vesi johdetaan IBC-kontista järjestelmän viimeiseen osaan, vaihtolavalle rakennettuun bioreaktoriin (kuva 6). Suodatinmateriaaleina reaktorissa käytettiin kuusibiohiilen ja lehtipuuhakkeen sekoitusta siten, että biohiiltä oli tilavuudesta 20 % lehtipuuhaketta 80 %. Biohiili oli valmistettu kuusesta 600 °C:n lämpötilassa pyrolysoimalla. Suodatinmateriaali päällystettiin sepelillä materiaalien kellumisen estämiseksi. Bioreaktorista suotovesi johdetaan putkea pitkin edelleen tasausaltaaseen (kuva 7).



Kuva 6. Käsiteltävä vesi johdetaan kuvassa oikealla olevasta raudanpoistoyksiköstä kuvassa vasemmalla olevan IBC-kontin läpi takana näkyvään bioreaktoriin (kuva Salla Pulliainen).



Kuva 7. Kuvassa vasemmalla on raudanpoistoyksikkö ja oikealla bioreaktori. Purkuputki johtaa bioreaktorista tasausaltaaseen (kuva Salla Pulliainen).

Muutokset vuodelle 2023

Hankkeessa vuoden 2022 aikana saatujen tulosten perusteella järjestelmää muokattiin edelleen tuloveden pumppauksen ja purkuputken sijainnin osalta vuoden 2023 kokeita varten. Pilottijärjestelmään pumpattava vesi päätettiin pumpata suotovesikaivon sijaan tasausaltaasta, jolloin suotovesi sekoittuisi tasaalaltaassa olevan huleveden kanssa. Tällä tavoiteltiin ensisijaisesti suotoveden sisältämien ravinteiden ja haitta-aineiden pitoisuuksien laimenemista sekä käsiteltävän veden lämpenemistä ennen sen pumppausta järjestelmään.

Muutos toteutettiin jakamalla tasaalallas suodatinkankaalla kahteen osaan kuvan 9 osoittamalla tavalla. Tulopumppu asennettiin tasaalaltaan pienempään osioon, jossa sijaitsee myös suotoveden purkuputki. Pilottijärjestelmän purkuputki siirrettiin suodatinkankaan toiselle puolelle, tasaalaltaan suurempaan allasosioon.



Kuva 9. Ilmakuva kesältä 2023, kun suodatinkangas on asennettu tasaalaltaaseen (kuva Henri Kettunen).

Vuoden 2023 kesäkuussa järjestelmään lisättiin aktiivilietteen automaattinen annostelupumppu (kuva 10). Tavoitteena oli lisätä bioreaktoriin nitrifikaation edellyttämää bakteerikantaa ja siten tehostaa biologisen typenpoiston käynnistymistä. Aktiiviliete asetettiin kiertämään kantoaine- ja ilmastusyksikön sekä bioreaktorin välillä erillisen pumppauksen avulla.



Kuva 10. Aktiivilietteen annostelupumppu raudanpoistoyksikön ja bioreaktorin välissä (kuva Salla Pulliainen).

LÄHTEET

Mykkänen, A. 2021. Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö. Xamk kehittää 161. Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulu. <https://www.xamk.fi/tutkimus-ja-kehitys/hulevesien-kasittelyn-t-amp-k-ymparisto-huky/>.

SUOTOVEDEN ESIKÄSITTELY RAUDAN POISTAMISEKSI

Salla Pulliainen & Jussi Konttila

Ristiinan suljetulla kaatopaikalla sijaitsevaan biosuodatuslaitteistoon Deve-hankkeessa lisätyn raudanpoistoyksikön toimintaa testattiin syksyllä 2021. Kaatopaikalta tulevan suotoveden sisältämä rauta hankaloitti bioreaktorin toimintaa estämällä nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessin käynnistymisen ja tukkimalla järjestelmän osia. Raudanpoistoyksikön tarkoituksena oli hapettaa suotoveden sisältämä rauta, saattaa se saostuvaan muotoon ja laskeuttaa se yksikön pohjalle.

Raudanpoistoyksikkö laskeuttaa rautaa ja kiintoainesta

Pilottijärjestelmään pumpataan suotovettä kaatopaikan suotoveden tulokaivosta, josta suotovesi laskee edelleen tasausaltaseen. Pumpattavan suotoveden määrää on tärkeä säädellä optimaalisen viipymääjan saavuttamiseksi, sillä viipymääjalla on merkitystä raudan saostumisen kannalta. Liian lyhyellä viipymääjalla rauta ei ehdi saostua ja laskeutua yksikön pohjalle, jolloin se kulkeutuu järjestelmässä eteenpäin bioreaktoriin. Bioreaktorissa rauta aiheuttaa suodatinmateriaalien tukkeutumista. Raudan saostuminen kuluttaa myös happea, jolloin kulunut happi on pois typenpoistoprosessin käynnistymisestä (Mykänen 2020). Raudanpoistoyksikön avulla suotoveden rautaa saostetaan pois, jolloin prosessissa riittää happea nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessin käynnistymiseen.

Menetelmät

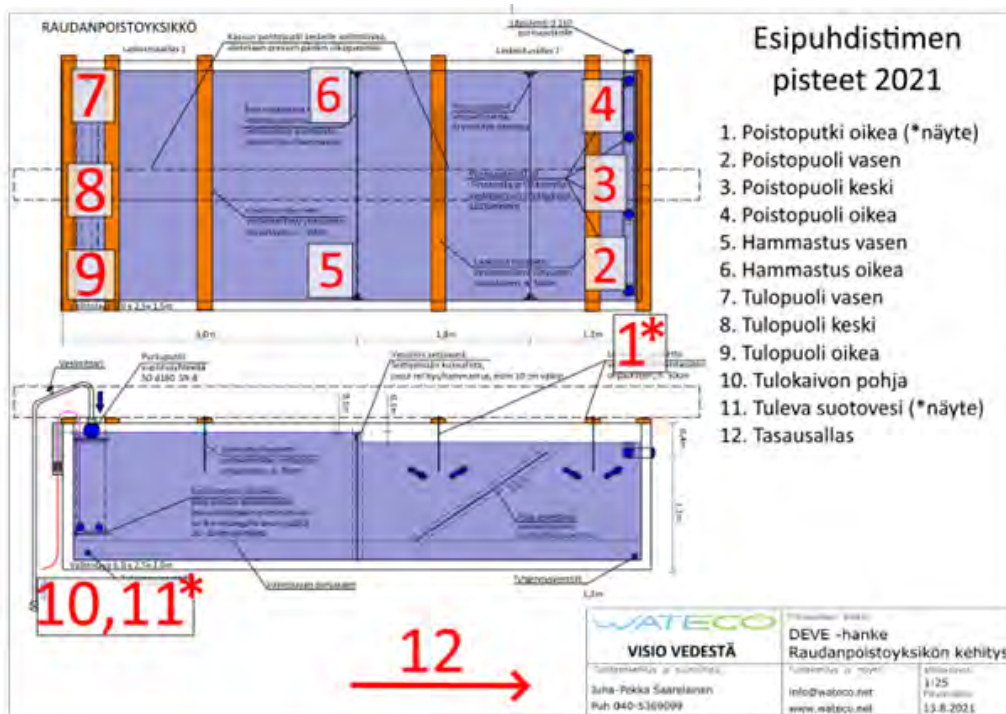
Raudanpoistoyksikön käyttöönottokokeissa veden laadun muutoksia seurattiin vesinäyttein, jotka lähetettiin analysoitavaksi Kymen Ympäristölaboratorio Oy:lle. Näytteistä teetettiin analyysit kokonaisrautapitoisuuksista (Fe kok.), liukoisen raudan pitoisuuksista (Fe liuk.) sekä happipitoisuuksista. Näytteet otettiin tulevasta suotovedestä sekä raudanpoistoyksikön jälkeen poistoputkesta virtaavasta suotovedestä (kuva 1).



Kuva 1. Raudanpoistoyksikön poistoputki johtaa tasausaltaaseen. Poistoputkessa on yhde näytteenottoa varten (kuva Aki Mykkänen).

Vesinäytteiden lisäksi järjestelmää monitoroitiin viikoittain tehdyin kenttämittauksin YSI ProDSS -moniparametrikenttämittarilla. Kenttämittarilla mitattiin raudanpoistoyksikön läpi virtaavasta vedestä lämpötila, happamuus ja liuenneen hapen pitoisuus. Kenttämittaukset toivat näytteenoton tueksi dataa laitteiston toimivuudesta ja erityisesti happipitoisuuden muutoksista raudanpoistoyksikön eri vaiheissa.

Monitorointikausi kesti noin kuukauden ajan loka-marraskuussa 2021, jonka jälkeen raudanpoistoyksikkö tyhjennettiin talvea varten. Seurannan aikana käytetyt näytteenotto- ja kenttämittauspisteet sekä raudanpoistoyksikön havainnekuva on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Raudanpoistoyksikön havainnekuva näytteenotto- ja kenttämittauspisteineen (Saarelainen 2021 mukailleen).

Kaatopaikalta tulevan suotoveden ja puhdistimen läpi virtaavan veden määrää arvioitiin astiamittauksin. Astiamittauksen tulokset ovat suuntaa antavia, sillä mittaustulokseen vaikuttavat astian koko ja mittajaan tarkkuus astian täyttymisen ja ajanoton suhteen. Lisäksi Ristiinassa toteutettavissa virtaamamittauksissa tulee ottaa huomioon suotovesiputken mittauspiste, joka sijaitsee syväällä kaivossa ja joka sijaintinsa ja rakenteellisten ominaisuuksiensa vuoksi aiheuttaa epävarmuutta mittaustapahtumaan ja siten tulokseen. Virtaaman avulla oli tavoitteena arvioida suotoveden ajallista viipymää raudanpoistoyksikössä ja siten viipymän vaikutusta suotoveden puhdistustehokkuuteen. Tavoitteena oli saada suotovesi viipymään järjestelmässä raudan hapettumisen ja saostumisen kannalta optimaalisen ajan.

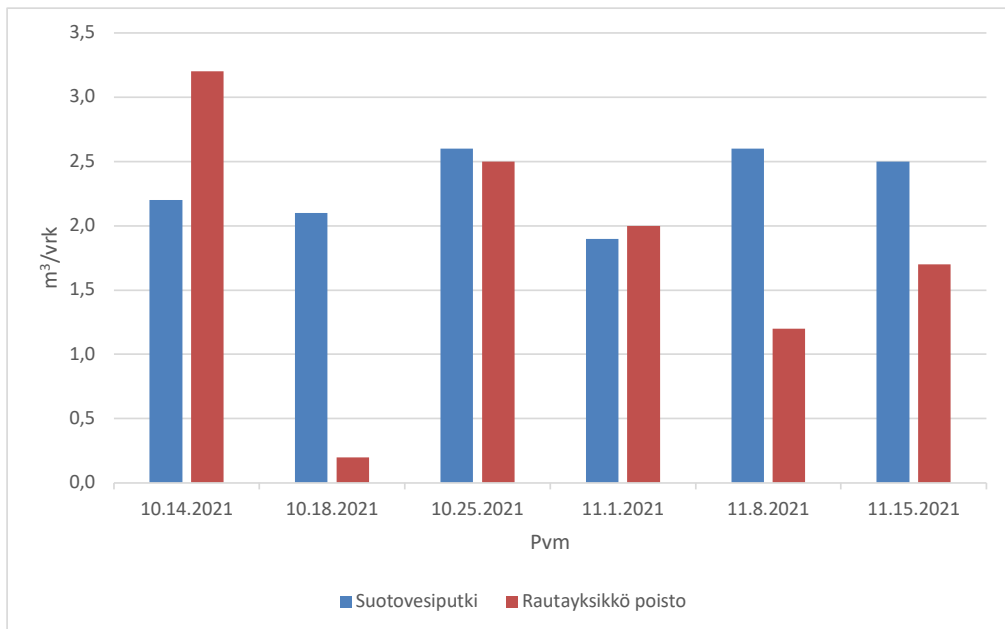
Virtaama

Tavoitteena oli saada pilottijärjestelmän virtaama vastaamaan kaatopaikalta tulevan suotoveden määrää, jolloin raudanpoistoyksikkö käsittelee suotovettä samalla virtaamalla kuin suotovettä tuli kaatopaikalta suotovesikaivoon. Virtaamaa koetettiin säätää tasaisiksi pumpun säätöventtiilin avulla (kuva 3). Järjestelmään ohjautuvan suotoveden määrään kuitenkin vaikuttivat muun muassa kaatopaikalta tulevan suotoveden määrän vaihtelut, eikä suotoveden virtaamaa siten saatu vakioitua pumpun tehoa säätämällä.



Kuva 3. Virtaamansäätöventtiili sijaitsee lavan kylkeen asennetussa kaapissa (kuva Aki Mykkänen).

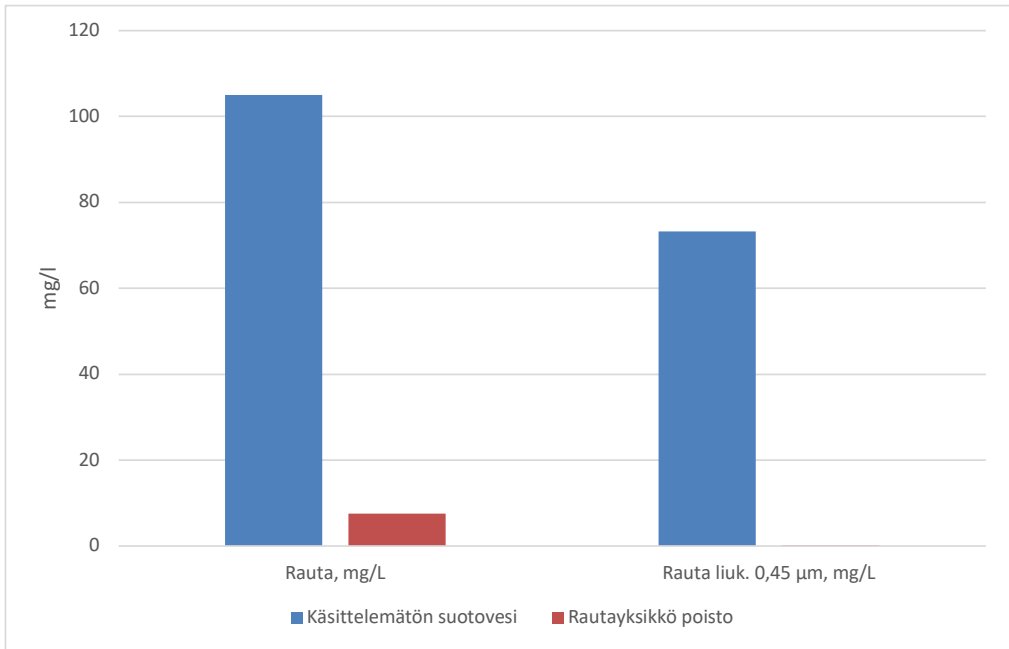
Mittausten mukaan virtaamassa esiintyi suurta vaihtelua sekä suotovesikaivoon laskevan putken että pilottijärjestelmän poistoputkien välillä, mutta myös eri päivien mittauksen osalta (kuva 4). Mittausjakson aikana virtaama suotovesiputkessa oli keskimäärin $2,3 \text{ m}^3/\text{vrk}$, ja raudanpoistoyksikön poistoputkessa $1,8 \text{ m}^3/\text{vrk}$. Mittausjakson aikana suotoveden viipymä vaihteli huomattavasti raudanpoistoyksikköön pumpatun veden määrän mukaan. Esimerkiksi 18.10.2021 raudanpoistoyksikön poistoputkesta mitattu virtaama $0,2 \text{ m}^3/\text{vrk}$ aiheutti hetkellisesti 90 vrk:n viipymän. Keskimäärin viipymä oli mittausjakson aikana (pois lukien 18.10.2021) noin 9,5 vrk.



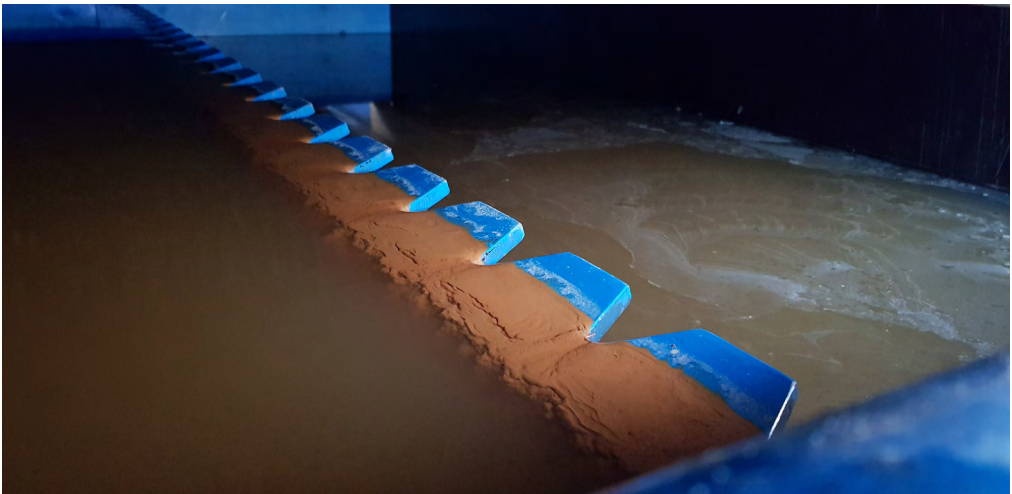
Kuva 4. Suotovesiputken ja raudanpoistoyksikön poistoputken virtaamat mittausjaksolla.

Raudanpoisto

Mittausjakson aikana tulevassa suotovedessä rautapitoisuus (Fe kok.) oli keskimäärin 105 mg/l ja liukoisen raudan (Fe liuk.) pitoisuus 73,3 mg/l. Raudanpoistoyksikön jälkeen kokonaisrautapitoisuus oli 7,5 mg/l ja liukoisen raudan pitoisuus 0,2 mg/l (kuva 5). Kokonaisraudan reduktio oli keskimäärin 92,8 % ja liukoisen raudan 99,7 %. Kuvassa 6 on raudanpoistoyksikön hammastuksen päälle kerääntynyttä rautasakkaa.



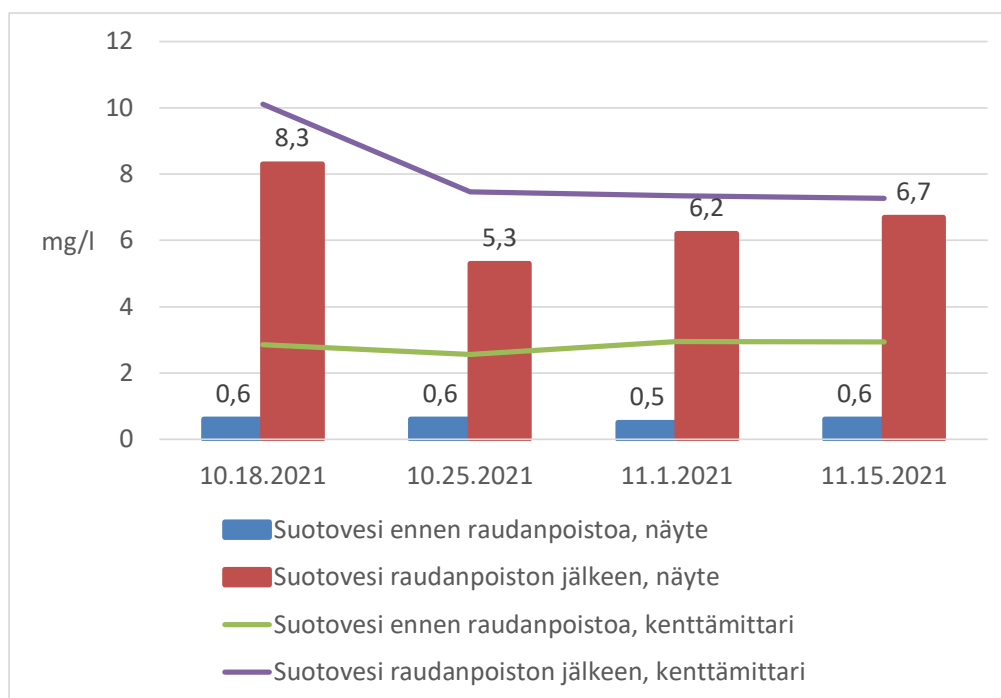
Kuva 5. Kokonaisraudan ja liukoisen raudan keskimääräiset pitoisuudet käsittelemättömässä suotovedessä ja raudanpoistoyksikön jälkeen.



Kuva 6. Raudanpoistoyksikön hammastuksen päälle kerääntynyttä rautasakkaa (kuva Salla Pulliainen).

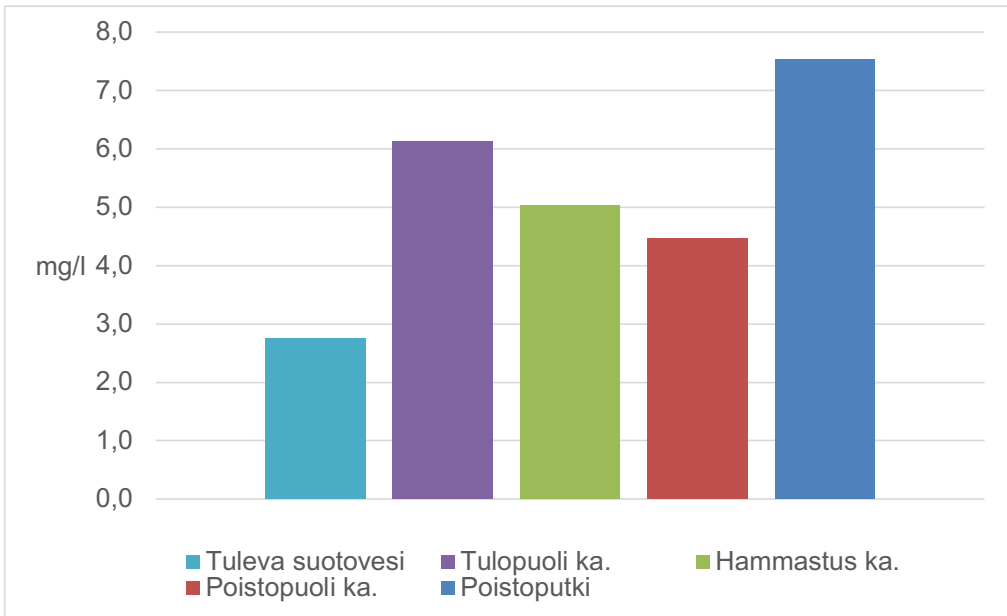
Happipitoisuus

Suotoveden happipitoisuus oli kaatopaikalta tulevasta vedestä otetuissa näytteissä hyvin matala: korkeintaan 0,6 mg/l. Raudanpoistoyksiköstä poistuvasta vedestä otettujen happinäytteiden pitoisuudet vaihtelivat välillä 5,3–8,3 mg/l. Kenttämittarilla mitatut suotoveden happipitoisuudet poikkesivat vesinäytteiden pitoisuuksista, mutta myös kenttämittaukset osoittivat suotoveden happipitoisuuden olevan moninkertainen kaatopaikalta tulevan suotoveden happipitoisuuteen verrattuna. Kaatopaikalta tulevan suotoveden matala happipitoisuus yhdessä korkean sameuden kanssa aiheuttavat mittausepävarmuutta YSI ProDSS -kenttämittarin ilmoittamiin tuloksiin. Kenttämittauksin saadut tulokset ovat kuitenkin linjassa vesinäytetulosten kanssa (kuva 7).



Kuva 7. Suotoveden happipitoisuudet mittausjaksolla vesinäytteistä ja kenttämittarilla mitattuna.

Kuvassa 8 on kuvattuna YSI ProDSS -kenttämittarilla mitatut suotoveden happipitoisuudet raudanpoistoyksikön eri vaiheissa. Kaatopaikalta tulevassa suotovedessä happipitoisuus on matala, jonka jälkeen raudanpoistoyksikön tulopuolella se nousee ilmastuksen vuoksi. Raudanpoistoyksikön laskeutusaltaissa (hammastus ja poistopuoli) raudan saostuminen kuluttaa happea, jolloin happipitoisuus laskee. Poistoputkesta mittaus suoritetaan laskemalla suotovettä erilliseen astiaan, josta mittaus suoritetaan. Näytteen laskeminen astiaan aiheuttaa veden hapettumista ja siten happipitoisuuden kohoamista.



Kuva 8. Happipitoisuus eri vaiheissa raudanpoistoyksikköä YSI ProDSS:llä mitattuna.

Raudanpoiston ja hapetuksen tehokkuus tukevat typenpoiston käynnistymistä

Ristiinan suotovesipilotin raudanpoistoyksikön raudanpoistotehokkuutta mittaavien näytteenottojen ja kenttämittausten tulokset osoittavat raudanpoistoyksikön toimivan sille asetetun tavoitteen mukaisesti ja poistavan mittauskaudella yli 90 % suotoveden rautapitoisuudesta. Lisäksi liukoisen raudan poistotehokkuus raudanpoistoyksikössä oli lähes 100 %.

Suotoveden happipitoisuudelle ei asetettu tarkkaa pitoisuustavoitetta. Esimerkiksi jäteveden puhdistuksessa optimaalinen liukoinen happipitoisuus on 2–3 mg/l nitrifikaatiossa (Virtanen 2014). Koejakson aikana suotoveden happipitoisuudeksi mitattiin 5,3–8,3 mg/l raudanpoistoyksikön jälkeen. Liian korkea happipitoisuus nitrifikaatiossa voi vaikuttaa negatiivisesti denitrifikaatioon ja typen poistumiseen. Koejaksolla suoritettujen happianalyysien perusteella raudanpoistoyksiköstä bioreaktoriin ohjautuvan suotoveden happipitoisuuden arvioitiin olevan riittävällä tasolla nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessia varten (kuva 9).



Kuva 9. Raudanpoistoyksikön toimintaa testattiin syksyllä 2021 (kuva Salla Pulliainen).

LÄHTEET

Mykkänen, A. 2021. Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Xamk kehittää 161. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-359-4>.

Virtanen, S. 2014. Typenpoiston nitrifikaatio- ja denitrifikaationopeudet jätevedenpuhdistusprosessissa. Opinnäytetyö. Ympäristötekniikka. Lahden ammattikorkeakoulu. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/70138/Virtanen_Satu.pdf?sequence=1 [viitattu 20.1.2022].

SUOTOVEDEN TYPENPOISTON KOKEET RISTIINAN PILOTTIJÄRJESTELMÄLLÄ

Salla Pulliainen & Jussi Konttila

Ristiinan suljetun kaatopaikan pilottijärjestelmän monitorointia jatkettiin vuoden 2022 aikana näytteenotoin ja kenttämittauksin. Uusi raudanpoistoyksikkö todettiin toimivaksi edellisen syksyn koeajoissa, jolloin kokonaisraudan osalta päästiin yli 90 %:n ja liukoisen raudan osalta yli 99 %:n reduktioon. Käsiteltävän suotoveden happipitoisuus raudanpoistoyksikön jälkeen syksyn koeajossa vaihteli välillä 5,3–8,3 mg/l, minkä katsottiin olevan riittävä käynnistämään nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessi. Kesän 2022 aikana kaikki pilottijärjestelmän osat kytkettiin toisiinsa, ja sen käyttöönottoa ja toimintaa monitoroitiin YSI ProDSS -kenttämittarin ja vesinäytteenottojen avulla.

Pilottijärjestelmän monitorointi

Pilottijärjestelmän toimintaa pyrittiin seuraamaan noin kahden viikon välein toteutettavien vesinäytteenotoin. Näytteitä otettiin neljästä pisteestä eri vaiheista järjestelmästä: käsittelemättömästä suotovedestä suotovesikaivoon tulevasta putkesta, esipuhdistetusta suotovedestä raudanpoistoyksikön jälkeen, ilmastetusta vedestä IBC-kontin jälkeen sekä puhdistetusta suotovedestä bioreaktorin jälkeen. Näytepisteet on esitetty taulukossa 1 ja kuvassa 1.

Taulukko 1. Ristiinan pilottijärjestelmän näytteenottopisteet.

| Näytepiste | Näytepisteen numero |
|---------------------|---------------------|
| Tuleva suotovesi | 4 |
| Rautayksikkö poisto | 3 |
| IBC-poisto | 2 |
| Poistoputki | 1 |

Virtaaman ja viipymän selvittämiseksi kaatopaikalta tulevan suotoveden ja puhdistimen läpi virtaavan veden määrää arvioitiin astiamittauksin (kuva 5). Astiamittauksen tulokset ovat menetelmän vuoksi suuntaa antavia. Lisäksi virtaamamittauksessa tulee ottaa huomioon tuloputken mittauspiste, joka sijaitsee syvällä kaivossa ja joka sijaintinsa ja rakenteellisten ominaisuuksiensa vuoksi aiheuttaa epävarmuutta mittaukseen ja siten tulokseen. Virtaaman avulla oli tavoitteena arvioida suotoveden ajallista viipymää raudanpoistoyksikössä ja siten viipymän vaikutusta suotoveden puhdistustehokkuuteen.



Kuva 5. Virtaamamittaus raudanpoistoyksikössä poistoputken näytteenottopisteestä astiamittauksella (kuva Salla Pulliainen).

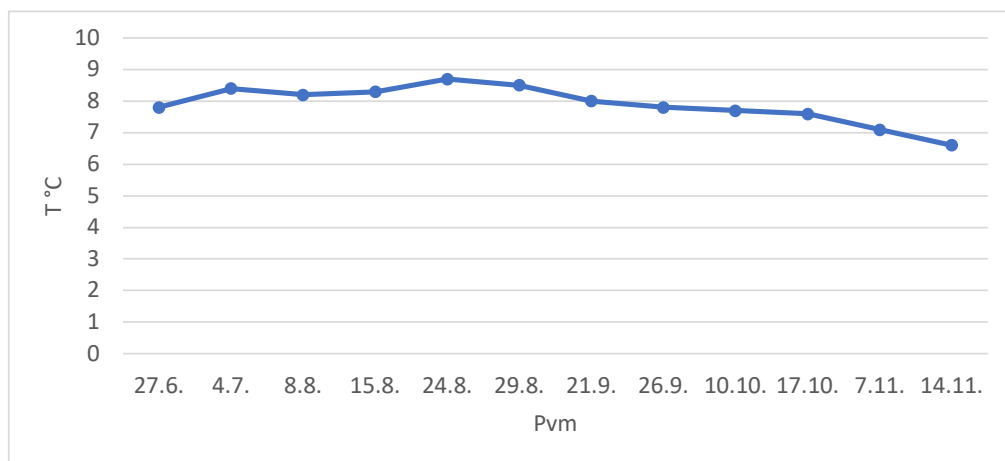
Virtaama ja viipymä

Mittausjakson aikana (30.5.–14.11.2022) virtaama oli kaatopaikalta tulevasta putkesta mitattuna keskimäärin 2,9 m³/vrk ja raudanpoistoyksikön poistoputkesta 2,7 m³/vrk. Pilotijärjestelmän osien yhteenlaskettu vesitilavuus on 21,6 m³, jolloin suotoveden laskennallinen viipymä koko järjestelmässä kyseisenä ajanjaksona oli keskimäärin 15,1 vrk.

Mittauskauden aikana järjestelmän virtaamassa esiintyi suurta vaihtelua. Järjestelmään pumpattavan suotoveden virtaamaa yritettiin säätää tasaiseksi, sillä tavoitteena oli säätää pumppausteho vastaamaan kaatopaikalta tulevan suotoveden määrää. Järjestelmään ohjautuvan suotoveden määrään vaikutti kuitenkin kaatopaikalta tulevan suotoveden määrän vaihtelut sekä tulokaivosta vettä pumppaavan pumpun toiminta, eikä suotoveden virtaamaa siten saatu vakioitua.

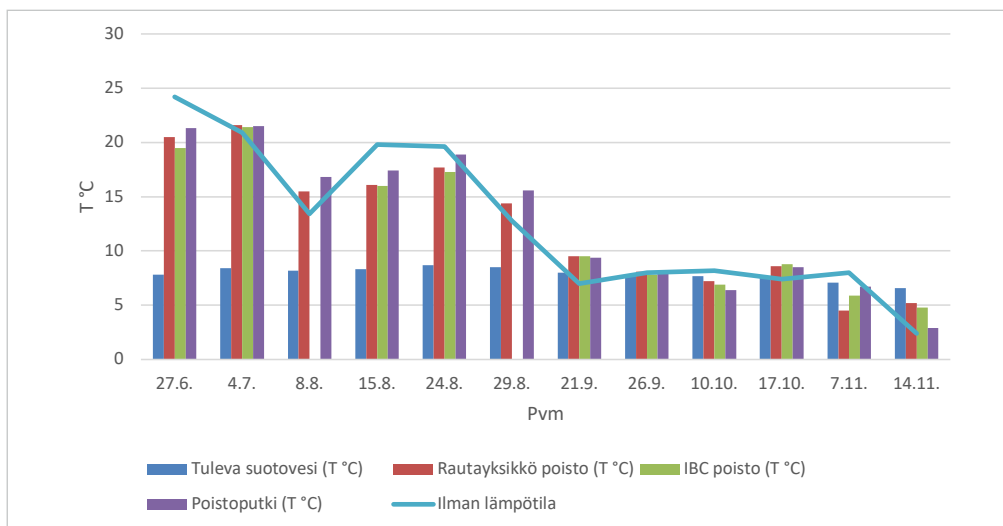
Lämpötila

Kaatopaikalta tulevan suotoveden lämpötila suotovesikaivosta mitattuna pysyi koko mittauskauden aikana välillä 6,6–8,7 °C keskiarvon ollessa 7,9 °C (kuva 6). Korkeimmillaan tulevan veden lämpötila oli elokuussa (8,7 °C) ja alimmillaan marraskuussa (6,6 °C).



Kuva 6. Kaatopaikalta tulevan suotoveden lämpötila mittauskaudella -22.

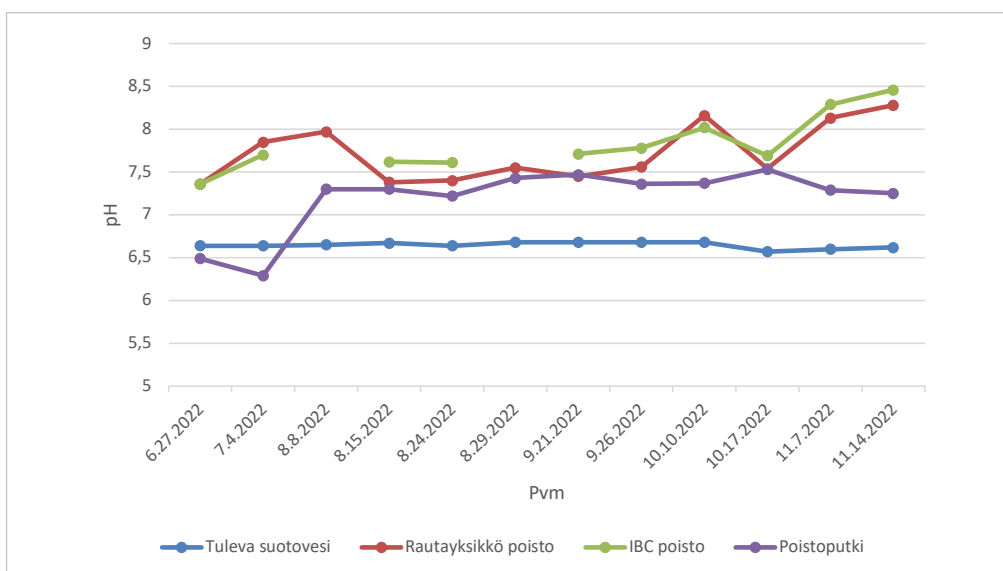
Suotoveden lämpötila kohosi sen kulkiessa pilottijärjestelmän eri osissa (kuva 7). Lämpötilan muutos oli riippuvainen ilman lämpötilasta, ja suotoveden lämpötila tasaantui lähelle ilman lämpötilaa. Kesä-heinäkuun 2022 aikana reaktorissa olevan suotoveden lämpötila oli keskimäärin yli +20 °C, elokuussa lämpötila oli noin +15–18 °C, syys-lokakuussa noin +5–10 °C ja marraskuussa lämpötila oli keskimäärin jo alle +6 °C.



Kuva 7. Suotoveden lämpötilä eri näytteenottopisteissä mittauskaudella -22 sekä ilman lämpötilä näytteenottopäivinä.

Happamuus

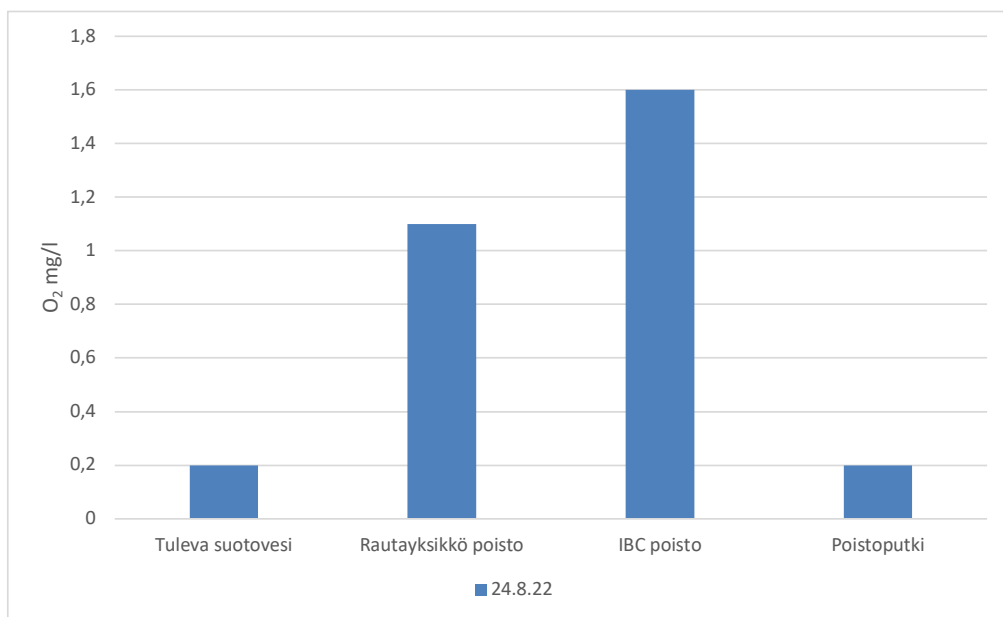
Kaatopaikalta tulevan suotoveden happamuus pysyi mittauskauden aikana tasaisena: tulevan suotoveden pH:n keskiarvo oli 6,7 (kuva 8). Suotoveden pH-arvo nousi raudanpoistoyksikössä ja edelleen IBC-kontissa. Raudanpoistoyksikön poistoputkesta mitattuna pH-arvo oli mittauskaudella 7,4–8,3 ja IBC-kontin poistoputkesta mitattuna 7,6–8,5. Bioreaktorissa pH-arvo laski, jolloin reaktorin poistoputkesta mitattuna pH oli 6,3–7,5. Järjestelmässä ilmenneiden häiriöiden vuoksi IBC-kontin poistoputkesta ei pystytty mittaamaan pH-arvoa 8.8. ja 29.8.



Kuva 8. Käsiteltävän suotoveden happamuus mittauskaudella 27.6.-14.11.2022.

Happipitoisuus

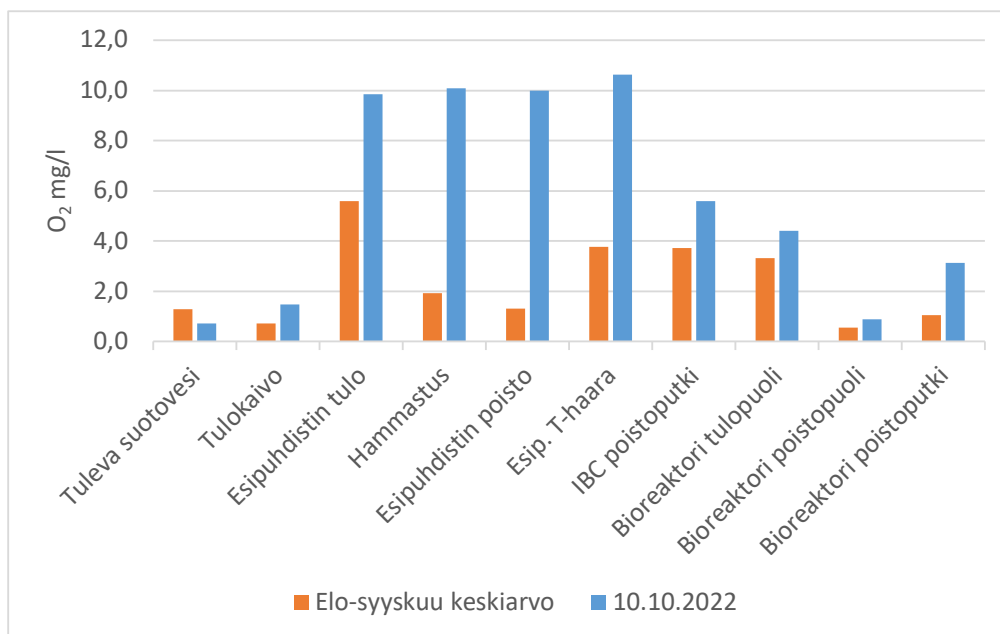
Pilottijärjestelmän raudanpoistoyksikössä ja IBC-kontissa sijaitsevien hapettimien vaikutusta suotoveden happipitoisuuteen seurattiin elo-syyskuun 2022 ajan. Kaatopaikalta tuleva suotovesi on lähes hapetonta, ja sen happipitoisuus oli koko seurantajakson ajan alle määritysrajan, < 0,2 mg/l. 24.8.2022 otetuissa vesinäytteissä suotoveden happipitoisuus raudanpoistoyksikön jälkeen oli 1,1 mg/l, IBC-kontin jälkeen 1,6 mg/l ja bioreaktorin jälkeen pitoisuus oli alle määritysrajan, < 0,2 mg/l (kuva 9).



Kuva 9. Suotoveden happipitoisuus pilottijärjestelmän näytteenottopisteissä 24.8.2022 (KVVY Tutkimus Oy 2022).

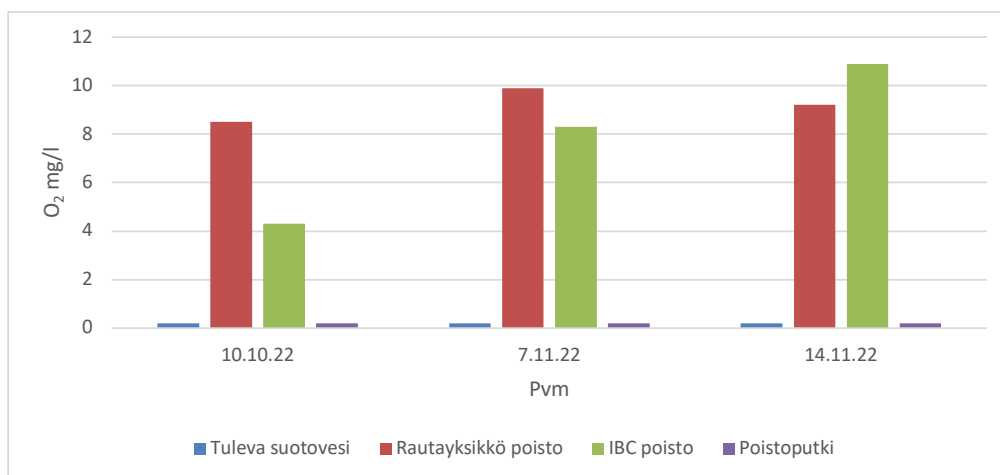
Saatujen tulosten perusteella suotoveden hapetusta päätettiin tehostaa asentamalla raudanpoistoyksikössä toiseen allasosioon lisähapetin. Hapetuksen tehostamisen tavoitteena oli varmistaa suotoveden riittävä happipitoisuus bioreaktorissa ja siten nitrifikaation käynnistymisen tehostaminen. Maarakennus Talpa Oy toteutti lisähapettimen asennuksen 4.10.2022.

Hapetuksen tehostamisella saavutettiin merkittävä nousu suotoveden happipitoisuudessa: kenttämittarilla mitattuna raudanpoistoyksikössä olevan veden happipitoisuus nousi noin 10 mg/aan/l. IBC-kontin jälkeen bioreaktoriin virtaavan veden happipitoisuus oli 5,6 mg/l. Kuvassa 10 on esitetty elo-syyskuun aikaiset pitoisuuksien keskiarvot verrattuna lisähapettimen asennuksen jälkeen mitattuihin happipitoisuuksiin.



Kuva 10. Happipitoisuuden muutos lisähapetuksen jälkeen YSI ProDSS -mittarilla mitattuna.

Lisähapetuksen asentamisen jälkeen suotoveden happipitoisuus oli raudanpoistoyksikön jälkeen otetussa näytteessä 8,5–9,9 mg/l ja IBC-kontin jälkeen otetuissa näytteissä 4,3–10,9 mg/l (kuva 11). Kaatopaikalta tulevan ja pilottijärjestelmästä poistuvan suotoveden happipitoisuudet olivat alle määritysrajan, < 0,2 mg/l.



Kuva 11. Suotoveden happipitoisuus järjestelmän eri vaiheissa loka-marraskuussa 2022 (KVVVY Tutkimus Oy 2022).

Rautapitoisuus

Näytteenottokaudella käsittelemättömän suotoveden rautapitoisuus vaihteli välillä 91–150 mg/l ja raudanpoistoyksikön jälkeen otetuissa näytteissä välillä 2,2–5,8 mg/l. Pumpaamalla suotovettä raudanpoistoyksikön läpi raudan määrää saatiin vähennettyä keskimäärin 96,9 % (taulukko 4).

Taulukko 4. Kokonaisrautapitoisuus tulevassa suotovedessä ja raudanpoistoyksikön jälkeen sekä saavutettu poistoreduktio (KVVY Tutkimus Oy 2022).

| PVM | Tuleva suotovesi Fe kok. (mg/l) | Rautayksikkö poisto Fe kok. (mg/l) | Reduktio (%) |
|-----------|------------------------------------|--|--------------|
| 7.7.-22 | 150 | 2,2 | 98,5 |
| 24.8.-22 | 99 | 5,8 | 94,1 |
| 10.10.-22 | 130 | 2,8 | 97,8 |
| 7.11.-22 | 91 | 3,1 | 96,6 |
| 14.11.-22 | 110 | 2,8 | 97,5 |

Liukaisen raudan pitoisuus käsittelemättömässä suotovedessä vaihteli välillä 50–81 mg/l ja raudanpoistoyksikön jälkeen pitoisuus oli 2,2–5,8 mg/l. Raudanpoistoyksikön avulla suotoveden liukaisen raudan määrä väheni keskimäärin 99,6 % (taulukko 5).

Taulukko 5. Liukaisen raudan pitoisuus tulevassa suotovedessä ja raudanpoistoyksikön jälkeen sekä saavutettu reduktio (KVVY Tutkimus Oy 2022).

| PVM | Tuleva suotovesi Fe liuk. (mg/l) | Rautayksikkö poisto Fe liuk. (mg/l) | Reduktio (%) |
|-----------|-------------------------------------|---|--------------|
| 7.7.-22 | 81 | 0,2 | 99,8 |
| 24.8.-22 | 50 | 0,4 | 99,2 |
| 10.10.-22 | 67 | 0,26 | 99,6 |
| 7.11.-22 | 74 | 0,19 | 99,7 |

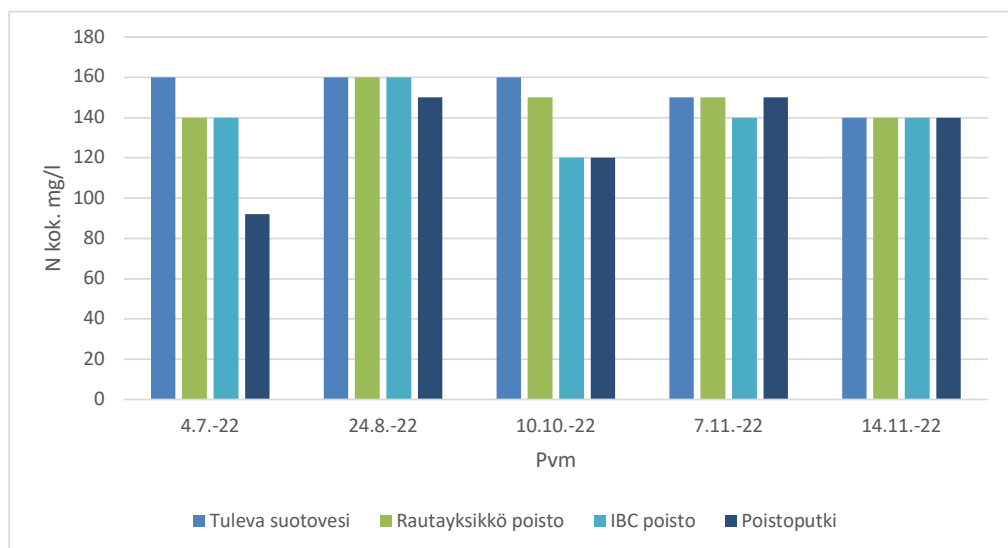
Typenpoisto

Käsittelemättömän ja käsitellyn suotoveden typpipitoisuutta ja typenpoiston tehokkuutta tarkasteltaessa järjestelmän eri vaiheista seurattavia pitoisuuksia olivat kokonaistyyppi (N kok. ja liuk.), ammoniumtyppi (NH₄ kok. ja liuk.), nitraattityppi (NO₃- kok. ja liuk.) ja nitriittityppi (NO₂- kok. ja liuk.).

Kaatopaikalta tulevan suotoveden kokonaistyyppipitoisuus oli mittauskauden aikana 140–160 mg/l (ka. 154 mg/l). Heinäkuussa 2022 pilottijärjestelmällä saavutettiin noin 43 %:n reduktio kokonaistypen osalta, kun suotoveden kokonaistyyppipitoisuus oli pudonnut lähtötilanteen 160 mg:sta/l bioreaktorin poistopuolelta mitattuun 92 mg:aan/l. Lisäksi lokakuussa otetuissa näytteissä havaittiin typen reduktiota 25 %. Mittauskauden muissa näytteissä kokonaistypen reduktiot olivat joko vähäiset (24.8.-22 reduktio < 7 %) tai reduktiota ei tapahtunut lainkaan. Kokonaistyyppipitoisuuksien tulokset on koottu taulukkoon 6 ja kuvan 12 kuvaajaan.

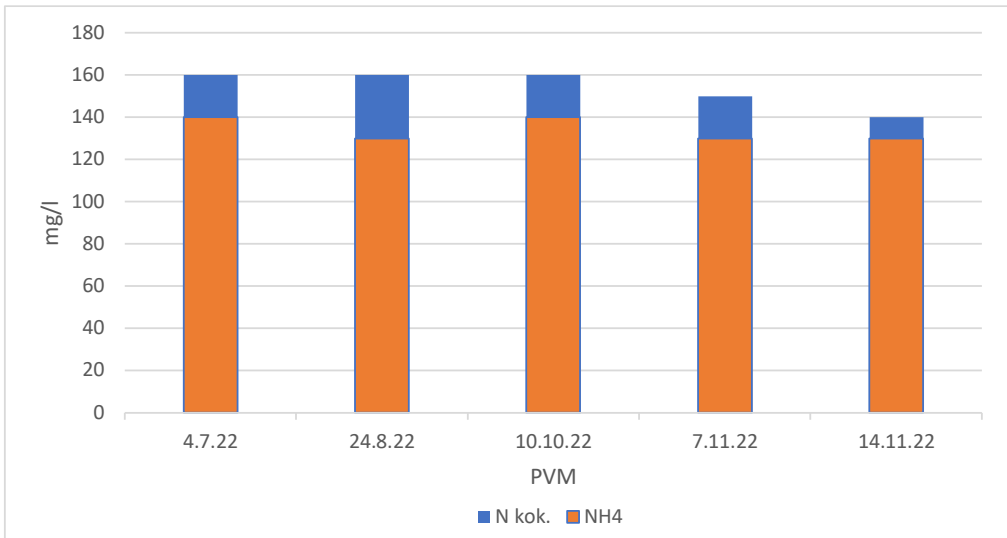
Taulukko 6. Suotoveden tyyppipitoisuus (N kok. ja N liuk.) eri näytteenottopisteissä (KVVY Tutkimus Oy 2022).

| PVM | Tuleva suotovesi | | Rautayksikkö poisto | | IBC poisto | | Poistoputki | |
|-----------|------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| | N kok. (mg/l) | N liuk. (mg/l) | N kok. (mg/l) | N liuk. (mg/l) | N kok. (mg/l) | N liuk. (mg/l) | N kok. (mg/l) | N liuk. (mg/l) |
| 4.7.-22 | 160 | | 140 | | 140 | | 92 | |
| 24.8.-22 | 160 | 140 | 160 | 140 | 160 | 150 | 150 | 130 |
| 10.10.-22 | 160 | 150 | 150 | 140 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| 7.11.-22 | 150 | 130 | 150 | 130 | 140 | 130 | 150 | 130 |
| 14.11.-22 | 140 | 130 | 140 | 130 | 140 | 130 | 140 | 130 |



Kuva 12. Kokonaistyyppipitoisuudet mittauskaudella eri näytteenottopäivinä.

Ristiinan kaatopaikan suotoveden tyyppi on pääasiassa ammonium-muodossa (NH₄). Kaatopaikalta tulevasta suotovedestä otetuissa näytteissä ammoniumtypen pitoisuus vaihteli välillä 130–140 mg/l, jolloin sen osuus tulevan suotoveden kokonaistypestä oli 81–93 % (kuva 13).

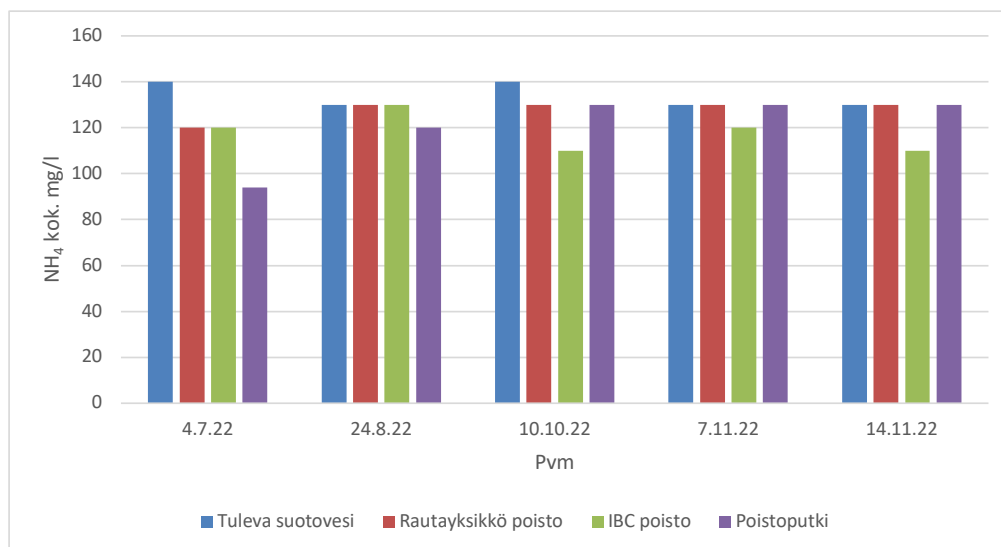


Kuva 13. Kaatopaikalta tulevan suotoveden ammoniumtyyppien (NH₄) osuus suotoveden sisältäessä kokonaistypestä (N kok.).

4.7.2022 otetuissa näytteissä suotoveden ammoniumtyyppipitoisuuden reduktio kaatopaikalta tulevan ja reaktorista poistuvan näytteen välillä oli 32,9 %. Elo- ja lokakuussa otetuissa näytteissä reduktio oli noin 7–8 %, mutta marraskuussa otetuissa näytteissä tulevan ja poistuvan veden ammoniumtyyppipitoisuuksissa ei ollut eroa (taulukko 7). Huomattavaa on, että reduktiota tapahtuu järjestelmän eri vaiheissa, ja loka-marraskuun näytteissä ammoniumtyyppipitoisuus nousi veden kulkiessa bioreaktorin läpi (kuva 14).

Taulukko 7. Suotoveden ammoniumtyyppipitoisuus (NH₄ kok. ja NH₄ liuk.) eri näytteenotuspisteissä (KVVY Tutkimus Oy 2022).

| PVM | Tuleva suotovesi | | Rautayksikkö poisto | | IBC poisto | | Poistoputki | |
|-----------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | NH ₄ kok. (mg/l) | NH ₄ liuk. (mg/l) | NH ₄ kok. (mg/l) | NH ₄ liuk. (mg/l) | NH ₄ kok. (mg/l) | NH ₄ liuk. (mg/l) | NH ₄ kok. (mg/l) | NH ₄ liuk. (mg/l) |
| 13.6.-22 | | | 44 | 48 | 46 | 45 | 46 | 60 |
| 4.7.-22 | 140 | | 120 | | 120 | | 94 | 82 |
| 24.8.-22 | 130 | 140 | 130 | 140 | 130 | 140 | 120 | 140 |
| 10.10.-22 | 140 | 130 | 130 | 130 | 110 | 110 | 130 | 120 |
| 7.11.-22 | 130 | 130 | 130 | 130 | 120 | 120 | 130 | 120 |
| 14.11.-22 | 130 | 130 | 130 | 130 | 110 | 110 | 130 | 120 |



Kuva 14. Suotoveden ammoniumityyppien pitoisuus (NH₄ kok.) eri näytteenottopisteissä.

Biologisessa typpipoistossa ammoniumityppi muuntuu nitriitiksi ja siitä edelleen nitraatiksi ja typpikaasuksi. Mittauskaudella otetuissa näytteissä nitriitin ja nitraatin pitoisuudet olivat koko näytteenottokauden ajan matalat, pääasiassa alle 0,1 mg/l. Marraskuun 2022 aikana otetuissa näytteissä nitriittityyppien ja nitraattityyppien pitoisuudet olivat hieman kohonneet erityisesti nitraattityyppien osalta; korkein nitraattityyppien pitoisuus, 6 mg/l, saavutettiin 14.11.2022 IBC-kontin poistoputken näytteestä analysoituna. Nitriitin ja nitraatin pitoisuudet on esitetty taulukoissa 8 ja 9.

Taulukko 8. Nitriittityyppien (NO₂⁻ kok. ja NO₂⁻ liuk.) pitoisuus eri näytteenottopisteissä (KVVY Tutkimus Oy 2022).

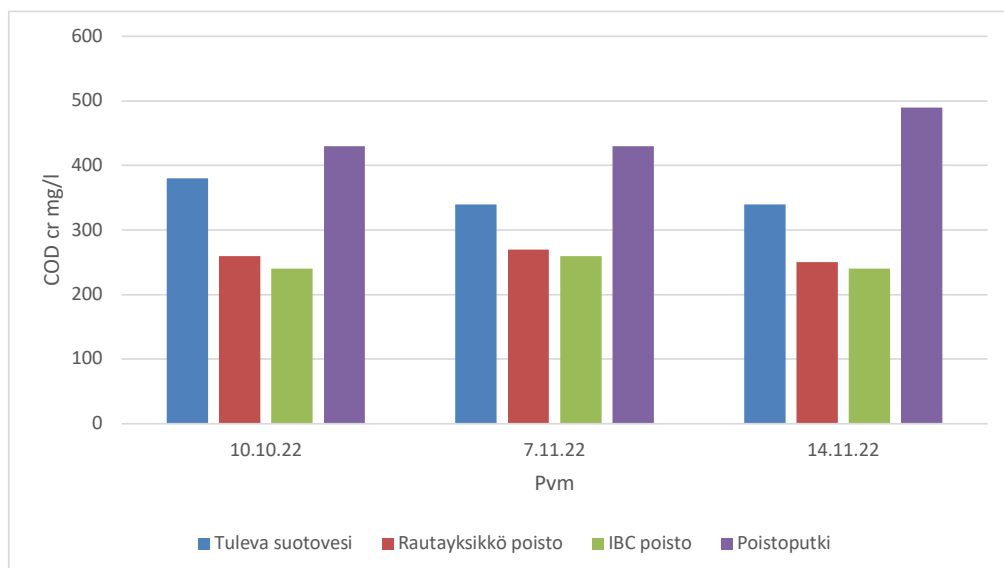
| PVM | Tuleva suotovesi | | Rautayksikkö poisto | | IBC poisto | | Poistoputki | |
|-----------|--|---|--|---|--|---|--|---|
| | NO ₂ ⁻ kok. (mg/l) | NO ₂ ⁻ liuk. (mg/l) | NO ₂ ⁻ kok. (mg/l) | NO ₂ ⁻ liuk. (mg/l) | NO ₂ ⁻ kok. (mg/l) | NO ₂ ⁻ liuk. (mg/l) | NO ₂ ⁻ kok. (mg/l) | NO ₂ ⁻ liuk. (mg/l) |
| 13.6.-22 | | | 0,031 | 0,002 | 0,006 | 0,002 | 0,013 | 0,002 |
| 4.7.-22 | 0,007 | < 0,010 | 0,11 | 0,083 | 0,200 | 0,200 | 0,030 | 0,011 |
| 24.8.-22 | < 0,015 | | 0,027 | | 0,097 | | 0,019 | |
| 10.10.-22 | 0,045 | 0,057 | 0,041 | 0,041 | 0,35 | 0,350 | 0,0042 | 0,003 |
| 7.11.-22 | 0,02 | 0,023 | 0,057 | 0,056 | 0,28 | 0,280 | 0,008 | 0,007 |
| 14.11.-22 | 0,024 | 0,012 | 0,079 | 0,077 | 1,7 | - | >0,015 | 0,005 |

Taulukko 9. Nitraattityypen (NO₃⁻ kok. ja NO₃⁻ liuk.) pitoisuus eri näytteenottopisteissä (KVVY Tutkimus Oy 2022).

| PVM | Tuleva suotovesi | | Rautayksikkö poisto | | IBC poisto | | Poistoputki | |
|-----------|--|---|--|---|--|---|--|---|
| | NO ₃ ⁻ kok. (mg/l) | NO ₃ ⁻ liuk. (mg/l) | NO ₃ ⁻ kok. (mg/l) | NO ₃ ⁻ liuk. (mg/l) | NO ₃ ⁻ kok. (mg/l) | NO ₃ ⁻ liuk. (mg/l) | NO ₃ ⁻ kok. (mg/l) | NO ₃ ⁻ liuk. (mg/l) |
| 13.6.-22 | | | < 0,03 | < 0,01 | < 0,03 | < 0,01 | < 0,03 | < 0,01 |
| 4.7.-22 | 0,03 | > 0,023 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| 24.8.-22 | | < 0,20 | < 0,20 | | < 0,20 | | < 0,20 | |
| 10.10.-22 | < 0,005 | < 0,01 | 0,072 | 0,053 | 0,6 | 0,57 | < 0,005 | < 0,01 |
| 7.11.-22 | 0,016 | 0,01 | 0,2 | 0,2 | 1,9 | 2,1 | 0,021 | 0,02 |
| 14.11.-22 | < 0,20 | 0,022 | < 0,20 | 0,28 | 6,0 | - | < 0,20 | 0,013 |

Kemiallinen hapenkulutus

Suotoveden kemiallinen hapenkulutus (COD_C) vaihteli seurantakaudella järjestelmän vaiheen mukaan. Suotoveden kemiallinen hapenkulutus väheni raudanpoistoyksikössä ja IBC-kontissa, mutta bioreaktorista poistuvassa vedessä kemiallinen hapenkulutus oli korkeampi kuin kaatopaikalta tulevassa vedessä. Tulevan suotoveden kemiallisen hapenkulutuksen keskiarvo loka-marraskuun näytteenotoissa oli 353 mg/l, raudanpoistoyksikön jälkeen otetuissa näytteissä 260 mg/l, IBC-kontin jälkeen 247 mg/l ja bioreaktorista poistuvassa vedessä 450 mg/l. Kuvassa 15 on esitetty suotoveden kemiallinen hapenkulutus (COD_C) järjestelmän eri vaiheissa loka-marraskuun näytteenotoissa.



Kuva 15. Suotoveden kemiallinen hapenkulutus (COD_C) järjestelmän eri vaiheissa loka-marraskuussa 2022 (KVVY Tutkimus Oy 2022).

Raskasmetallit

Kaatopaikan suotovedestä ja pilottijärjestelmällä käsitellystä suotovedestä analysoitiin raskasmetalleja 24.8.2022 ja 15.11.2022 otetuista näytteistä. Näytteet otettiin käsittelemättömän suotoveden lisäksi kaikista kolmesta pilottijärjestelmän näytesteestä. Analysoitavat raskasmetallit olivat antimoni, arseeni, kadmium, koboltti, kromi, lyijy, nikkeli, sinkki, vanadiini ja elohopea.

Kaatopaikalta tulevan, käsittelemättömän suotoveden näytteissä antimonin, kadmiumin ja elohopean pitoisuudet olivat alle määrittämissä rajoissa, lyijypitoisuus oli alle 1 µg/l ja arseenin, kobolttin, nikkelin, sinkin ja vanadiinin pitoisuudet olivat 5–10 µg/l. Kromin pitoisuus tulevassa suotovedessä oli 31–34 µg/l. Tulokset on koottu taulukkoon 10.

Taulukko 10. Suotoveden raskasmetallipitoisuudet eri näytesteissä 24.8.2022 ja 15.11.2022 otetuissa näytteissä (KVVY Tutkimus Oy 2022).

| | | Tuleva suotovesi | Rautayksikkö poisto | IBC-poisto | Poistoputki |
|------------------|-----------|------------------|---------------------|------------|-------------|
| Antimoni (µg/l) | 24.8.-22 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| | 15.11.-22 | <0,5 | <0,5 | 0,99 | <0,5 |
| Arseeni (µg/l) | 24.8.-22 | 8,9 | 1,8 | 1,7 | 1,5 |
| | 15.11.-22 | 12 | 1,5 | 2,1 | <0,5 |
| Kadmium (µg/l) | 24.8.-22 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| | 15.11.-22 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| Koboltti (µg/l) | 24.8.-22 | 5,8 | 5,2 | 5,3 | 5,1 |
| | 15.11.-22 | 5,8 | 5,3 | 5,6 | <5 |
| Kromi (µg/l) | 24.8.-22 | 31 | 17 | 17 | 16 |
| | 15.11.-22 | 34 | 16 | 16 | 15 |
| Lyijy (µg/l) | 24.8.-22 | 0,57 | <0,4 | <0,4 | <0,4 |
| | 15.11.-22 | 0,71 | <0,4 | 0,4 | <0,4 |
| Nikkeli (µg/l) | 24.8.-22 | 7,8 | 7,1 | 7,3 | 7,4 |
| | 15.11.-22 | <10 | <10 | <10 | <10 |
| Sinkki (µg/l) | 24.8.-22 | 8,3 | 5,8 | 4,2 | 27 |
| | 15.11.-22 | <20 | <20 | <20 | <20 |
| Vanadiini (µg/l) | 24.8.-22 | 6,1 | 0,77 | 0,62 | 0,29 |
| | 15.11.-22 | 10 | 0,63 | 0,77 | 0,32 |
| Elohopea (µg/l) | 24.8.-22 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 |
| | 15.11.-22 | <0,005 | 0,008 | 0,006 | 0,008 |

Suurimmat raskasmetallien reduktiot todettiin arseenin, kromin ja vanadiinin pitoisuuksissa (taulukko 11). Elokuussa 2022 otetussa näytteessä suotoveden sinkkipitoisuus oli bioreaktorin poistopuolella yli 200 % suurempi kuin käsittelemättömässä suotovedessä. Lisäksi elohopean pitoisuus oli käsitellyssä suotovedessä korkeampi kuin käsittelemättömässä vedessä marraskuussa 2022 otetuissa näytteissä.

Taulukko 11. Pilottijärjestelmällä käsitellyn suotoveden raskasmetallipitoisuuksien reduktio käsittelemättömään suotoveteen verrattuna.

| | | Tuleva suotovesi (µg/l) | Poistoputki (µg/l) | Reduktio (%) |
|-----------|-----------|-------------------------|--------------------|--------------|
| Antimoni | 24.8.-22 | <0,5 | <0,5 | 0,00 |
| | 15.11.-22 | <0,5 | <0,5 | 0,00 |
| Arseeni | 24.8.-22 | 8,9 | 1,5 | -83,15 |
| | 15.11.-22 | 12 | <0,5 | -95,83 |
| Kadmium | 24.8.-22 | <0,1 | <0,1 | 0,00 |
| | 15.11.-22 | <0,1 | <0,1 | 0,00 |
| Koboltti | 24.8.-22 | 5,8 | 5,1 | -12,07 |
| | 15.11.-22 | 5,8 | 5 | -13,79 |
| Kromi | 24.8.-22 | 31 | 16 | -48,39 |
| | 15.11.-22 | 34 | 15 | -55,88 |
| Lyijy | 24.8.-22 | 0,57 | <0,4 | -29,82 |
| | 15.11.-22 | 0,71 | <0,4 | -43,66 |
| Nikkeli | 24.8.-22 | 7,8 | 7,4 | -5,13 |
| | 15.11.-22 | <10 | <10 | 0,00 |
| Sinkki | 24.8.-22 | 8,3 | 27 | 225,30 |
| | 15.11.-22 | <20 | <20 | 0,00 |
| Vanadiini | 24.8.-22 | 6,1 | 0,29 | -95,25 |
| | 15.11.-22 | 10 | 0,32 | -96,80 |
| Elohopea | 24.8.-22 | <0,005 | <0,005 | 0,00 |
| | 15.11.-22 | <0,005 | 0,008 | 60,00 |

Johtopäätökset

Ristiinan pilottijärjestelmään asennettu raudanpoistoyksikkö toimi mittauskaudella 2022 tavoitteensa mukaisesti. Järjestelmään pumpattavan suotoveden kokonaisrautapitoisuuden reduktio oli mittauskaudella keskimäärin 96,9 % ja liukoisen raudan reduktio 99,6 %. Myös järjestelmään asennetut hapettimet olivat teholtaan tavoitteen mukaiset ja hapettivat suotovettä nitrifikaation edellyttämälle tasolle: yli 2 mg/l.

Raudanpoistosta ja riittävästä happipitoisuudesta huolimatta biologinen typenpoisto ei käynnistynyt järjestelmässä. Todennäköisiä vaikuttavia tekijöitä olivat suotoveden matala lämpötila, korkea typpikuorma ja mahdolliset suotoveden sisältämät haitalliset aineet. Lisäksi biologinen typenpoisto vaatii nitrifikaatiobakteereita sekä typpipitoisuuteen suhteutettuna optimaalisen määrän fosforia ja hiiltä. Näiden tekijöiden pitoisuuksia ei tutkittu mittauskauden aikana.

Pilottijärjestelmällä saavutettiin tehokasta reduktiota eräiden suotoveden sisältämien raskasmetallien pitoisuuksissa. Arseenin pitoisuus väheni käsittelyn avulla keskimäärin 89,5 %, kromin 51,2 % ja vanadiinin 96,0 %. Huomioitavaa on, että suurimmat reduktiot saavutetaan bioreaktorin sijaan kuitenkin jo esikäsittelyssä raudan laskeutuksen yhteydessä. Näin ollen biohiilellä on Ristiinan pilottilaitteiston kaltaisessa järjestelmässä vain raskasmetallien reduktiota täydentävä vaikutus. Tiettyjen raskasmetallien, kuten sinkin, pitoisuuksien kohoaminen järjestelmässä voi johtua järjestelmän osista tai jo aiemmin laskeutuneesta sakasta takaisin veteen liukenevista partikkeleista.

Biologisen typenpoiston käynnistämiseksi järjestelmän toimintaa ja suotoveden kiertoa tulisi edelleen optimoida ja luoda siten edellytykset nitrifikaatiolle ja denitrifikaatiolle. Järjestelmään pumpattavan veden laatu asettaa haasteita järjestelmän toiminnalle ja biologisten prosessien käynnistymiselle. Lisäksi nitrifikaatiobakteerit vaativat aikaa ja oikeanlaiset olosuhteet sopeutuakseen uuteen ympäristöön.

LÄHTEET

KVVY Tutkimus Oy. 2022. Testausseosteet 4XAMK/9-4XAMK/17.

Saarelainen, J. 2021. Ristiinan raudanpoistoyksikkö.

SUOTOVEDEN TYPENPOISTON JATKOKOKEET RISTIINAN PILOTTIJÄRJESTELMÄLLÄ

Salla Pulliainen & Sari Hämäläinen

Devo-hankkeen kokeissa vuosina 2021 ja 2022 suotovesi pumpattiin raudanpoistoyksikköön suoraan kaatopaikan suotovesikaivosta. Kokeissa saatujen tulosten perusteella vuoden 2023 kokeita varten pilottijärjestelmää muokattiin suotoveden pumppauksen ja järjestelmän purkuputken sijainnin osalta. Pilottijärjestelmään pumpattava vesi päätettiin Watec Consulting Oy:n suunnittelija Juha-Pekka Saarelaisen suunnitelman perusteella pumpata suotovesikaivon sijaan tasausaltaasta, jolloin suotovesi sekoittuisi tasausaltaassa olevan huleveden kanssa. Tällä tavoiteltiin suotoveden sisältämien ravinteiden ja haitta-aineiden pitoisuuksien laimenemistä sekä käsiteltävän veden lämpenemistä ennen sen pumppausta järjestelmään.

Muutos- ja huoltotoimenpiteet

Veden pumppaukseen liittyvät muutokset toteutettiin kevään 2023 aikana. Tasausallas jaettiin suodatinkankaalla kahteen osaan, ja pumppu asennettiin samalle puolelle, jossa sijaitsi suotoveden purkuputki (kuva 1). Pilottijärjestelmän purkuputki sijoitettiin tasausaltaaseen kankaan toiselle puolelle. Suunnitelmien perusteella kesäkuussa 2023 järjestelmään lisättiin lisäksi aktiivilietteen automaattiannostelu nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessin tehostamiseksi. Aktiivilietteen syöttöannokseksi säädettiin 0,75 l/vrk. Bioreaktorissa olevia suodatinmateriaaleja ei vaihdettu, vaan materiaalit olivat samat, jotka reaktoriin oli asetettu keväällä 2022. Suodatinmateriaali oli lehtipuuhakkeen (80 til.-%) ja biohiilen (20 til.-%) sekoitusta.

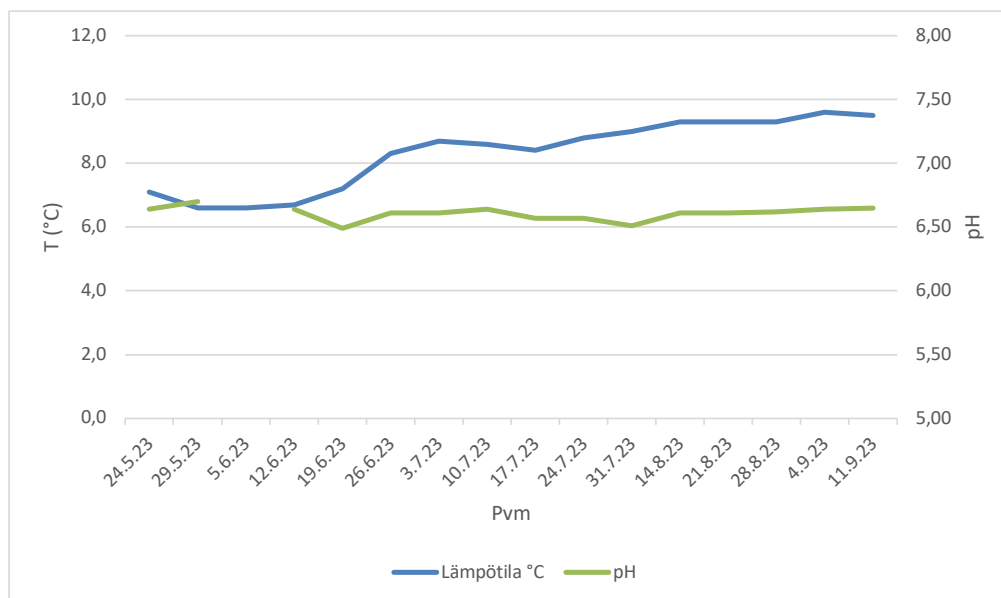


Kuva 1. Vuoden 2023 kokeita varten tasausallas jaettiin kahteen osioon suodatinkankaan avulla. Kuvassa näkyy pumpun asemointirakenne (kuva Salla Pulliainen).

Seurantakauden aikana laitteistossa ilmeni joitain säiden, kuten myrskyn ja sateen, aiheuttamia sähkökatkoksia, joiden aikana pumppu ja ilmastimet eivät olleet toiminnassa. Sähkökatkokset huomattiin kenttäkäytien yhteydessä, eikä siten ollut varmuutta katkoksen kestosta. Kesän 2023 aikana laitteistolle tehtiin huoltotoimenpiteitä sähkökatkosten ehkäisemiseksi sekä järjestelmän virtaaman säätämiseksi.

Käsiteltävän veden laatu

Kaatopaikalta tulevan suotoveden lämpötila oli vuoden 2023 mittauskauden aikana 6,6–9,6 °C kaatopaikan purkuputken päässä olevasta S-putkesta mitattuna. Suotoveden pH pysytteli tasaisena ollen keskiarvoltaan pH 6,6 (kuva 2). Käsittelemättömästä suotovedestä ei analysoitu typpi- tai rautapitoisuuksia vuoden 2023 seurantajaksolla, mutta vuonna 2022 järjestelmään pumpattavan suotoveden kokonaistyyppipitoisuus oli keskimäärin 154 mg/l ja kokonaisrautapitoisuus 116 mg/l. Lisäksi suotovesikaivosta pumpattaessa suotovesi oli käytännössä hapetonta.



Kuva 2. Suotoveden lämpötila ja pH mittauskaudella 2023 kaatopaikan purkupuutkesta mitattuna.

Pilottijärjestelmään pumpattavan veden laatu muuttui, kun pumppaus siirrettiin suotovesikaivosta tasausaltaaseen. Touko-elokuun 2023 aikana tasausaltaassa laimentuneen suotoveden kokonaistyyppipitoisuus oli 37–80 mg/l, kokonaisrautapitoisuus 0,9–11,0 mg/l ja happipitoisuus 1,6–3,5 mg/l (taulukko 1). Näin ollen järjestelmään tasausaltaasta pumpattavan veden typpi- ja rautapitoisuudet olivat matalammat ja happipitoisuus korkeampi aiempien vuosien kokeiden tilanteeseen verrattuna.

Taulukko 1. Suotoveden laatu vuonna 2022 suotovesikaivosta mitattuna sekä järjestelmään pumpattavan veden laatu tasausaltaassa pumpun vierestä mitattuna vuonna 2023.

| | Yksikkö | Vuosi 2022, suotoveden ka.-pitoisuudet | Tasausaltaan veden pitoisuudet 29.5.2023 | Tasausaltaan veden pitoisuudet 3.7.2023 | Tasausaltaan veden pitoisuudet 14.8.2023 |
|-----------------|---------|--|--|---|--|
| N kok. | mg/l | 154 | 37 | 58 | 80 |
| NH ₄ | mg/l | 134 | 33 | 54 | 72 |
| Fe kok. | mg/l | 116 | 11,0 | 2,5 | 0,9 |
| Fe liuk. | mg/l | 68 | 7 | 0,9 | 0,3 |
| Happipitoisuus | mg/l | > 0,2 | 3,5 | 3,3 | 1,6 |

Tasausaltaan suodatinkangas jakoi veden kahteen erilaatuiseseen osioon. Kaatopaikan suotoveden purkuputken puoleisessa osiossa veden happipitoisuus, pH ja sameus olivat matalampia kuin kankaan toisella puolella, jonne pilottijärjestelmän purkuputki oli johdettu (taulukko 2). Altaan osioiden sameuserot olivat nähtävissä myös aistinvaraisesti arvioituna, sillä vesi oli silmin nähden sameampaa kaatopaikan suotoveden purkuputken puoleisessa osiossa (kuva 3). Lisäksi veden sähkönjohtokyky oli suotoveden purkuputken puolella korkeampi kuin kankaan toisella puolella, jonne käsitelty vesi johdettiin. Mittaustulokset osoittivat, että suodatinkangas toimi tarkoituksensa mukaisesti.

Taulukko 2. Tasausaltaan veden laatu suodatinkankaan eri puolilla 5.6.2023.

| | Yksikkö | Tasausallas, pumpun vierestä mitattuna | Tasausallas, pilottijärjestelmän purkuputken puolelta mitattuna |
|-----------------|---------|--|---|
| Lämpötila | °C | 11,7 | 13,6 |
| Happipitoisuus | mg/l | 1,81 | 4,82 |
| Hapen kyllästys | % | 16,8 | 46,5 |
| Sähkönjohtavuus | µS/cm | 1631 | 1057 |
| Sameus | FNU | 70,98 | 3,74 |



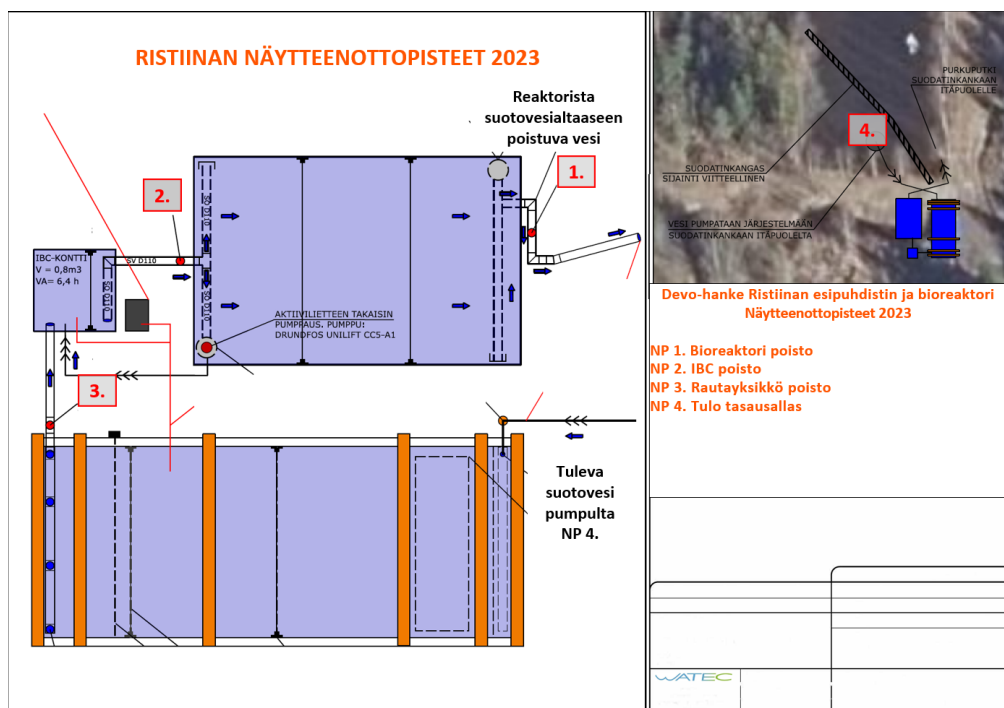
Kuva 3. Tasausaltaan vesi jaettiin kahteen osioon suodatinkankaalla. Kuvassa jakolinjan vasemmalla puolella on pilottijärjestelmän pumppu. Pilottijärjestelmän purkuputki johtaa tasausaltaaseen suodatinkankaan oikealle puolelle (kuva Salla Pulliainen).

Pilottijärjestelmän seuranta

Pilottijärjestelmän toimintaa seurattiin säännöllisesti ottamalla vesinäytteet noin kahden viikon välein. Vesinäytteet otettiin neljästä näytepisteestä eri vaiheista järjestelmää: tasausaltaasta pumpattavasta vedestä (NP 4), esipuhdistetusta suotovedestä raudanpoistoyksikön jälkeen (NP 3), ilmastetusta vedestä IBC-kontin jälkeen (NP 2) sekä puhdistetusta suotovedestä bioreaktorin jälkeen (NP 1). Vesinäytteet lähetettiin analyysiin ulkopuoliseen laboratorioon KVVY Tutkimus Oy:lle. Näytteistä määritettiin kokonaistyyppi (N), ammoniumtyppi (NH_4), nitraattityppi (NO_3), nitriittityppi (NO_2), happipitoisuus (O_2), rautapitoisuus (Fe kok.) ja liukoinen rautapitoisuus (Fe liuk.) sekä kemiallinen hapenkulutus (COD_c). Lisäksi suotovedestä määritettiin raskasmetallipitoisuuksia järjestelmän eri vaiheista. Näytepisteet on esitetty taulukossa 3 ja niiden sijainnit järjestelmässä kuvassa 4.

Taulukko 3. Ristiinan pilottijärjestelmän näytteenottopisteet.

| Näytepiste | Näytepisteen numero |
|---------------------|---------------------|
| Bioreaktori poisto | 1. |
| IBC poisto | 2. |
| Rautayksikkö poisto | 3. |
| Tulo tasausallas | 4. |

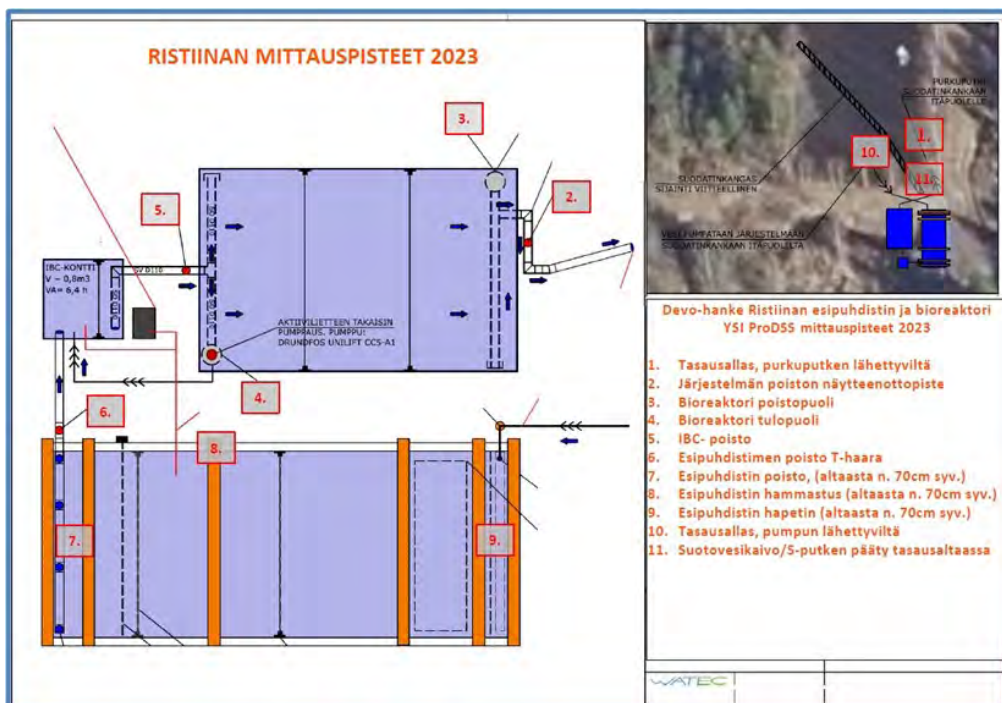


Kuva 4. Ristiinan pilottijärjestelmän näytteenottopisteet 2023 (Saarelainen 2022 mukailten).

Vesinäytteenottojen ohella järjestelmää monitoroitiin YSI ProDSS -moniparametrikenttämittarilla keskimäärin kerran viikossa (kuvat 5 ja 6). Mittauspisteet on esitetty kuvassa 7. Kenttämittarilla mitattiin kohteessa veden lämpötila (°C), sähkönjohtokyky ($\mu\text{S}/\text{cm}$), veden happamuus (pH), liuennon hapen pitoisuus (DO% sekä mg/l) ja sameus (FNU).



Kuvat 5 ja 6. Suotoveden ominaisuuksien mittausta YSI ProDSS -kenttämittarilla (kuvat Salla Pulliainen).



Kuva 7. Ristiinan pilottijärjestelmän kenttämittauspisteet (Saarelainen 2022 mukailten).

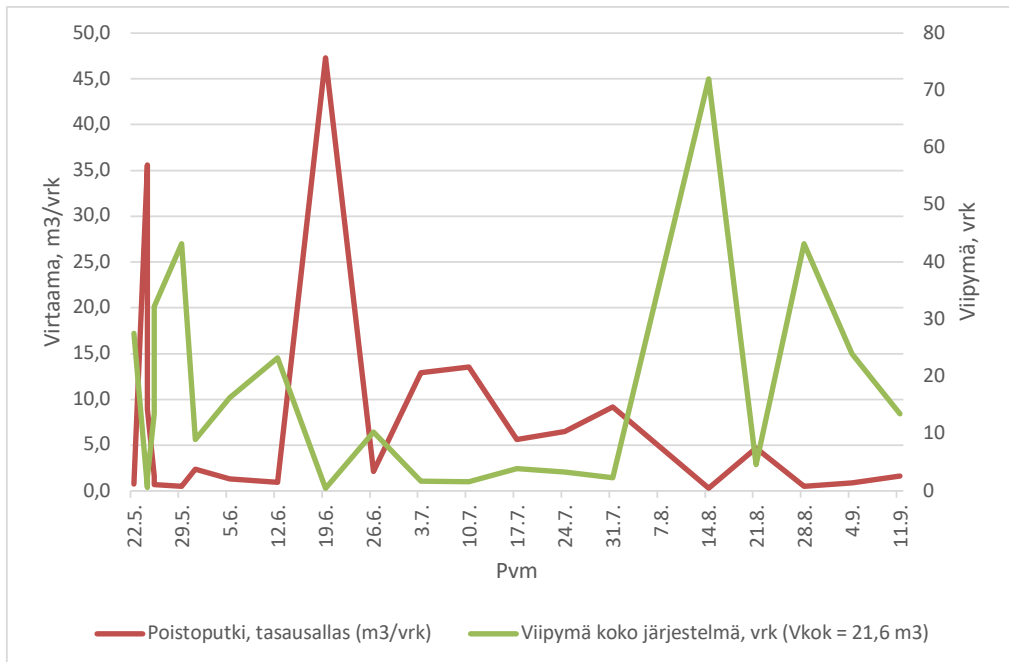
Virtaaman ja viipymän selvittämiseksi kaatopaikalta tulevan suotoveden ja puhdistimen läpi virtaavan veden määrää arvioitiin astiamittauksin (kuva 8). Mittauksissa käytettiin astiatilavuuksia 2140 ml sekä 575 ml. Virtaaman avulla oli tavoitteena arvioida suotoveden ajallista viipymää järjestelmässä ja siten viipymän vaikutusta suotoveden puhdistustehokkuuteen.



Kuva 8. Virtaamamittaus kaatopaikan suotoveden S-putken mittauspisteestä astiamittauksella (kuva Matti Hämäläinen).

Tulokset

Mittausjakson aikana virtaama pilottijärjestelmän poistoputkessa oli keskimäärin $\sim 7,2 \text{ m}^3/\text{vrk}$. Pilottijärjestelmän osien yhteenlaskettu vesitilavuus on $21,6 \text{ m}^3$, jolloin suotoveden laskennallinen viipymä koko järjestelmässä kyseisellä ajanjaksolla oli keskimäärin 17 vrk. Mittausten mukaan järjestelmästä poistuvan veden virtaamassa esiintyi suurta vaihtelua päiväkohtaisesti (kuva 9). Virtaamaan vaikuttivat muun muassa mittausjaksolla tehdyt laitteiston asennus- ja korjaustyöt sekä pilottijärjestelmän rakenne.



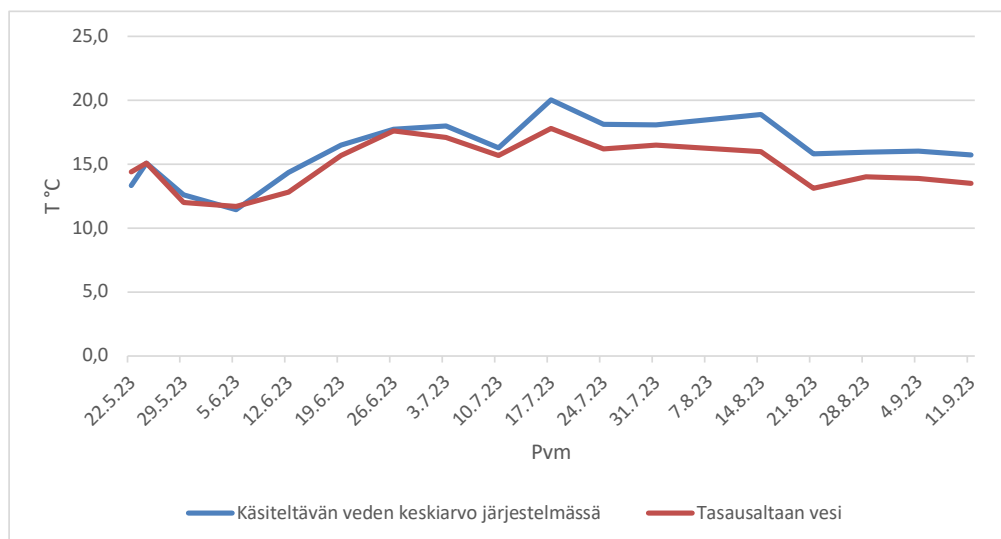
Kuva 9. Järjestelmän virtaama ja kokonaisviipymä touko-syyskuussa 2023.

Seurantajakson aikana järjestelmään tasausaltaasta pumpattavan veden virtaama yritettiin säätää tasaiseksi tulevan veden säätöventtiilin avulla. Tavoitteena oli säätää virtaama vastaamaan kaatopaikalta tulevan suotoveden määrää. Järjestelmän säätöventtiilin käyttö osoittautui epätarkaksi ja venttiili herkästi tukkeutuvaksi, eikä suotoveden virtaamaa siten saatu vakioitua virtausta säätämällä.

Tarkasteltaessa virtaamaa ajanjaksolla, jolloin koko järjestelmä oli käytössä, 19.6.–11.9.2023, järjestelmän virtaama oli keskimäärin $7,6 \text{ m}^3/\text{vrk}$. Kyseisellä ajanjaksolla suotoveden viipymä koko järjestelmässä oli keskimäärin 15 vrk.

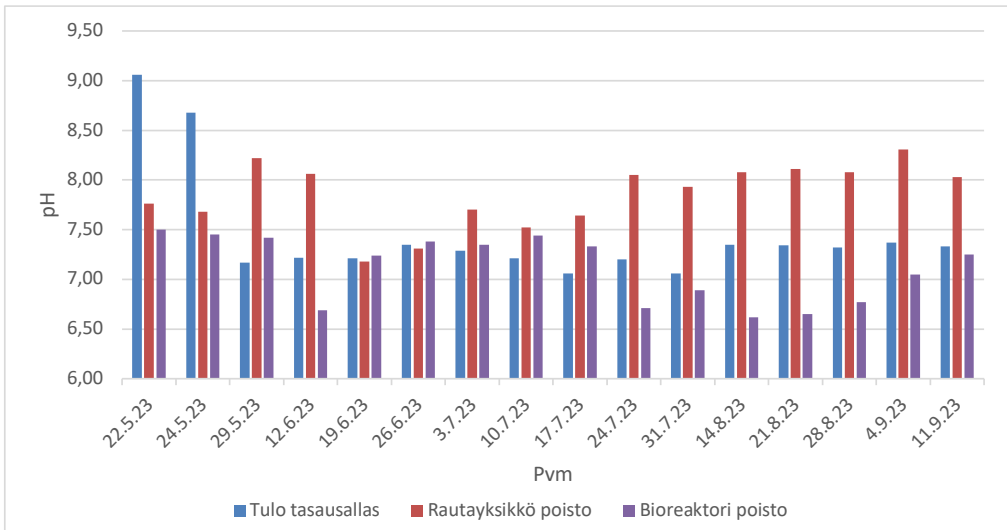
Lämpötila ja happamuus

Järjestelmään pumpatun veden lämpötila oli mittauskaudella 11,4–20,0 °C tasausaltaasta pumpun vierestä mitattuna. Veden lämpötila kohosi järjestelmässä ajankohdasta riippuen noin 1–2 °C. Kuvassa 10 on tasausaltaan veden lämpötila ja järjestelmässä kulkevan veden keskiarvolämpötilat mittausjaksolla.



Kuva 10. Järjestelmään pumpattavan veden lämpötila ja veden keskilämpötilat järjestelmässä.

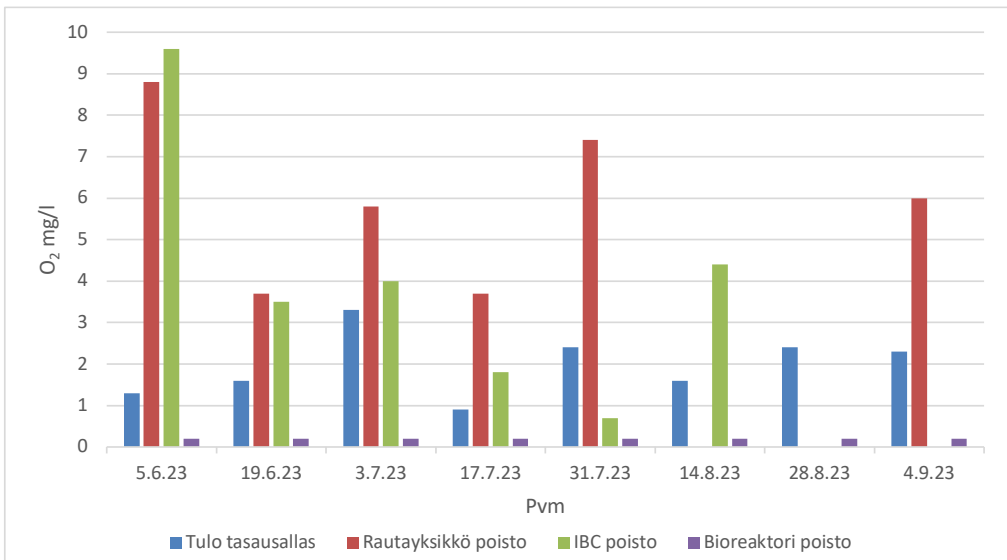
Tasausaltaasta pumpattavan veden pH oli toukokuun aikana korkeimmillaan noin 9. Muutoin tasausaltaan veden pH oli mittauskaudella 7,1–7,4. Heinäkuun loppupuolelta alkaen järjestelmässä kiertävän veden happamuudessa alkoi näkyä muutoksia, sillä veden pH alkoi systemaattisesti nousta raudanpoistoyksikössä yli 8:aan. Bioreaktorin jälkeisestä näytteenottopisteestä mitattuna pH sen sijaan laski voimakkaasti jopa lähelle pH 6,5:tä (kuva 11).



Kuva 11. Käsiteltävän veden pH:n muutokset pilottijärjestelmässä.

Happipitoisuus

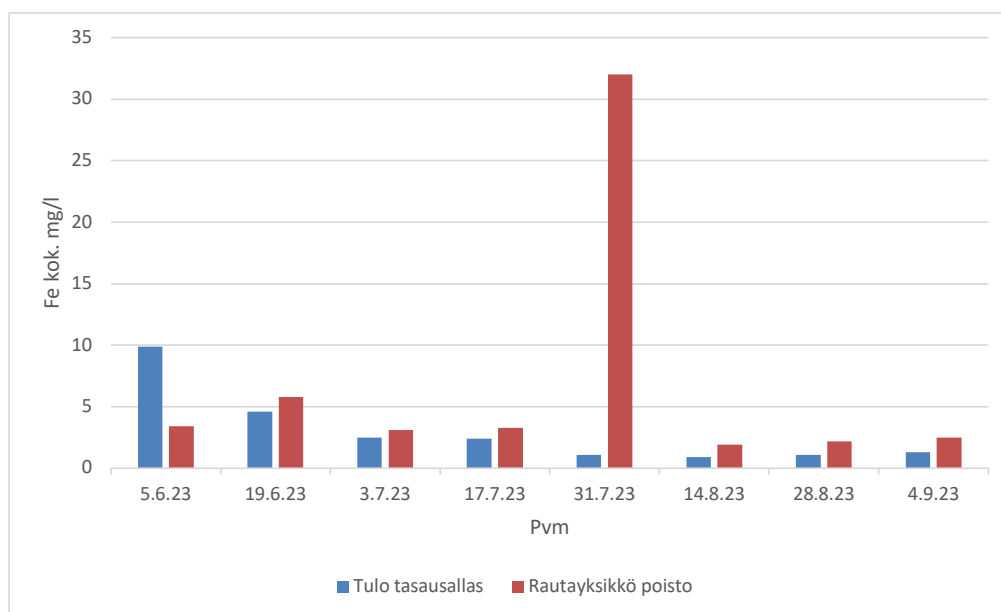
Raudanpoistoyksikköön asennetut hapettimet nostivat käsiteltävän veden happipitoisuuden vähintään 3,7 mg:aan/l. Heinäkuusta alkaen happea alkoi kulua enenevässä määrin jo IBC-kontissa, ja heinäkuun lopulla otetuissa näytteissä veden happipitoisuus oli enää alle 2 mg/l veden siirtyessä bioreaktoriin. Järjestelmän poistupuolelta analysoiduissa näytteissä happipitoisuus oli koko näytteenotokauden alle määrittämissä rajoissa. Tämä tarkoittaa, että käsiteltävän veden happi kului kokonaisuudessaan pois bioreaktorissa. Kaikista 14.8. ja 28.8. otetuista näytteistä ei pystytty määrittämään happipitoisuutta matriisihäiriöiden vuoksi (kuva 12).



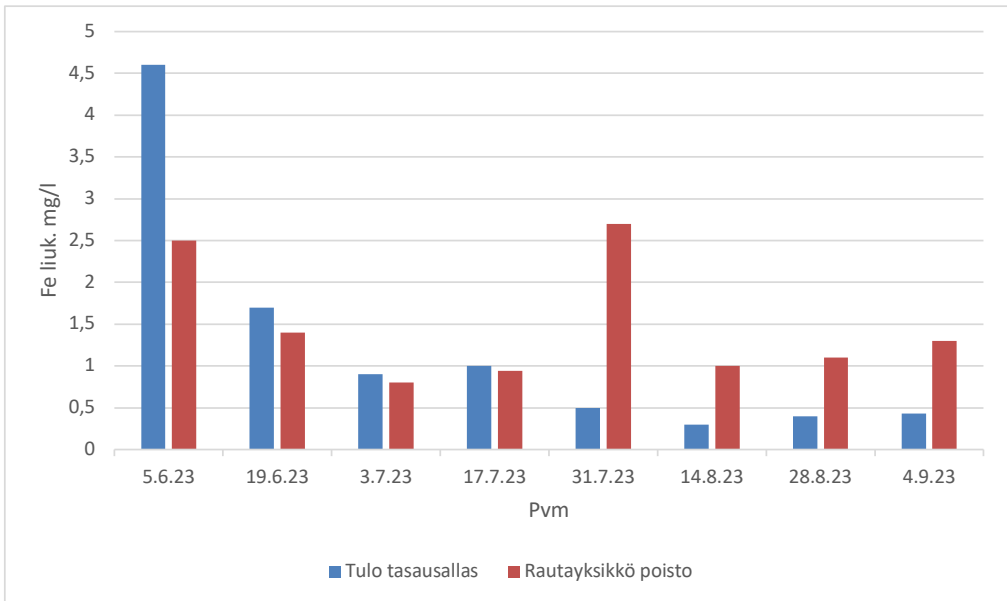
Kuva 12. Käsiteltävän suotoveden happipitoisuus järjestelmän eri vaiheissa.

Rautapitoisuus

Näytteenotokaudella järjestelmään tasausaltaasta pumpattavan veden rautapitoisuus vaihteli välillä 0,9–9,9 mg/l ja raudanpoistoyksikön jälkeen otetuissa näytteissä välillä 1,9–5,8 mg/l. Kuvista 13 ja 14 nähdään, että tasausaltaasta pumpattavan veden rautapitoisuus oli kaudella 2023 pääasiassa korkeampi raudanpoistoyksikössä tapahtuvan laskeutuksen jälkeen kuin ennen laskeutusta. Tämä johtuu järjestelmään kausilla 2021 ja 2022 kerääntyneen rautasakan lähtemisestä liikkeelle (kuva 15). Näin ollen raudanpoiston tehokkuus kääntyi kaudella 2023 negatiiviseksi. Taulukkoon 5 on koottu kokonaisraudan ja liukoisen raudan reduktiot raudanpoistoyksikössä kesän 2023 näytteissä.



Kuva 13. Kokonaisrautapitoisuus tasausaltaan vedessä ja raudanpoistoyksiköllä esikäsitellyssä vedessä.



Kuva 14. Liukoisen raudan pitoisuus tasausaltaan vedessä ja raudanpoistoyksiköllä esikäsittelyssä vedessä.

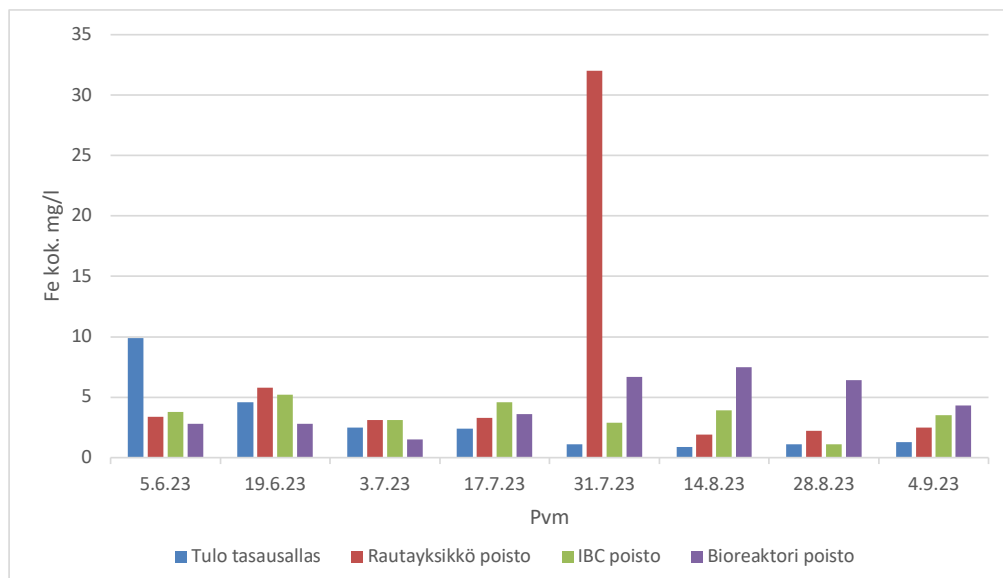


Kuva 15. Putkistoon kerääntyi järjestelmästä irronnutta rautaa. Kuva IBC-kontin ja bioreaktorin välisestä näytteenottopisteestä (kuva Salla Pulliainen).

Taulukko 5. Kokonaisraudan ja liukoisen raudan reduktiot raudanpoistoyksikössä vuonna 2023.

| PVM | Fe kok. reduktio raudanpoistoyksikössä (%) | Fe liuk. reduktio raudanpoistoyksikössä (%) |
|---------|--|---|
| 5.6.23 | 65,7 | 45,7 |
| 19.6.23 | -26,1 | 17,6 |
| 3.7.23 | -24,0 | 11,1 |
| 17.7.23 | -37,5 | 6,0 |
| 31.7.23 | -2809,1 | -440,0 |
| 14.8.23 | -111,1 | -233,3 |
| 28.8.23 | -100,0 | -175,0 |
| 4.9.23 | -92,3 | -202,3 |

Kun tarkastellaan rautapitoisuuksia järjestelmän kaikissa vaiheissa, voidaan havaita pitoisuuksien vaihtelevan näytteenottopäivän mukaan (kuva 16). Erityisesti heinäkuun lopulta alkaen rautapitoisuus kasvoi järjestelmän poistopuolelle mentäessä. 31.7. raudanpoistoyksikön jälkeen otetussa näytteessä kokonaisraudan pitoisuus oli noin kymmenkertainen muihin saman näytepisteen tuloksiin verrattuna. Tähän yksittäiseen korkeaan tulokseen on todennäköisesti vaikuttanut näytteeseen kerääntyneet, kuvassa 15 nähtävät raudan muodostamat hiutaleet. Vaikka rautapitoisuus kasvoi järjestelmässä, on kuitenkin huomioitava, että kokonaispitoisuus oli edelleen matala käsittelemättömän suotoveden kokonaisrautapitoisuuteen verrattuna. Vuoden 2022 näytteenotoissa käsittelemättömän suotoveden rautapitoisuus oli keskimäärin 116 mg/l ja raudanpoistoyksikön jälkeen 2,2–5,8 mg/l.



Kuva 16. Käsittävän veden kokonaisraudan pitoisuudet järjestelmän eri vaiheissa.

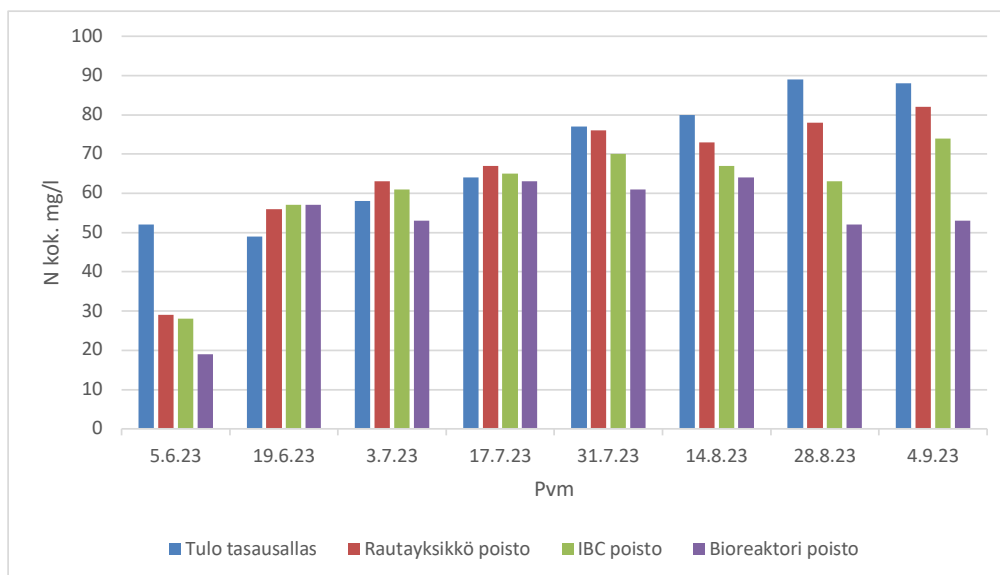
Typenpoisto

Typipitoisuutta ja typenpoiston tehokkuutta tarkasteltaessa järjestelmän eri vaiheista seurattavia pitoisuuksia olivat kokonaistyyppi (N kok. ja liuk.), ammoniumtyppi (NH_4 k), nitraattityppi (NO_3^-) ja nitriittityppi (NO_2^-). Järjestelmään pumpattavan tasausaltaan veden kokonaistyyppipitoisuus oli kesäkuun mittauksissa noin 50 mg/l. Kokonaistyyppipitoisuus nousi kesän myötä, ja elo-syyskuun viimeisissä näytteenotoissa pitoisuus oli lähes 90 mg/l.

Pilottijärjestelmän typenpoisto käynnistyi heinäkuun aikana, jolloin havaittiin ensimmäisen kerran selkeä typipitoisuuden vähenemä: kokonaistyyppipitoisuus laski pilottijärjestelmän avulla noin 21 %. Elo-syyskuun näytteenotoissa pitoisuuden reduktio voimistui, ja 4.9.2023 kokonaistypen reduktio oli jo noin 40 %. Taulukkoon 6 on koottu kokonaistypen pitoisuudet käsiteltävässä vedessä eri näytteenottopäivinä. Kuvasta 17 voidaan havaita, että typenpoistoa tapahtui pilottijärjestelmän jokaisessa osassa raudanpoistoyksiköstä lähtien.

Taulukko 6. Kokonaistypen pitoisuudet käsiteltävässä vedessä järjestelmän eri vaiheissa.

| PVM | N kok. (mg/l), tulo tasausallas | N kok. (mg/l), rautayksikkö poisto | N kok. (mg/l), IBC poisto | N kok. (mg/l), bioreaktori poisto |
|---------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 5.6.23 | 52 | 29 | 28 | 19 |
| 19.6.23 | 49 | 56 | 57 | 57 |
| 3.7.23 | 58 | 63 | 61 | 53 |
| 17.7.23 | 64 | 67 | 65 | 63 |
| 31.7.23 | 77 | 76 | 70 | 61 |
| 14.8.23 | 80 | 73 | 67 | 64 |
| 28.8.23 | 89 | 78 | 63 | 52 |
| 4.9.23 | 88 | 82 | 74 | 53 |

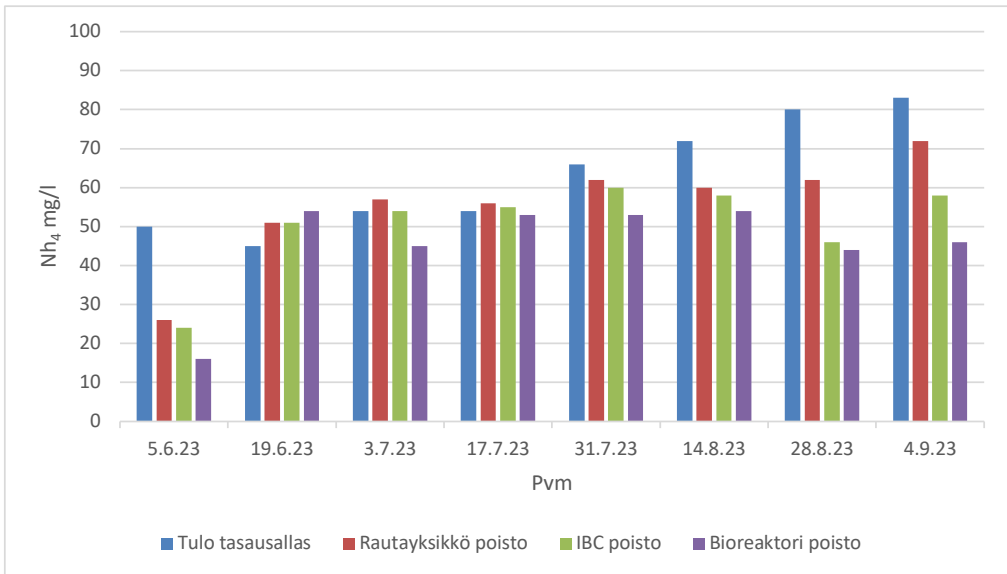


Kuva 17. Käsittävän veden kokonaistypipitoisuudet järjestelmän eri vaiheissa mittauskautella 2023.

Ammoniumtyyppipitoisuudet noudattivat kokonaistypipitoisuuksien reduktioita (kuva 18). Heinä-elokuun näytteissä voimakkain ammoniumtyyppin reduktio tapahtui raudanpoistoyksikössä, mutta syyskuussa otetussa näytteessä reduktio oli lähes yhtä voimakasta järjestelmän jokaisen näytteenottopisteen välillä.

Taulukko 7. Ammoniumtyyppin pitoisuudet käsiteltävässä vedessä järjestelmän eri vaiheissa.

| PVM | NH ₄ (mg/l), tulo tasausallas | NH ₄ (mg/l), rautayksikkö poisto | NH ₄ (mg/l), IBC poisto | NH ₄ (mg/l), bioreaktori poisto |
|----------------|--|---|------------------------------------|--|
| 5.6.23 | 50 | 26 | 24 | 16 |
| 19.6.23 | 45 | 51 | 51 | 54 |
| 3.7.23 | 54 | 57 | 54 | 45 |
| 17.7.23 | 54 | 56 | 55 | 53 |
| 31.7.23 | 66 | 62 | 60 | 53 |
| 14.8.23 | 72 | 60 | 58 | 54 |
| 28.8.23 | 80 | 62 | 46 | 44 |
| 4.9.23 | 83 | 72 | 58 | 46 |

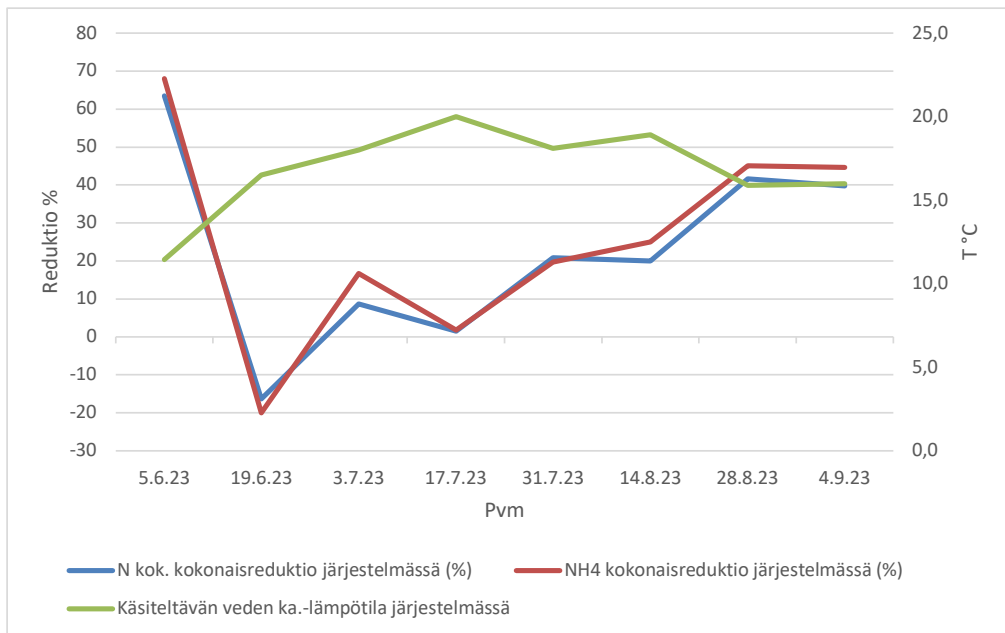


Kuva 18. Käsiteltävän veden ammoniumtyppipitoisuudet järjestelmän eri vaiheissa.

Loppukesän typpireduktioiden lisäksi sekä kokonais- että ammoniumtyypen reduktiot olivat voimakkaita, > 63 %, kesäkuun ensimmäisessä näytteenotossa. Tällöin suurin reduktio tapahtui raudanpoistoyksikössä. Kyseisellä näytteenotokerralla tasausaltaassa havaittiin runsaasti leväkasvustoa, jolla arvellaan olleen vaikutusta typpipitoisuuden vähenemiseen. Taulukkoon 8 on koottu kokonaistypen ja ammoniumtyypen reduktiot näytteenotokauden aikana, ja kuvassa 19 on reduktiot kuvaajalle asetettuna. Kuvan 19 kuvaajassa on lisäksi käsiteltävän veden keskiarvolämpötila pilottijärjestelmässä. Kuvaa osoittaa, että käsiteltävän veden keskiarvolämpötila pilottijärjestelmässä. Kuvaa osoittaa, että käsiteltävän veden typpipitoisuuksien reduktiot tasaantuivat viimeisissä näytteissä samalla, kun käsiteltävän veden lämpötila oli lähtenyt laskemaan.

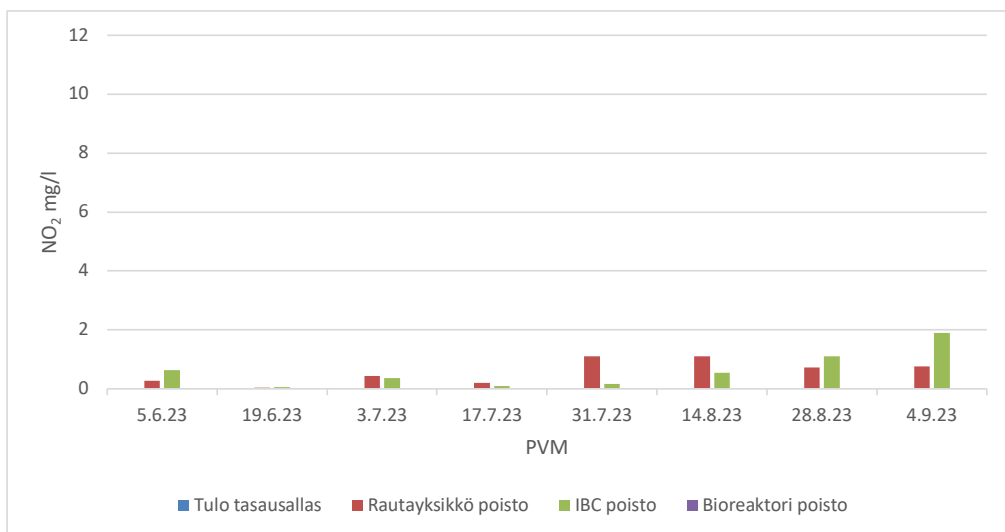
Taulukko 8. Kokonaistypen ja ammoniumtyypen reduktiot järjestelmässä.

| PVM | N kok. kokonaisreduktio järjestelmässä (%) | NH ₄ kokonaisreduktio järjestelmässä (%) |
|----------------|--|---|
| 5.6.23 | 63,5 | 68,0 |
| 19.6.23 | -16,3 | -20,0 |
| 3.7.23 | 8,6 | 16,7 |
| 17.7.23 | 1,6 | 1,9 |
| 31.7.23 | 20,8 | 19,7 |
| 14.8.23 | 20,0 | 25,0 |
| 28.8.23 | 41,6 | 45,0 |
| 4.9.23 | 39,8 | 44,6 |

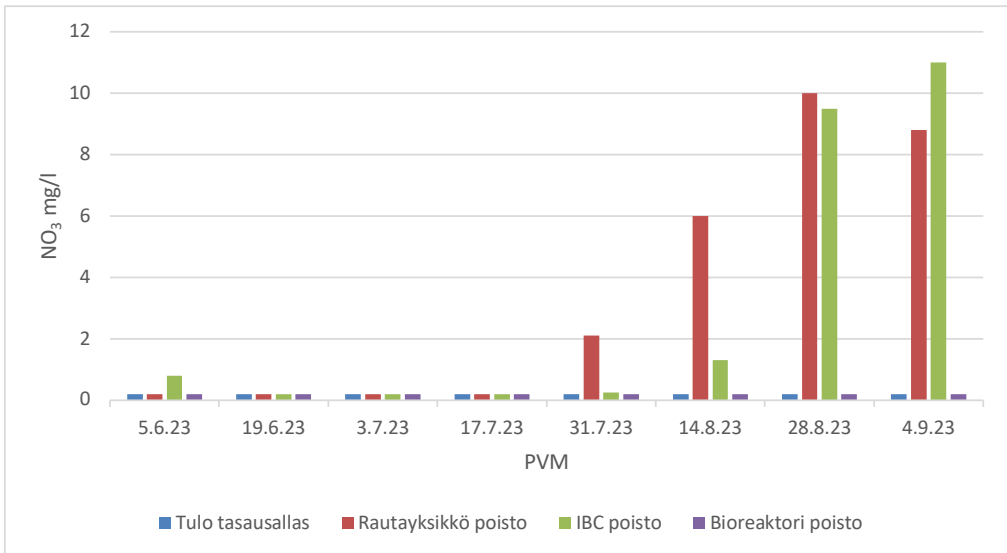


Kuva 19. Kokonaistypen ja ammoniumtypen reduktiot sekä käsiteltävän veden keskilämpötila pilottijärjestelmässä.

Nitriitin ja nitraatin pitoisuudet olivat koko näytteenottokauden ajan tulevan suotoveden ja bioreaktorin poistupuolen näytteissä alle määräysrajan. Nitriitin ja nitraatin pitoisuudet lähtivät kasvuun heinäkuun lopusta alkaen raudanpoistoyksikön ja IBC-kontin poistopuolilta otetuissa näytteissä (kuvat 20 ja 21). Pitoisuuksien kasvu kertoo typen olomuotojen muutoksista ja prosessin etenemisestä.



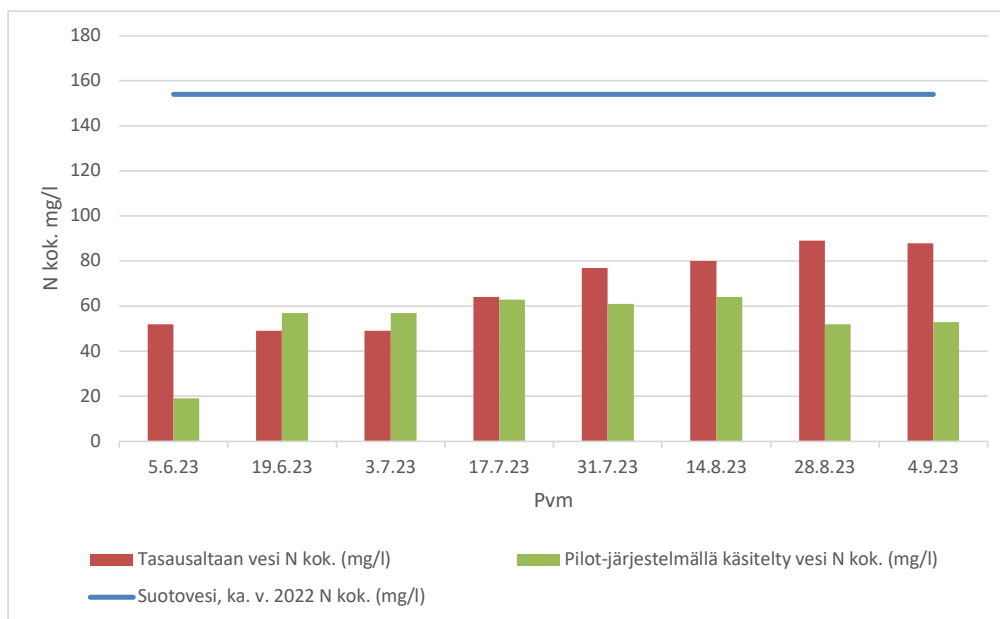
Kuva 20. Käsiteltävän veden nitriittipitoisuudet järjestelmän eri vaiheissa.



Kuva 21. Käsiteltävän veden nitraattipitoisuudet järjestelmän eri vaiheissa.

Ristiinan vanhan kaatopaikan suotoveden kokonaistyyppipitoisuus oli Devo-hankkeessa toteutetuissa kokeissa 4.7.–14.11.2022 otetuissa näytteissä 140–160 mg/l (ka. 154 mg/l). Pitoisuus on tyypillinen Ristiinan vanhan kaatopaikan suotovedelle, sillä kaatopaikan velvoitetarkkailuohjelmassa pitoisuus on ollut 100–200 mg/l ja vuosina 2019–2021 toteutetun Huky-hankkeen näytteenotoissa 130–190 mg/l (Mykkänen ym. 2021).

Mikäli oletetaan, että suotoveden kokonaistyyppipitoisuus on ollut samalla tasolla aiempien vuosien kanssa, voidaan kesällä 2023 pilottijärjestelmällä saavutettuja kokonaistyyppipitoisuuksia verrata käsittelemättömän suotoveden pitoisuuksiin. Kuvan 22 kuvaajassa sekä taulukossa 9 on käsittelemättömän suotoveden kokonaistyyppipitoisuutena käytetty vuoden 2022 mittausten keskiarvoa, 154 mg/l. Kuvaaja ja taulukko osoittavat, että suotoveden kokonaistyyppipitoisuus laskee jo tasausaltaassa noin 40–70 %. Reduktio on voimakkainta alkukesästä ja laskee loppukesää kohti. Veden käsittely pilottijärjestelmällä tehostaa typenpoistoa edelleen. Kokonaisuudessaan kokonaistypen reduktio käsittelemättömän suotoveden ja tasausaltaan sekä pilottijärjestelmän kautta kulkeneen veden välillä oli tällä menetelmällä tarkasteltuna keskimäärin > 60 %.



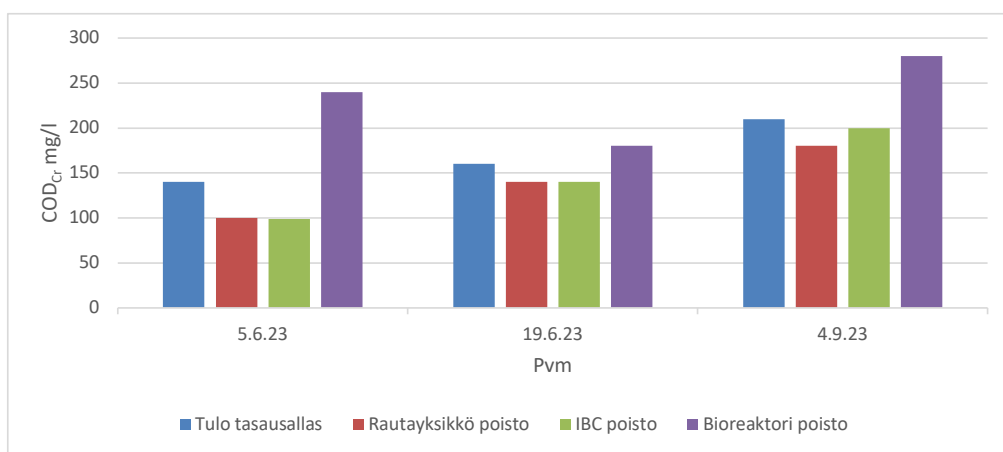
Kuva 22. Käsittelemättömän suotoveden kokonaistypen keskiarvopitoisuus vuonna 2022 sekä vuonna 2023 mitatut tasausaltaan ja pilottijärjestelmällä käsitellyn veden kokonaistyyppipitoisuudet.

Taulukko 9. Suotoveden reduktio tasausaltaassa ja pilottijärjestelmässä sekä kokonaisreduktio tasausaltaassa ja pilottijärjestelmässä suotoveden vuoden 2022 kokonaistypen keskiarvoon, 154 mg/l, verrattuna.

| | N kok. reduktio tasausaltaassa (%) | N kok. reduktio pilottijärjestelmässä (%) | Suotoveden N kok. kokonaisreduktio (%) |
|------------------|------------------------------------|---|--|
| 5.6.2023 | 66,2 | 63,5 | 87,7 |
| 19.6.2023 | 68,2 | -16,3 | 63,0 |
| 3.7.2023 | 68,2 | -16,3 | 63,0 |
| 17.7.2023 | 58,4 | 1,6 | 59,1 |
| 31.7.2023 | 50,0 | 20,8 | 60,4 |
| 14.8.2023 | 48,1 | 20,0 | 58,4 |
| 28.8.2023 | 42,2 | 41,6 | 66,2 |
| 4.9.2023 | 42,9 | 39,8 | 65,6 |

Kemiallinen hapenkulutus

Suotoveden kemiallista hapenkulutusta (COD_{Cr}) analysoitiin kauden alussa ja kauden päätteeksi. Tasausaltaasta pumpattavan veden kemiallinen hapenkulutus oli 140–210 mg/l ja bioreaktorista poistuvan veden 180–240 mg/l (kuva 23). Käsiteltävän veden kemiallinen hapenkulutus väheni raudanpoistoyksikössä, mutta bioreaktorista poistuvassa vedessä kemiallinen hapenkulutus oli korkeampi kuin tasausaltaan vedessä. Tulokset osoittavat, että bioreaktorissa tapahtuu muita vaiheita enemmän happea kuluttavia, kemiallisia prosesseja. Ilmiön taustalla voi olla bioreaktorissa oleva biohiili, joka on sitonut itseensä haitta-aineita sekä toimii myös kasvualustana mikrobeille.



Kuva 23. Käsiteltävän veden kemiallinen hapenkulutus (COD_{Cr}) järjestelmän eri vaiheissa kesä-syyskuussa 2023.

Raskasmetallit

Tasausaltaan vedestä ja pilottijärjestelmällä käsitellystä vedestä analysoitiin raskasmetalleja 5.6.2023 ja 4.9.2023. Analysoitavat metallit olivat antimoni (Sb), arseeni (As), barium (Ba), kadmium (Cd), koboltti (Co), kromi (Cr), kupari (Cu), lyijy (Pb), molybdeeni (Mo), nikkeli (Ni), seleeni (Se), sinkki (Zn), vanadiini (V), tina (Sn) ja elohopea (Hg).

Antimonin, kadmiumin, lyijyn, seleenin, tinan ja elohopean pitoisuudet olivat alle määrittärajojen kaikissa analysoiduissa näytteissä. Arseenin kokonaisreduktio järjestelmässä oli keskimäärin 21,6 %, koboltin 31,1 %, kromin 29 %, nikkelin 17,7 % ja vanadiinin 42,4 %.

Bariumin reduktio oli kesäkuun näytteissä 38,3 %, mutta syyskuun näytteissä reduktio oli kääntynyt negatiiviseksi. Järjestelmän eri vaiheista otettujen näytteiden perusteella bariumin pitoisuus väheni raudanpoistoyksikössä, mutta kasvoi voimakkaasti bioreaktorissa. Myös kuparin pitoisuudet kasvoivat järjestelmässä. Voimakkainta pitoisuuden

nousu oli raudanpoistoyksikössä, jossa kuparin pitoisuus nousi 1,4 µg:sta/l 32 µg:aan/l. Pitoisuus kuitenkin taas laski bioreaktorissa 29 µg:sta/l 4,6 µg:aan/l.

Analysoiduista raskasmetalleista myös sinkin pitoisuudet nousivat järjestelmässä voimakkaasti molemmilla näytteenottokerroilla. Kesäkuun näytteessä tulevassa vedessä sinkin pitoisuus oli 3,5 µg/l, ja pitoisuus nousi erityisesti bioreaktorissa, jolloin järjestelmästä poistuvan veden sinkkipitoisuus oli 20 µg/l. Raskasmetallianalysien tulokset on koottu taulukkoihin 10 ja 11. Taulukoiden viimeisissä sarakkeissa on raskasmetallipitoisuuksien kokonaisreduktiot.

Taulukko 10. Raskasmetallipitoisuudet eri näytenpisteissä 5.6.2023 ja 4.9.2023 otetuissa näytteissä sekä metallien kokonaisreduktio.

| Analyyysi | | PVM | Tulo- tasaus- allas | Rauta- yksikkö poisto | IBC poisto | Bio- reaktori poisto | Kokonais- reduktio (%) |
|------------|------|----------|---------------------------|-----------------------------|---------------|----------------------------|------------------------------|
| Antimoni | µg/L | 5.6.-23 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | 0,0 |
| | | 4.9.-23 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | 0,0 |
| Arseeni | µg/L | 5.6.-23 | 1,5 | 0,98 | 1 | 1,2 | 20,0 |
| | | 4.9.-23 | 1,3 | 1 | 1,3 | 1 | 23,1 |
| Barium | µg/L | 5.6.-23 | 81 | 50 | 46 | 50 | 38,3 |
| | | 4.9.-23 | 74 | 61 | 58 | 81 | -9,5 |
| Kadmium | µg/L | 5.6.-23 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 0,0 |
| | | 4.9.-23 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 0,0 |
| Koboltti | µg/L | 5.6.-23 | 2,7 | 1,5 | 1,4 | 1,8 | 33,3 |
| | | 4.9.-23 | 3,8 | 3,4 | 3,3 | 2,7 | 28,9 |
| Kromi | µg/L | 5.6.-23 | 8,6 | 5,5 | 5,1 | 4,9 | 43,0 |
| | | 4.9.-23 | 10 | 9,7 | 9,8 | 8,5 | 15,0 |
| Kupari | µg/L | 5.6.-23 | 1,4 | 32 | 29 | 4,6 | -228,6 |
| | | 4.9.-23 | < 1 | 43 | 27 | 1,7 | -70,0 |
| Lyijy | µg/L | 5.6.2023 | < 0,4 | < 0,4 | < 0,4 | < 0,4 | 0,0 |
| | | 4.9.2023 | < 0,4 | < 0,4 | < 0,4 | < 0,4 | 0,0 |
| Molybdeeni | µg/L | 5.6.2023 | 2,7 | 2 | < 1 | < 1 | 63,0 |
| | | 4.9.2023 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 0,0 |

Taulukko 11. Raskasmetallipitoisuudet eri näytepisteissä 5.6.2023 ja 4.9.2023 otetuissa näytteissä sekä metallien kokonaisreduktio.

| Analyysi | | PVM | Tulo tasausallas | Rauta-yksikkö poisto | IBC poisto | Bio-reaktori poisto | Kokonaisreduktio (%) |
|-----------|------|----------|------------------|----------------------|------------|---------------------|----------------------|
| Nikkeli | µg/L | 5.6.2023 | 4,3 | 3,8 | 3,9 | 3,1 | 27,9 |
| | | 4.9.2023 | 5,4 | 5,3 | 5,5 | 5 | 7,4 |
| Seleeni | µg/L | 5.6.2023 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 0,0 |
| | | 4.9.2023 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 0,0 |
| Sinkki | µg/L | 5.6.2023 | 3,5 | 7,9 | 6,7 | 20 | -471,4 |
| | | 4.9.2023 | < 2 | 2,6 | 4,3 | 2,7 | -35,0 |
| Vanadiini | µg/L | 5.6.2023 | 0,71 | 0,40 | 0,40 | < 0,2 | 71,8 |
| | | 4.9.2023 | 0,23 | 0,29 | 0,46 | < 0,2 | 13,0 |
| Tina | µg/L | 5.6.2023 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | 0,0 |
| | | 4.9.2023 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | 0,0 |
| Elohopea | µg/L | 5.6.2023 | < 0,005 | < 0,005 | < 0,005 | < 0,005 | 0,0 |
| | | 4.9.2023 | < 0,005 | < 0,005 | < 0,005 | < 0,005 | 0,0 |

Johtopäätökset

Merkittävin muutos seurantakaudelle 2023 oli pilottijärjestelmän pumpun siirtäminen suotovesikaivosta tasausaltaaseen. Tasausaltaassa suotoveden rauta ja muu kiintoaines ehti jo osittain laskeutua, jolloin järjestelmään pumpattavan veden rautapitoisuus oli vähäinen käsittelemättömän suotoveden sisältämään rautapitoisuuteen verrattuna. Vuonna 2022 toteutettujen kokeiden päätteeksi järjestelmän lavoja ja putkistoja ei tyhjennetty ja puhdistettu pilottijärjestelmän jäätyminen vuoksi. Tästä syystä järjestelmään kerääntynyt rautasakka alkoi vuoden 2023 kokeissa irrota järjestelmästä takaisin käsiteltävään veteen. Tämä aiheutti rautapitoisuuden nousua ja haittaa vesinäytteiden analysointiin. Lisäksi järjestelmästä irtoava rautasakka aiheutti putkiston osien tukkeutumista etenkin IBC-kontissa ja bioreaktorissa sekä niiden välillä. Koko järjestelmä olisikin hyvä huoltaa kauden päätteeksi poistamalla sinne kerääntyneet sakat. Raudan kokonaispitoisuus pysyi kuitenkin raudanpoistoyksikön jälkeen otetuissa näytteissä matalana: 1,9–5,8 mg/l. Pitoisuus on samaa luokkaa kuin vuoden 2022 kokeissa samasta näytepisteestä mitattuna.

Biologinen typenpoisto käynnistyi noin kaksi kuukautta järjestelmän käynnistämisen jälkeen. Typenpoisto voimistui heinäkuusta syyskuulle saakka, ja seurantakauden lopuksi saavutettiin noin 40 %:n reduktio kokonaistypen pitoisuudessa ja noin 45 %:n reduktio ammoniumtypen pitoisuudessa. Tulosten perusteella on huomioitava, että typenpoistoa tapahtui järjestelmän jokaisessa osassa raudanpoistoyksiköstä alkaen. Itse bioreaktorin

ja siellä olevien biohiilten ja hakkeiden vaikutus typenpoiston käynnistymiseen ja etene-
miseen oli arvion mukaan korkeintaan osittainen, sillä bioreaktorilla ei ole vaikutusta
raudanpoistoyksikössä tapahtuviin prosesseihin. Myös aktiivilietteen lisäyksen vaikutus
näiden kokeiden tulokseen jäi arviolta vähäiseksi. Kun otetaan huomioon kaatopaikal-
ta muodostuvan suotoveden kokonaistyyppipitoisuus, joka esimerkiksi vuonna 2022 oli
Devo-hankkeen kokeissa keskimäärin 154 mg/l, pitoisuus laski tasausaltaan ja pilottijär-
jestelmän kierron avulla keskimäärin yli 60 %.

Keskeisin tekijä typenpoiston käynnistymiselle oli järjestelmään pumpattavan veden
laadun muutos. Kun suotoveden annettiin laskeutua tasausaltaaseen ennen veden
pumppaamista järjestelmään, väkevä suotovesi laimentui hulevesien kanssa, jolloin sen
ravinnepitoisuudet muuttuivat. Matalampi typpikuorma oli sopivampi pilottijärjestelmän
mitoituksiin ja viipymään nähden, ja lisäksi hapeton suotovesi hapettui luonnollisesti jo
tasausaltaassa. Tasausaltaassa myös veden lämpötila ehti tasoittua ilman lämpötilan
kanssa ja siten luoda optimaalisemmat olosuhteet nitrifikaatiobakteerien toiminnalle.

Nitrifikaatiobakteereiden tiedetään olevan herkkiä ympäristöolosuhteille ja niiden muu-
toksille. Bakteerien kasvaminen ja lisääntyminen vievät kasvuympäristöstä riippuen ai-
kaa, ja Ristiinassakin bakteerien toiminta käynnistyi vasta noin kaksi kuukautta kokeiden
aloittamisen jälkeen. Mikäli kokeissa käytettyä, IBC-kontissa olevaa kantoainetta ja bio-
reaktorissa olevia suodatinmateriaaleja ei vaihdeta, on mahdollista, että järjestelmään
jää oikeanlaista bakteerikantaa seuraavaa kautta varten. Bakteerikannan säilyminen kui-
tenkin riippuu sen elinkyvystä kuivissa ja kylmissä talviolosuhteissa.

Koko hankkeen ajan Ristiinan pilottijärjestelmän virtaaman säätö oli haastavaa sekä
pumppauksen että veden ominaisuuksien vuoksi. Pumpattava määrä oli hyvin pieni ja
vaati pumpun kuristuksen. Lisäksi epäiltiin, että pumpun virtaamasäätimeen kerääntyi
rautasakkaa ja kiintoainesta ja tällä olisi ollut vaikutusta säätimen toimintaan.

Tulosten perusteella raskasmetalleja poistuu käsiteltävästä vedestä jo esikäsitellyssä
raudan laskeutuksen yhteydessä. Lisäksi suodatinmateriaalina käytetty biohiili pidät-
ti etenkin kuparia tehokkaasti. Järjestelmää kiertävään veteen liukeni raskasmetalleja
sinne ennestään kerääntyneestä sakasta, mutta on myös mahdollista, että niitä liukeni
biohiilestä tai järjestelmän metallisista osista.

LÄHTEET

Mykkänen, A. 2021. Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö. Kaakkois-Suomen ammatti-korkeakoulu. Xamk kehittää 161. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-359-4>.

VESIKKO – DEMONSTRAATIOYMPÄRISTÖ VESIEN KÄSITTELYYN

Salla Pulliainen & Panu Jouhkimo & Juha-Pekka Saarelainen

EcoSairilan kehittämisalustan TKI-toimijat ovat tunnistaneet tarpeita sekä mahdollisuuksia uusien suoto- ja hulevesien käsittelymenetelmien sekä suodatinmateriaalien kehittämiseksi ja testaamiseksi. Vesiossaamisen kehittämiseksi Deve – Demonstraatioympäristö kaatopaikan suoto- ja hulevesien ympäristökuormituksen vähentämiseksi -hankkeessa toteutettiin uudenlainen vesienkäsittelyn demonstraatioympäristö. Vesikoksi nimetty kokonaisuus sijoittui hankkeen toteuttamisen aikana Metsäsairilan lajittelu- ja kierrätyskeskukseen suoto- ja hulevesialtaiden vierelle (kuvat 1 ja 2).



Kuva 1. Demonstraatioympäristö Vesikko (kuva Manu Eloaho).



Kuva 2. Demonstraatioympäristö Vesikko sijaitsee Metsäsairilan lajittelu- ja kierrätyskeskuksen alueella suoto- ja hulevesialtaiden vierellä (kuva Henri Kettunen).

Uusi ympäristö toteutettiin yhteistyössä yritysten kanssa

Demonstraatioympäristön toteuttajaksi valittiin Maarakennus Talpa Oy, suunnittelijanaan Juha-Pekka Saarelainen Watec Consulting Oy:stä. Suunnittelun lähtökohtana oli pilottimittakaavan testausympäristö, jossa voitaisiin toteuttaa vedenpuhdistustekniikoiden ja suodatinmateriaalien testauksia. Demonstraatioympäristön tavoitteena oli järjestelmän muunneltavuus ja skaalattavuus, jotta se soveltuisi mahdollisimman monipuolisiin koejärjestelyihin. Käsittelyjärjestelmän suunnittelussa huomioitavia tekijöitä olivat muun muassa mahdollisuus käsitellä vesiä vaihteittain kahdella eri linjalla sekä näytteenotto- ja monitorointipisteiden huomioiminen veden laadun muutosten seuraamiseksi. Demonstraatioympäristö rakentui 12 metrin pituiseen konttiin, jonne urakoitsija toteutti suunnitelmien mukaiset allas- ja putkistojärjestelmät.

Monipuoliset allasratkaisut mahdollistavat monipuolisen koetoiminnan

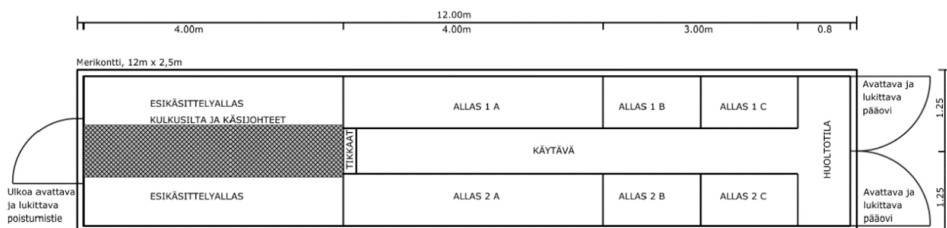
Järjestelmän ensimmäinen vaihe on käsiteltävän veden pumppaaminen kontin sisälle. Devo-hankkeen aikana pumppaus toteutettiin Metsäsairilan lajittelu- ja kierrätyskeskuksen suotovesialtaaseen asennetulla pumpulla (kuva 3). Suotovesi sisältää runsaasti

kiintoainetta, jota on erityisesti laskeutunut altaan pohjalle sekä kelluu veden pintakerroksessa. Tukkeutumien ehkäisemiseksi pumppu asetoitiin pumppaamaan suotovettä altaan välikerroksesta.



Kuva 3. Devo-hankkeen aikana demonstraatioympäristöön pumpattiin vettä suotovesialtaasta (kuva Salla Pulliainen).

Kontin sisälle pumpattava vesi laskee 10 m³:n kokoiseen esikäsittelyaltaaseen, jossa käsiteltävää vettä ilmastetaan raudan ja kiintoaineen poistamiseksi. Esikäsittelyn jälkeen vesi jakautuu kahdelle rinnakkaiselle linjalle, joissa molemmilla puolilla on kolme peräkkäistä allasta vesien vaiheittaiseen käsittelyyn. Linjojen ensimmäiset altaat ovat tilavuudeltaan 3 m³ ja jälkimmäiset altaat ~1 m³/allas. Kuvassa 4 on kontin pohjapiirustus, johon on merkitty altaiden sijainnit järjestelmässä. Altaita voidaan käyttää esimerkiksi bioreaktoreina testaamalla niissä erilaisia suodatinmateriaaleja tai niiden yhdistelmiä vesien puhdistamiseksi. Testit on mahdollista toteuttaa rinnakkaisina testeinä, tai tarpeen mukaan linjoja voidaan käyttää kahden eri koeasetelman yhtäaikaiseen testaamiseen (kuva 5).



Kuva 4. Demonstraatioympäristön pohjapiirustus (mukaillen Juha-Pekka Saarelainen 2022).



Kuva 5. Taka-alalla kuvassa demonstraatioympäristön esikäsitteilyallas, josta vesi johdetaan kuvan etualalla näkyville linjastoille (kuva Salla Pulliainen).

Ennen käsittelyä ja jokaisen käsittelyaltan jälkeen on näytteenottopiste. Ne mahdollistavat eri käsittelyvaiheiden vaikutuksen todentamisen (kuvat 6 ja 7). Lisäksi suodatinmateriaaleilla täytettyjen altaiden vedestä voidaan suorittaa kenttämittauksia materiaalin sekaan asennettavan salaojaputken avulla. Käsitellyt vedet kerätään linjoilta poistokai-voon, josta vedet johdetaan edelleen kontista pois.



Kuvat 6 ja 7. Demonstraatioympäristö on varustettu kiinteillä näytteenottopisteillä (kuvat Salla Pulliainen).

Demonstraatioympäristö otettiin käyttöön kesällä 2023, jolloin sillä suoritettiin ensimmäiset suotoveden käsittelykokeet. Kaatopaikan suotoveden ominaisuudet, kuten sen sisältämä kiintoaine ja haitta-aineet, asettavat vaatimuksia jokaiselle järjestelmän osalle ja kontin käytölle, ja järjestelmän toimintojen kehitystä ja varustelua jatkettiin hankkeessa käytännön käyttökokemusten perusteella. Demonstraatioympäristö on osa Mikkelin EcoSairilaa ja tarjoaa jatkossa puitteet muun muassa yritysten ja tutkimuslaitosten tuotteiden ja kehitteillä olevien menetelmien demonstraatioihin (kuva 8).



Kuva 8. Demonstraatioympäristö Vesikko otettiin käyttöön kesällä 2023 (kuva Salla Pulliainen).

Materiaalia Vesikon esittelyyn

Vesikko-demonstraatioympäristöstä toteutettiin digitaalinen 3D-malli, jonka pohjalta valmistettiin 3D-tulostettu pienoismalli sekä animaatiovideo järjestelmän toiminnasta. Pienoismalli oli esillä Yhdyskuntatekniikan näyttelyssä Jyväskylässä toukokuussa 2022. Se herätti siellä suurta kiinnostusta ja osoittautui erinomaiseksi tavaksi havainnollistaa järjestelmän toimintaa ja käynnistää keskustelu Devo-hankkeesta sekä laajemmin Xamkin ja Mikkelin kehitysyritys Miksein toiminnasta ympäristötekniikan kehittäjänä ja edistäjänä. Devo-hanke osallistui yhdyskuntatekniikan näyttelyyn yhteistyössä Blue Economy Mikkelin – vesiosaamisen kansainvälistyminen ja BioCir – Kiertotalouden sivuainevirrat uusiksi tuotteiksi -hankkeiden kanssa. Näyttely antoi mahdollisuuden esitellä Vesikko-demonstraatioympäristöä laajalle joukolla potentiaalisia yhteistyökumppaneita (kuva 9).



Kuva 9. Vesikosta toteutettua 3D-tulostettua pienoismallia hyödynnettiin Yhdyskuntatekniikan näyttelyssä keväällä 2023 (kuva Salla Pulliainen).

Vesikko-demonstraatioympäristöstä toteutetussa korkeatasoisessa 3D-animaatiovideossa selvitetään yksityiskohtaisesti ja havainnollisesti Vesikon vedenkäsittelyprosessi. Animaatiovideota on mahdollista hyödyntää ja on jo hyödynnetty viestinnässä potentiaalisten yhteistyökumppaneiden kanssa sekä Xamkin ympäristötekniikan opetuksessa. Video on toteutettu sekä suomeksi että englanniksi. Vesikosta on toteutettu lisäksi sähköinen esite. Esite on nähtävillä yhdessä animaatiovideon kanssa EcoSairilan verkkosivuilla osana Blue Economy Mikkelin TKI-ympäristöjä osoitteessa <https://ecosairila.fi/blue-economy-mikkeli/bem-osaamiskeskus/tki-ymparistot/>.

SUOTOVEDEN KÄSITTELYKOKEET VESIKOLLA

Salla Pulliainen & Matti Hämäläinen & Aki Mykkänen

Devo-hankkeessa toisena suotoveden käsittelykokeiden testiympäristönä toimi uusi demonstraatioympäristö Vesikko. Vesikko otettiin käyttöön kesällä 2023, jolloin ympäristössä toteutettiin ensimmäiset suotoveden käsittelykokeet. Kokeiden tavoitteena oli testata erilaisten suodatinmateriaaliyhdistelmien tehokkuutta suotoveden ravinteiden ja raskasmetallien poistossa. Kokeet toteutettiin kahdella koelinjalla, jolloin pystyttiin havainnoimaan, onko suodatinmateriaalien sijoittelulla vaikutusta lopputulokseen.

Koejärjestelyt

Kokeiden tavoitteena oli testata suotoveden biologista typenpoistoa bioreaktorin avulla, poistaa suotovedestä fosforia sekä poistaa raskasmetalleja suodattamalla suotovettä biohiilen läpi. Kokeissa suodatinmateriaaleina käytettiin haapahaketta ja kuusibiohiiltä (kuva 1). Biohiilen huokoskoko oli 0–20 mm ja raekoko 1–2 cm, ja se oli valmistettu 600 °C:ssa pyrolysoimalla. Kokeiden tavoitteena oli lisäksi selvittää, onko suodatinmateriaalien sijoittelulla järjestelmässä vaikutusta suotoveden käsittelytehokkuuteen. Kokeissa käytössä olivat molempien linjojen A-altaat (tilavuus ~3 m³) ja B-altaat (tilavuus ~1 m³). Linjojen C-altaat eivät olleet kokeen aikana käytössä.

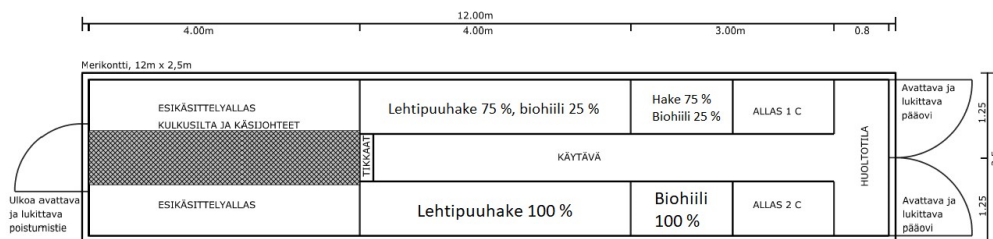


Kuva 1. Suodatinmateriaaleina käytettiin haapahaketta ja kuusibiohiiltä (kuva Matti Hämäläinen).

Molemmilla linjoilla käytettyjen materiaalien tilavuudet olivat rinnakkaiset linjojen 1 ja 2 välillä siten, että materiaalitulavuudesta 25 % oli biohiiltä ja 75 % puuhaketta. Linjan 1 altaat A ja B täytettiin puuhakkeen ja biohiilen sekoituksella (kuva 2). Linjalle 2 A-altaaseen laitettiin pelkkää puuhaketta ja B-altaaseen pelkkää biohiiltä. Materiaalien sijoittelu altaissa on havainnollistettu kuvaan 3. Kuvassa 4 oikealla on linja 2 ja vasemmalla linja 1.



Kuva 2. Linjan 1 suodatinmateriaalit sekoitettiin manuaalisesti lapiolla (kuva Matti Hämäläinen).



Kuva 3. Demonstraatioympäristön kojejärjestelyt 2023 suoritettussa kokeessa (Mukaiillen Saarelainen 2022).



Kuva 4. Kuvassa vasemmalla linjan 2 ja oikealla linjan 1 altaat täytettyinä suodatinmateriaaleilla (kuva Salla Pulliainen).

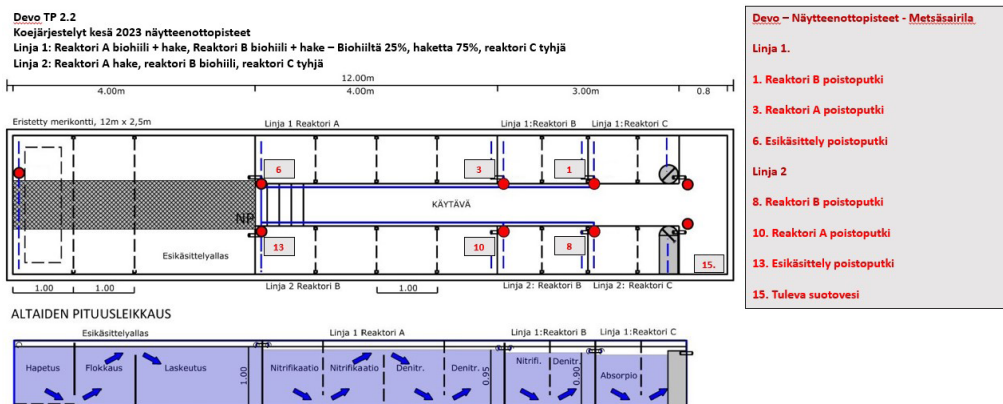
Altaiden täytön yhteydessä altaisiin asennettiin pystysuunteiset salaojaputket kenttämittausten toteuttamista varten. Tyhjäksi jätetyt salaojaputket mahdollistivat veden laadun mittauksen altaan eri kerroksista suodatinmateriaalipatjan keskeltä. Altaat päällystettiin lopuksi noin 10 cm:n paksuisella sepelikerroksella suodatinmateriaalien kellumisen estämiseksi (kuva 5).



Kuva 5. Suodatinmassojen keskelle asennettiin salaojaputket kenttämittauksia varten. Poistoputken kanavat suojattiin metalliverkoilla (kuva Salla Pulliainen).

Suotoveden analyysit

Järjestelmän toimintaa seurattiin säännöllisesti vesinäytteenottojen avulla. Näytteet lähetettiin ulkopuoliseen ympäristölaboratorioon, KVVY Tutkimus Oy:lle. Vesinäytteistä analysoitiin typpi- (N) ja fosforipitoisuutta (P), happipitoisuutta (O_2), kemiallista (COD_C) ja biologista (BOD) hapenkulutusta, rautapitoisuutta (Fe) sekä raskasmetalleja. Koejärjestelyn 7 näytteenottopistettä on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Koejärjestelyn näytteenottopisteet demonstraatioympäristössä (mukaillen Saarelainen 2022).

Suotoveden monitorointi

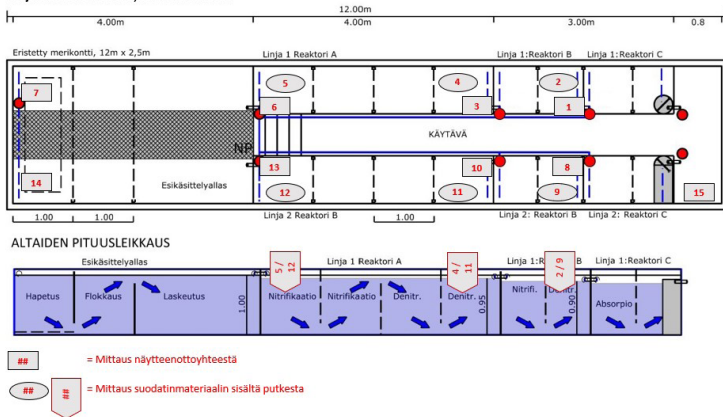
Näytteenoton lisäksi veden laadun seuranta tehtiin YSI ProDSS -moniparametrikentämittarilla kerran viikossa. Kentämittarilla vedestä mitattiin kohteessa lämpötila ($^{\circ}C$), happamuus (pH) ja liuennut happipitoisuus (DO mg/l). Kentämittaukset toimivat lisänä laboratoriossa tehtäville vesinäytteille, sillä niillä saatiin reaaliaikaista tietoa esimerkiksi happipitoisuuden riittävydestä kokeiden aikana. Koejärjestelyssä oli yhteensä 15 monitorointipistettä (kuva 7). Mittaukset suoritettiin sekä näytteenottopisteistä otetuista näytteistä että suodatinpatjan keskivaiheilta, mittausputken sisältä (kuva 8).

Devo TP 2.2

Koejärjestelyt kesä 2023 monitorointipisteet

Linja 1: Reaktori A biohiili + hake, reaktori B biohiili + hake – biohiiltä 25%, haketta 75%

Linja 2: Reaktori A hake, reaktori B biohiili



Devo - YSI ProDSS mittauspisteet -
Metsäsairila

Linja 1.

1. Reaktori B poistoputki
2. Reaktori B patja
3. Reaktori A poistoputki
4. Reaktori A patja 2
5. Reaktori A patja 1
6. Esikäsittely poistoputki
7. Ilmastus 1. puoli

Linja 2

8. Reaktori B poistoputki
9. Reaktori B patja
10. Reaktori A poistoputki
11. Reaktori A patja 2
12. Reaktori A patja 1
13. Esikäsittely poistoputki
14. Ilmastus 2. puoli

15. Tuleva suotovesi

Kuva 7. Demonstraatioympäristön koejärjestelyn monitorointipisteet (mukailleen Saarelainen 2022).



Kuva 8. Kuvassa reaktorin vasemmassa osassa on mittausputki, jonka avulla mahdollistettiin mittaussondin upottaminen keskelle suodatinmateriaalia (kuva Matti Hämäläinen).

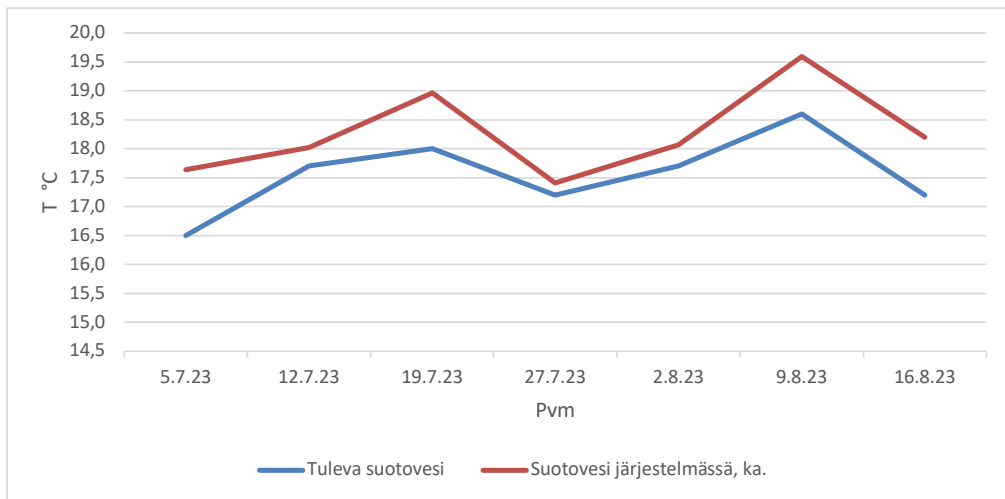
Suotovettä monitoroitiin myös seuraamalla järjestelmän virtaamaa. Järjestelmään pumppattavan veden kokonaisvirtaamaa seurattiin kokeen aluksi kuvan 9 virtaamamittarilla. Mittari kuitenkin tukkeutui suotoveden laadusta johtuen, eikä sitä voinut käyttää koko kokeen ajan. Virtaama mitattiin lisäksi astiamittauksella ottamalla vettä poistopumppukai-
voon johtavasta, linjan 2 poistoputken päästä ja mittaamalla astian täyttymiseen kulunut aika sekuntikellolla. Linjakohtaiset, suuntaa antavat virtaustulokset saatiin vähentämällä linjan 2 virtaamatulos virtaamamittarin osoittamasta kokonaisvirtaamasta.



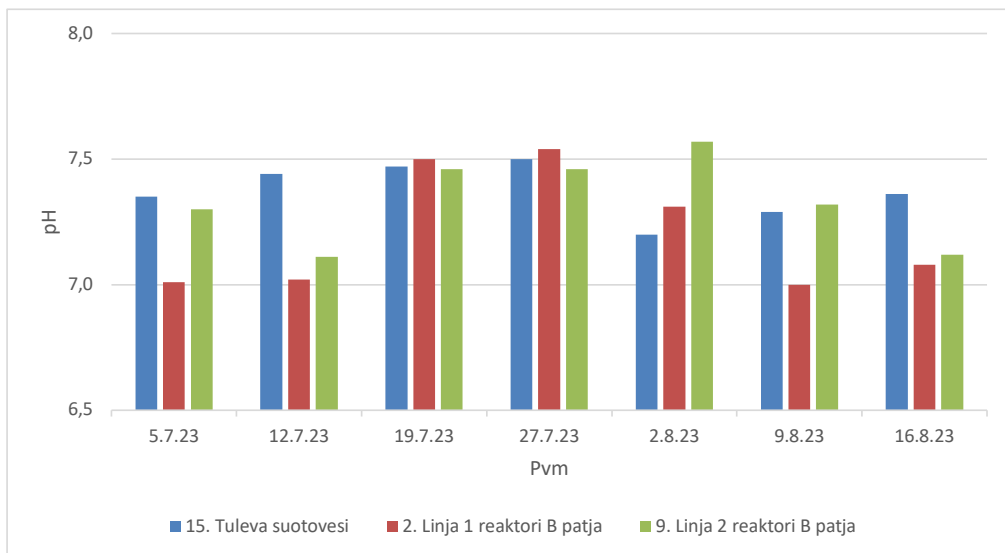
Kuva 9. Kuvassa järjestelmän kokonaisvirtaaman monitorointiin käytetty vesimittari (kuva Matti Hämäläinen).

Lämpötila ja happamuus

Demonstraatioympäristöön pumpattavan suotoveden lämpötila oli mittauskaudella 16,5–18,6 °C. Vesi lämpeni järjestelmässä enimmillään ~1 °C:n, ja sen lämpötila järjestelmässä oli mittauskaudella 17,4–19,6 °C (kuva 10). Käsittelemättömän suotoveden pH oli mittauskaudella keskiarvoltaan 7,4. Happamuudessa ei tapahtunut suuria muutoksia käsittelyn aikana, ja suotoveden pH oli molempien linjojen B-altaista reaktorin suodatinpatjan seasta mitattuna 7,0–7,6 (kuva 11).



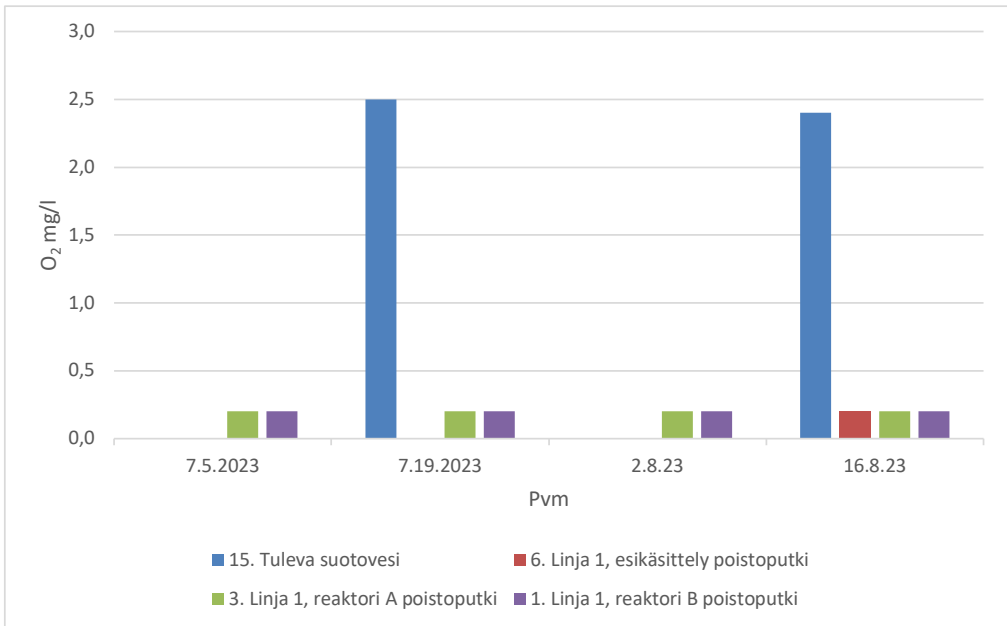
Kuva 10. Järjestelmään pumpattavan ja järjestelmässä kulkevan suotoveden lämpötila mittauskaudella.



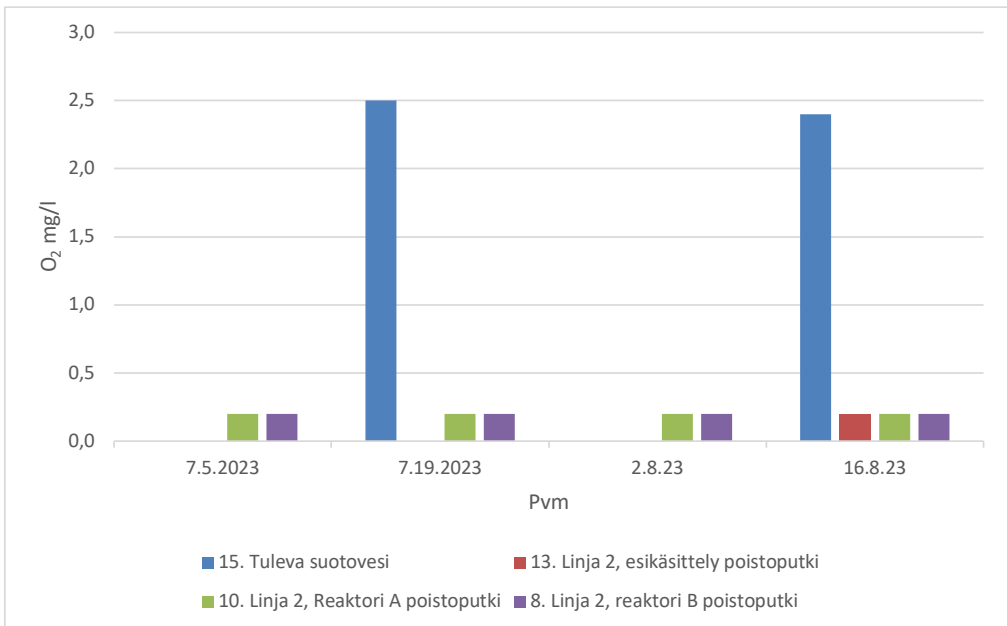
Kuva 11. Suotoveden happamuus käsittelemättömänä ja linjoilla 1 ja 2 käsiteltynä.

Happipitoisuus

Suotovesialtaasta pumpattavan veden laatu aiheutti happianalyysiin matriisihäiriön, eikä laboratorio pystynyt analysoimaan pitoisuutta jokaisesta näytteestä. 19.7. ja 16.8. otetuissa näytteissä tulevan veden happipitoisuus oli noin 2,5 mg/l, mutta happi kului pois jo esikäsitteilyaltaassa (kuvat 12 ja 13). Kenttämittarilla mitatut tulokset osoittivat, että suotovesi oli hapetonta jo esikäsitteilyaltaan alkupäässä eikä ilmastimella ollut vaikutusta pitoisuuteen.



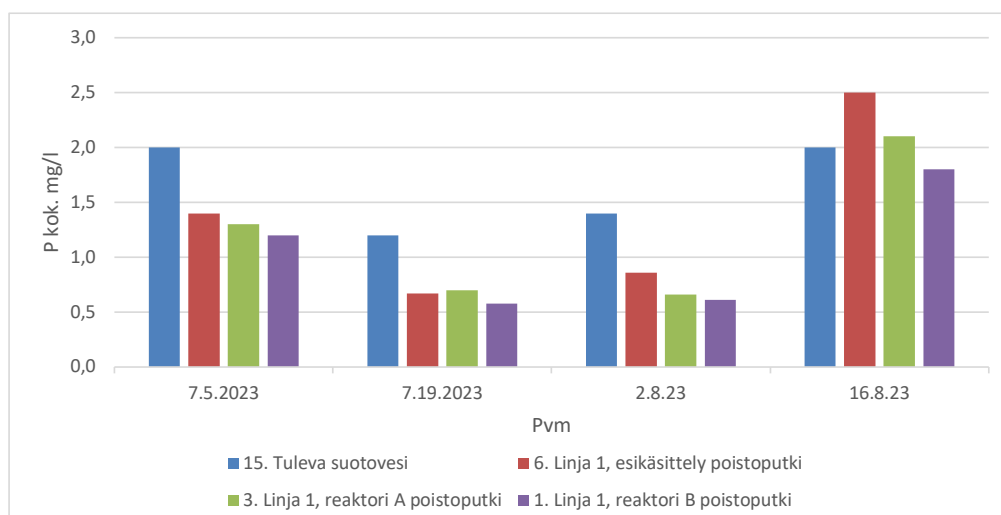
Kuva 12. Linjan 1 happipitoisuudet vesinäytteissä.



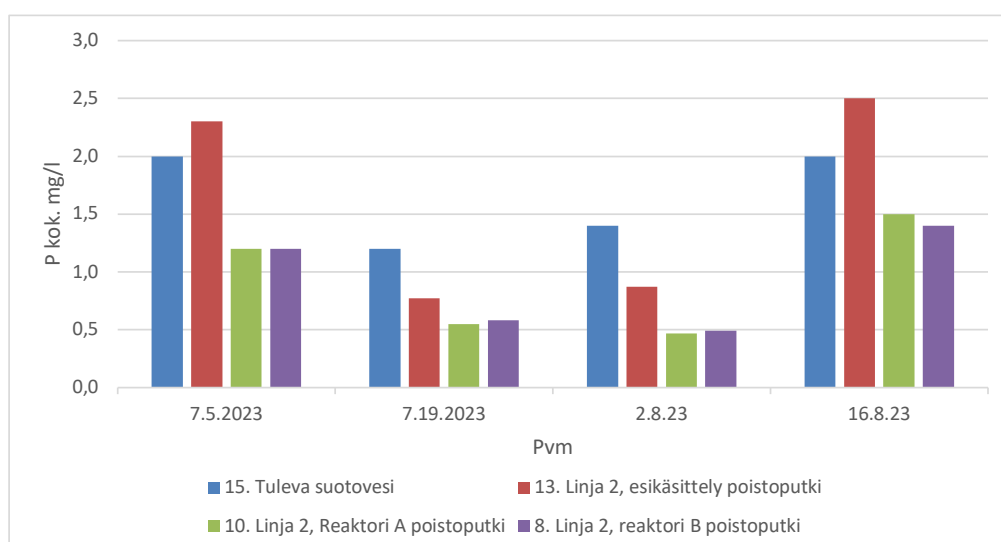
Kuva 13. Linjan 2 happipitoisuudet.

Fosforipitoisuus

Käsittelemättömän suotoveden fosforipitoisuus oli 1,2–2,0 mg/l. Fosforipitoisuus laski voimakkaasti 5.7.–2.8.2023 linjalta 1 otetuissa näytteissä, mutta 16.8.2023 suotoveden esikäsittely nosti sen fosforipitoisuuden lähtötasoa korkeammalle tasolle (kuva 14). On kuitenkin huomioitava, että muutokset ovat pieniä, ja koko seurantakaudella linjan 1 suotoveden kokonaisfosforipitoisuus vaihteli välillä 0,6–2,0 mg/l. Linjalla 2 suotoveden fosforipitoisuudet olivat samaa luokkaa kuin linjalla 1 (kuva 15). Linjalla 1 fosforipitoisuuksien kokonaisreduktio oli 10–57 % ja linjalla 2 se oli 30–64 %. Molempien linjojen kokonaisfosforin reduktiot on koottu taulukoihin 1 ja 2.



Kuva 14. Linjan 1 kokonaisfosforipitoisuudet.



Kuva 15. Linjan 2 kokonaisfosforipitoisuudet.

Taulukko 1. Linjan 1 kokonaisfosforipitoisuudet ja kokonaisreduktiot eri näytteenottopäivinä.

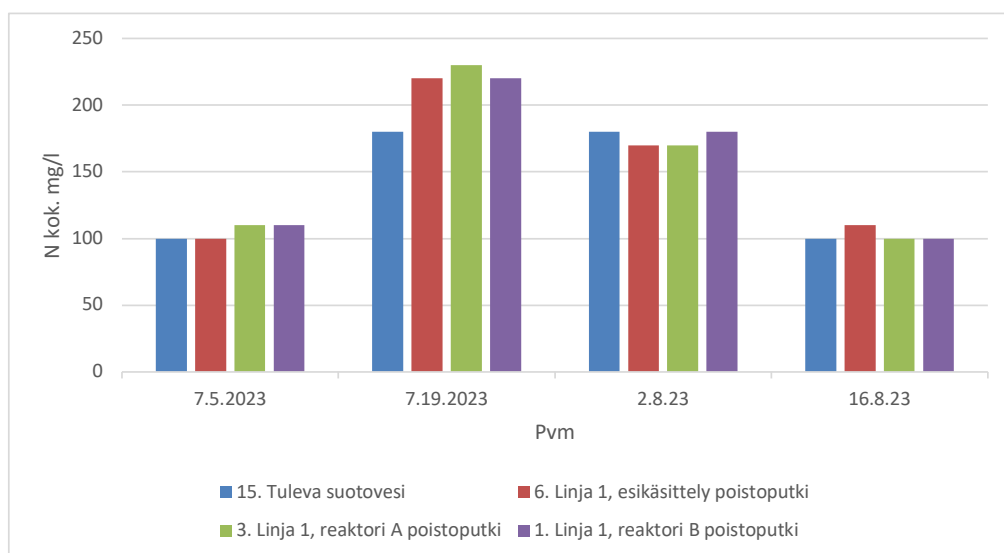
| Näytteenotto PVM | P kok. (mg/l), tuleva suotovesi | P kok. (mg/l), linja 1 poisto | Kokonaisreduktio (%) |
|------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 5.7.2023 | 2 | 1,2 | 40 |
| 19.7.2023 | 1,2 | 0,58 | 52 |
| 2.8.23 | 1,4 | 0,6 | 57 |
| 16.8.23 | 2 | 1,8 | 10 |

Taulukko 2. Linjan 2 kokonaisfosforipitoisuudet ja kokonaisreduktiot eri näytteenottopäivinä.

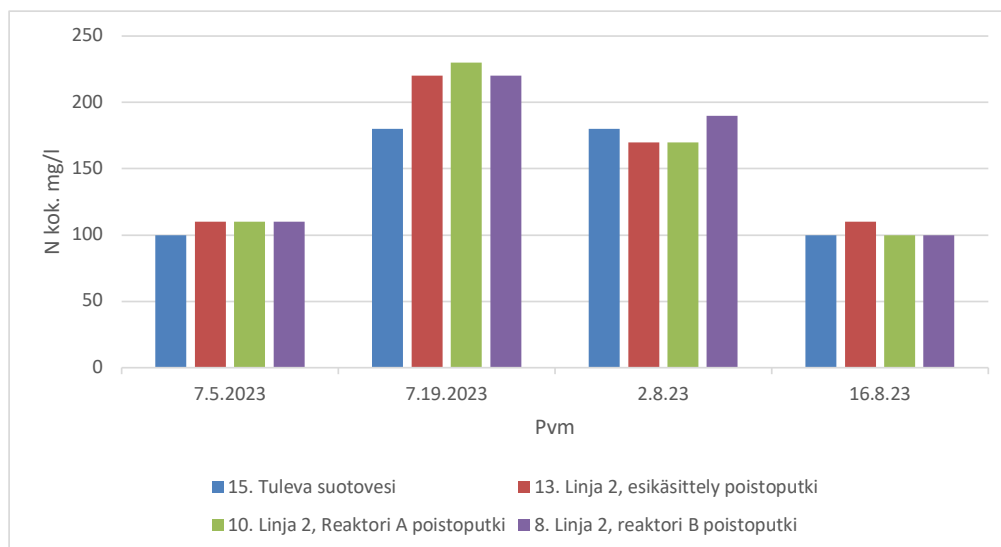
| Näytteenotto PVM | P kok. (mg/l), tuleva suotovesi | P kok. (mg/l), linja 2 poisto | Kokonaisreduktio (%) |
|------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 5.7.2023 | 2 | 1,2 | 40 |
| 19.7.2023 | 1,2 | 0,58 | 52 |
| 2.8.23 | 1,4 | 0,5 | 64 |
| 16.8.23 | 2 | 1,4 | 30 |

Typipitoisuudet

Suotovesialtaasta pumpattavan suotoveden kokonaistyyppipitoisuus oli kokeiden aikana 100–180 mg/l, eikä käsittelyjärjestelmällä ollut merkittävää vaikutusta tyyppipitoisuuteen (kuvat 16 ja 17). Poikkeuksen tekee 19.7.2023 otetut näytteet, jolloin suotoveden tyyppipitoisuus kasvoi esikäsittelyaltaassa 180 mg:sta/l 220 mg:aan/l.



Kuva 16. Linjan 1 kokonaistyyppipitoisuudet.



Kuva 17. Linjan 2 kokonaistyyppipitoisuudet.

Rautapitoisuus

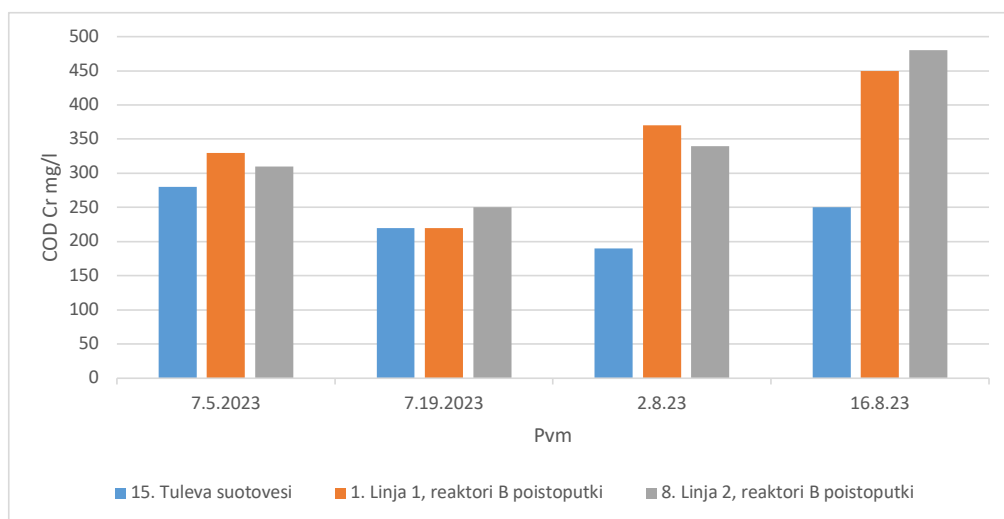
Järjestelmään pumpattavan suotoveden rautapitoisuus vaihteli kokeiden aikana välillä 2,5–6,0 mg/l. Viimeistä näytteenottokertaa lukuun ottamatta raudan reduktio esikäsitelyaltaassa oli 20–69 %. Linjoille 1 ja 2 tulevan veden pitoisuuksissa oli hieman eroa, ja linjalle 2 saapuvan veden rautapitoisuus oli järjestelmällisesti matalampi kuin linjalle 1 saapuvan veden rautapitoisuus. Viimeisessä näytteenotossa, 16.8.2023, rautaa ei enää poistunut suotovedestä, vaan veden rautapitoisuus kasvoi esikäsitelyaltaassa 37–40 %. Rauta-analysien tulokset ja niistä lasketut reduktiot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Kokonaisrautapitoisuudet ja pitoisuuksien reduktiot esikäsitelyllä.

| Näytteenotto PVM | Fe kok. (mg/l), tuleva suotovesi | Fe kok. (mg/l), linja 1, esikäsitteily poistoputki | Fe kok. (mg/l), linja 2, esikäsitteily poistoputki | Reduktio (%), linja 1 | Reduktio (%), linja 2 |
|------------------|----------------------------------|--|--|-----------------------|-----------------------|
| 5.7.2023 | 6,0 | 2,9 | 4,0 | 52 | 33 |
| 19.7.2023 | 2,5 | 1,7 | 2,0 | 32 | 20 |
| 2.8.23 | 4,5 | 1,4 | 1,6 | 69 | 64 |
| 16.8.23 | 4,3 | 5,9 | 6,0 | -37 | -40 |

Kemiallinen ja biologinen hapenkulutus

Käsittämättömän suotoveden kemiallinen hapenkulutus (COD_{Cr}) oli seurantakaudella otetuissa näytteissä 190–280 mg/l. Suotoveden käsittely esikäsitteilyllä ja bioreaktoreissa kiihdytti hapenkulutusta molemmilla tutkimuslinjoilla (kuva 18). Erityisesti elokuussa otetuissa näytteissä kemiallinen hapenkulutus voimistui käsittelyn aikana, ja linjojen poistoputkista otettujen näytteiden kemiallinen hapenkulutus oli 79–95 % suurempi kuin käsittämättömän suotoveden kemiallinen hapenkulutus (taulukko 4). Voimakkaimmillaan kemiallinen hapenkulutus oli kokeiden viimeisissä näytteissä, jolloin linjan 1 COD_{Cr} oli 450 mg/l ja linjan 2 COD_{Cr} 480 mg/l.

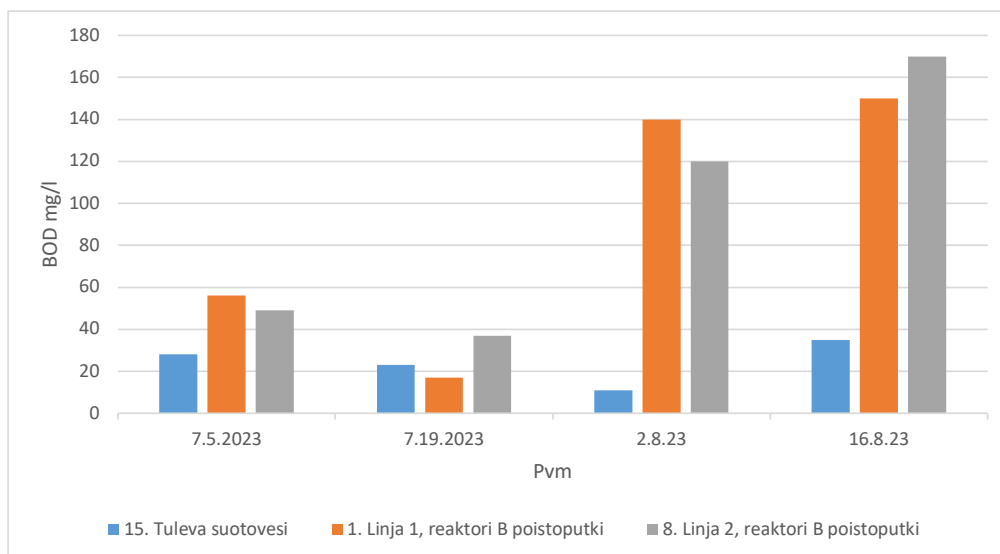


Kuva 18. Linjojen 1 ja 2 kemiallinen hapenkulutus.

Taulukko 4. Kemiallisen hapenkulutuksen kasvu linjoilla 1 ja 2 käsittämättömän suotoveden kemialliseen hapenkulutukseen verrattuna.

| Näytteenotto PVM | COD_{Cr} kasvu (%), linja 1 | COD_{Cr} kasvu (%), linja 2 |
|------------------|---|---|
| 5.7.2023 | 18 | 11 |
| 19.7.2023 | 0 | 14 |
| 2.8.23 | 95 | 79 |
| 16.8.23 | 80 | 92 |

Käsittämättömän suotoveden biologinen hapenkulutus oli 11–35 mg/l. Kuten kemiallinen hapenkulutus myös biologinen hapenkulutus voimistui käsittelyn aikana erityisesti elokuun aikana (kuva 19). Elokuun näytteissä linjan 1 biologinen hapenkulutus oli 140–150 mg/l ja linjan 2 biologinen hapenkulutus 120–170 mg/l. 2.8.2023 biologinen hapenkulutus kasvoi käsittelyssä keskimäärin 1082 % ja 16.8.2023 keskimäärin 354 %. Biologisen hapenkulutuksen kasvut linjoilla 1 ja 2 on koottu taulukkoon 5.



Kuva 19. Linjojen 1 ja 2 biologinen hapenkulutus.

Taulukko 5. Biologisen hapenkulutuksen kasvu linjoilla 1 ja 2 käsittelemättömän suotoveden kemialliseen hapenkulutukseen verrattuna.

| Näytteenotto PVM | BOD kasvu (%), linja 1 | BOD kasvu (%), linja 2 |
|------------------|------------------------|------------------------|
| 5.7.2023 | 100 | 75 |
| 19.7.2023 | -26 | 61 |
| 2.8.23 | 1173 | 991 |
| 16.8.23 | 329 | 386 |

Raskasmetallit

Käsittelemättömästä ja käsitellystä suotovedestä analysoitiin raskasmetallipitoisuuksia. Analysoitavat metallit olivat arseeni (As), barium (Ba), kadmium (Cd), kupari (Cu), lyijy (Pb), nikkeli (Ni), sinkki (Zn) ja elohopea (Hg). Raskasmetallianalyysiä varten kerättiin näytteet käsittelemättömästä suotovedestä (NP 15), linjalta 1 poistuvasta vedestä (NP 1) ja linjalta 2 poistuvasta vedestä (NP 8). Raskasmetallianalyysyjä teetettiin neljä kertaa koejärjestelyn aikana.

Järjestelmään pumpattavassa suotovedessä korkeimmat pitoisuudet olivat kuparilla (23–48 µg/l), nikkelillä (39–73 µg/l), sinkillä (56–110 µg/l) ja bariumilla (90–150 µg/l). Arseenin pitoisuus oli käsittelemättömän suotoveden näytteissä korkeimmillaan 14 µg/l, lyijyn 5,8 µg/l ja elohopean korkein pitoisuus 0,021 µg/l. Kadmiumin pitoisuus oli osassa näytteistä alle määrittäysrajan (< 0,1 µg/l), ja korkeimmillaan pitoisuus oli 0,21 µg/l.

Linjojen 1 ja 2 poistoputkista analysoitujen raskasmetallipitoisuuksien perusteella linjojen tulokset olivat keskenään hyvin lähellä toisiaan, mutta eri metallien pitoisuuksien reduktioiden välillä oli runsaasti vaihtelua. Korkeimmat reduktiot saavutettiin kuparin (ka. ~77 %), nikkelin (ka. ~59 %) ja sinkin (ka. ~36 %) pitoisuuksissa. Lisäksi lyijyn pitoisuudet olivat osassa poistopuolen näytteistä pudonneet alle määritysrajan (< 0,4 µg/l). Lyijyn reduktion keskiarvo oli ~73 %.

Muiden raskasmetallien reduktioista poiketen suotoveden sisältämän bariumin pitoisuudet kohosivat käsittelyjärjestelmässä. Viimeisen näytteenotokerran tuloksia lukuun ottamatta pitoisuus nousi järjestelmässä noin 17–44 %. Analysoidut raskasmetallipitoisuudet ja niistä lasketut reduktiot linjoille 1 ja 2 on koottu taulukkoon 6.

Taulukko 6. Järjestelmästä mitatut raskasmetallipitoisuudet ja niiden reduktiot.

| Analyysi | | PVM | Tuleva suotovesi | Linja 1 poisto | Linja 2 poisto | Reduktio %, linja 1 | Reduktio %, linja 2 |
|----------|------|-----------|------------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|
| Arseeni | µg/L | 5.7.2023 | 11 | 6 | 7,5 | 45,5 | 31,8 |
| | | 19.7.2023 | 7,6 | 7,7 | 10 | -1,3 | -31,6 |
| | | 2.8.2023 | 14 | 8,8 | 8,2 | 37,1 | 41,4 |
| | | 16.8.2023 | 12 | 10 | 8,6 | 16,7 | 28,3 |
| Kadmium | µg/L | 5.7.2023 | 0,2 | 0,12 | 0,12 | 40,0 | 40,0 |
| | | 19.7.2023 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| | | 2.8.2023 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| | | 16.8.2023 | 0,21 | < 0,1 | < 0,1 | 52,4 | 52,4 |
| Kupari | µg/L | 5.7.2023 | 38 | 14 | 17 | 63,2 | 55,3 |
| | | 19.7.2023 | 23 | 5,6 | 5,7 | 75,7 | 75,2 |
| | | 2.8.2023 | 48 | 4,2 | 3,3 | 91,3 | 93,1 |
| | | 16.8.2023 | 36 | 7,2 | 7,9 | 80,0 | 78,1 |
| Lyijy | µg/L | 5.7.2023 | 5,8 | 1,5 | 1,8 | 74,1 | 69,0 |
| | | 19.7.2023 | 1,9 | < 0,4 | < 0,4 | 78,9 | 78,9 |
| | | 2.8.2023 | 1,6 | < 0,4 | < 0,4 | 75,0 | 75,0 |
| | | 16.8.2023 | 3,1 | 1 | 3,1 | 67,7 | 0,0 |
| Nikkeli | µg/L | 5.7.2023 | 41 | 15 | 16 | 63,4 | 61,0 |
| | | 19.7.2023 | 39 | 25 | 23 | 35,9 | 41,0 |
| | | 2.8.2023 | 52 | 18 | 18 | 65,4 | 65,4 |
| | | 16.8.2023 | 73 | 23 | 22 | 68,5 | 69,9 |
| Sinkki | µg/L | 5.7.2023 | 110 | 150 | 150 | -36,4 | -36,4 |
| | | 19.7.2023 | 56 | 34 | 32 | 39,3 | 42,9 |
| | | 2.8.2023 | 80 | 28 | 19 | 65,0 | 76,3 |
| | | 16.8.2023 | 80 | 23 | 26 | 71,3 | 67,5 |
| Barium | µg/L | 5.7.2023 | 90 | 120 | 130 | -33,3 | -44,4 |
| | | 19.7.2023 | 93 | 110 | 130 | -18,3 | -39,8 |
| | | 2.8.2023 | 94 | 110 | 120 | -17,0 | -27,7 |
| | | 16.8.2023 | 150 | 130 | 130 | 13,3 | 13,3 |
| Elohopea | µg/L | 5.7.2023 | 0,021 | 0,007 | 0,012 | 66,7 | 42,9 |
| | | 19.7.2023 | 0,006 | < 0,005 | < 0,005 | 16,7 | 16,7 |
| | | 2.8.2023 | 0,008 | < 0,005 | < 0,055 | 37,5 | -587,5 |
| | | 16.8.2023 | 0,01 | 0,007 | 0,009 | 30,0 | 10,0 |

Tulosten tarkastelu

Käsittelyjärjestelmän avulla suotovedestä saatiin linjalla 1 poistettua fosforia 10–57 % ja linjalla 2 saatiin poistettua 30–64 %. Rautapitoisuuden reduktioon (20–69 %) vaikutti todennäköisesti ilmastuksen riittämättömyys. Raudan saostuminen kuluttaa happea, joten tehokkaampi hapetus olisi mahdollisesti voinut tehostaa myös raudanpoistoa.

Tavoitteena ollut typenpoisto ei käynnistynyt kokeiden aikana, ja kokeet päätettiin lopettaa tarvittavien järjestelmämuutosten tekemiseksi. Merkittävimpänä tekijänä tulokselle oli suotoveden korkea hapenkulutus, eikä kokeissa käytetyillä kahdella ilmastimella ollut vaikutusta suotoveden happipitoisuuteen. Hapettomuus aiheutti bioreaktoreihin anaerobiset olosuhteet, eikä nitrifikaatiobakteerien siten ollut mahdollista elää kyseisissä olosuhteissa. Reaktoreissa alkoi kasvaa anaerobiset mikrobit, ja mikrobitoiminnan tuloksena alkoi muodostua myös haitallisia kaasuja (kuva 20).



Kuva 20. Suodatinaltaiden pinnalle muodostunutta biofilmiä (kuva Sofia Nokia).

Raskasmetallien osalta tulokset olivat pääasiassa tavoitteen mukaisia, ja kokeiden mukainen käsittely osoittautui tehokkaaksi etenkin kuparin, lyijyn, nikkelin ja sinkin sitomiseksi suotovedestä. Metallien pitoisuudet laskivat kaikkien muiden tarkasteltujen metallien paitsi bariumin osalta. Koska bariumin pitoisuuden kasvu kuitenkin heikkeni ajan kanssa ja viimeisissä näytteissä kasvu oli kääntynyt reduktioksi, on mahdollista, että kyse oli esimerkiksi järjestelmän osista tai rakenteista lähtöisin olevasta bariumin alkuhuuhtoumasta.

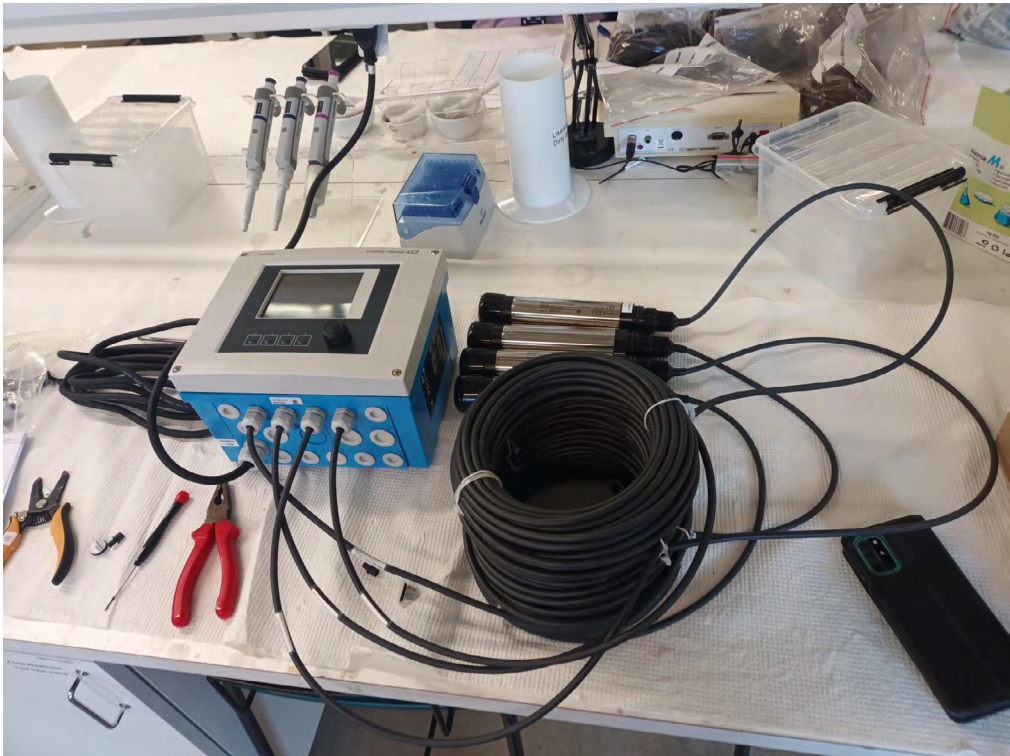
Hapetuksen tehostaminen

Suoritettujen kokeiden perusteella todettiin, että suotoveden ilmastus ei ollut riittävän tehokasta veden hapettumiseksi. Kun kokeet oli päätetty ja altaat tyhjennetty, esikäsittelyaltaaseen asennettiin jätevedelle soveltuva diffuusioilmastinputki, johon johdettiin ilmaa lähes kaksinkertaisella teholla päättäneiden kokeiden aikaiseen ilmastukseen verrattuna (kuva 21). Lisäksi uusi ilmastinputki tuotti pienempää ilmakuplaa, niin sanottua mikrokuplaa, joka myös lisäsi hapetuksen tehoa.



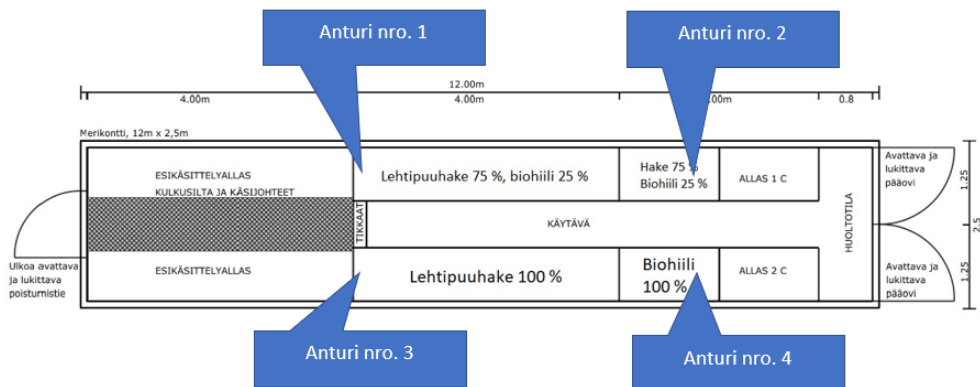
Kuva 21. Suotoveden hapetukseen asennettiin tehokkaampi ilmastinkompressori ja diffuusioilmastinputki (kuva Salla Pulliainen).

Ilmastimen asennuksen yhteydessä järjestelmään asennettiin lisäksi kiinteät happianturit, joiden avulla saatiin tietoa happipitoisuuksista ja niiden muutoksista linjojen alku- ja loppupäissä. Laitteisto koostuu Endress+Hauser Liquline CM444 -ohjausyksiköstä, johon on kytketty neljä kappaletta Oxymax COS61D -optisia liuenneen hapen antureita (kuva 22). Laitteelle voidaan ohjelmoida haluttu mittausväli, jolloin tulokset loggeroidaan sisäiseen muistiin. Tähän kokeeseen mittausvälinä käytettiin 30:tä minuuttia.



Kuva 22. Vesikkoon asennettu Endress+Hauser-mittalaitteisto. Kuvassa vasemmalla CM444-ohjausyksikkö sekä oikealla neljä kappaletta Oxymax COS61D -happiantureita (kuva Aki Mykkänen).

Anturit sijoitettiin altaisiin rei'itettyjen muoviputkien sisälle mahdollisten irtoroskien tuomien mittaushäiriöiden estämiseksi. Molemmille linjoille asennettiin kaksi anturia, jotka kuvaavat linjojen alku- ja loppupäitä. Anturien tarkemmat sijoittelut on esitetty taulukossa 23.



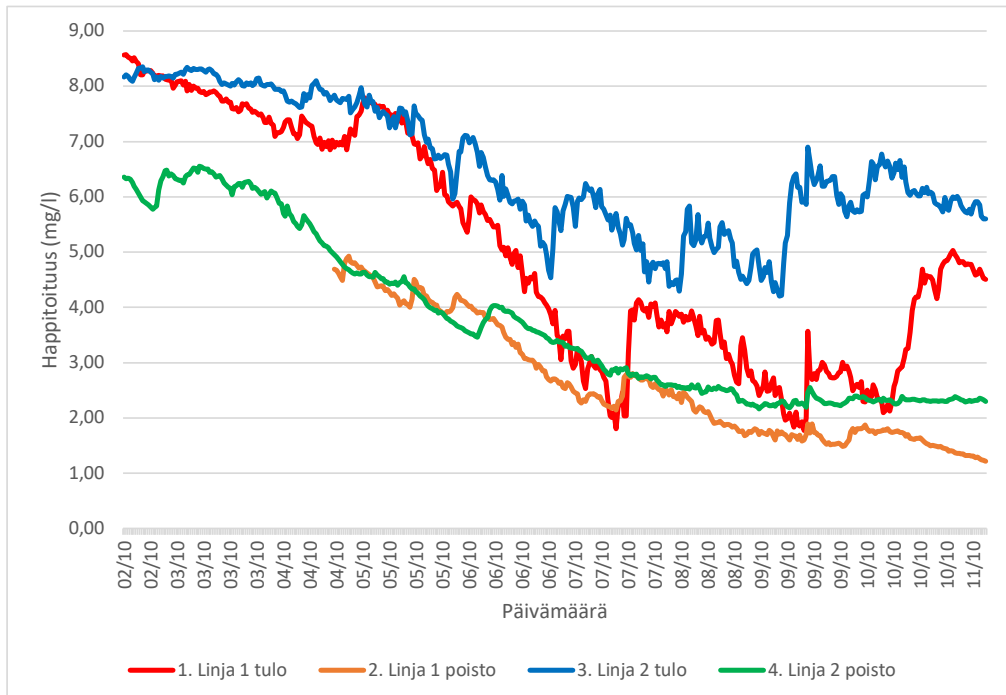
Kuva 23. Kiinteiden happianturien sijainnit järjestelmässä.

Uutta ilmastinta ja happiantureita testattiin kahden viikon ajan kierrättämällä järjestelmässä suotovettä ilman suodatinmateriaaleja. Uusien happiantureiden toimintaa varmennettiin myös YSI ProDSS -kenttämittarilla. Tavoitteena oli kiinteiden happiantureiden ja kenttämittausten avulla seurata hapetuksen tehoa ja suotoveden happipitoisuutta järjestelmän eri vaiheissa (kuva 24). Seurannan aikana suotoveden lämpötila kontin sisällä oli 9,2–13,7 °C.



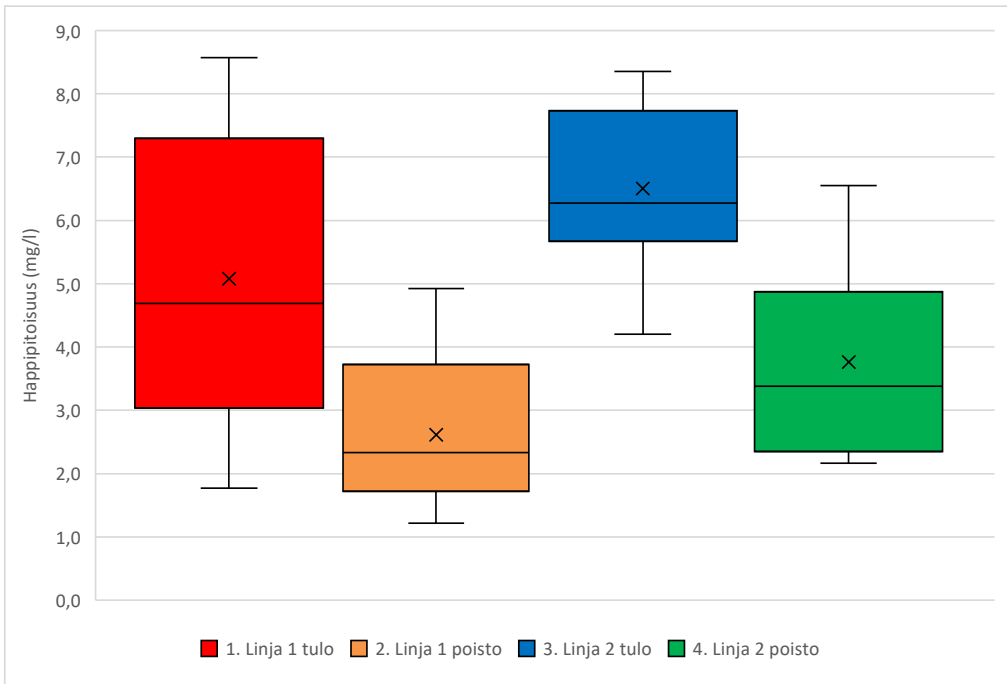
Kuva 24. Suotoveden happipitoisuutta mitattiin YSI ProDSS -kenttämittarilla (kuva Salla Pulliainen).

Seurantajakson aikana suotoveden happipitoisuus esikäsitteilyaltaassa oli $10,3 \pm 0,3$ mg/l. Happipitoisuus kuitenkin lähti laskemaan suotoveden siirtyessä putkistoa pitkin tutkimuslinjoille A- ja B-altaisiin. Kuvassa 25 on kiinteiden happiantureiden mittaamat happipitoisuudet eri linjoilla. Kuvan käyrät 1 ja 3 ovat altaiden tulopuolilta mitattuja tuloksia ja käyrät 2 ja 4 altaiden poistopuolelta mitattuja tuloksia. Anturi numero 2 asennettiin jälkikäteen, joten kyseisen anturin mittaamat tulokset alkavat kaksi päivää muiden tulosten jälkeen ja anturin tulosten tasaantumisessa kesti noin kahdeksan tuntia. Jatkuvatoimisesti mitatut arvot ovat yhtenäisiä ProDSS -mittarilla mitattuihin arvoihin.



Kuva 25. Suotoveden jatkuvatoiminen happipitoisuus tehokkaammalla ilmastimella hape-tettuna.

Viivakuvaajasta nähdään kaikilla antureilla tapahtuvan arvojen heittelyä. Tarkasteltaessa keskilukuja ruutu- ja janakaavion avulla (kuva 26) nähdään linjoilla tapahtuvat muutokset paremmin. Kuvaajasta nähdään, että happipitoisuus laskee keskimäärin noin 2–3 mg/l kulkiessaan reaktorialtaiden läpi.



Kuva 26. Jatkuvatoimisen happimittauksen ruutu- ja janakaavio. Linjojen tulojen ja poistojen välillä nähdään selkeät erot (mediaani, keskiarvo \bar{x} , ala- ja yläkvartiilit sekä ääriarvot).

Mittaustulosten perusteella uusi ilmastin todettiin soveltuvaksi ja teholtaan sopivaksi suotoveden riittävään hapetukseen. Lisäksi myös kiinteät happianturit todettiin toimiviksi. Tulokset osoittavat kuitenkin myös sen, että suotovesi itsessään sisältää happea kuluttavia tekijöitä. Jatkokokeissa onkin huomioitava, että mikäli reaktorialtaissa käytetään biologisia suodatinmateriaaleja, voi hapenkulutus voimistua, ja siten voi olla tarpeen edelleen tehostaa ilmastusta.

YHTEENVETO KAATOPAIKKAVESIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMISTÄ

Salla Pulliainen

Kaatopaikkavesien käsittelylle on olemassa selkeä tarve niin käytöstä poistettujen kuin käytössä olevienkin kaatopaikkojen osalta. Kaatopaikat voivat sijaita esimerkiksi lampien paikalla, jolloin jätetäytöllä ei ole suojaavia pohjarakenteita, ja siten kaatopaikalta suotautuvien vesien hallinta on haastavaa. Vaikka kaatopaikkoja on suljettu jo vuosia sitten, niistä lähtöisin oleva ravinne- ja haitta-ainekuormitus on edelleen merkityksellinen lähivesistöjen ja -ympäristön kannalta. Kohteissa, joissa suotovesiä ei pystytä johtamaan jätevedenpuhdistamoille, ympäristöön johdettavien vesien laatuun pystytään kuitenkin vaikuttamaan kevyemmällä, biologisia menetelmiä hyödyntävillä ratkaisulla.

Käsittelyjärjestelmää suunniteltaessa huomioon tulee ottaa muun muassa kaatopaikan ikä ja sen ympäristö, suotoveden määrä ja laatu sekä siitä aiheutuvat kuormitustekijät. Kaatopaikkavedet ovat monihaitallisia vesiä, ja tämä aiheuttaa järjestelmän osille ja toiminnalle monia vaatimuksia. Vesien sisältämä sakka ja kiintoainne kertyvät järjestelmän osiin, ja korkeat ravinnekuormat vaativat käsittelykapasiteettia ja -aikaa, sekä suotoveden sisältämät haitta-aineet voivat inhiboida biologisia prosesseja. Ennen käsittelyjärjestelmän toteuttamista olisikin hyvä selvittää käsiteltävän veden laatu ja määrä, kohteen ympäristöolosuhteet ja olemassa olevat rakenteet ratkaisuvaihtoehtojen kartoittamiseksi.

Kaatopaikan olosuhteet vaikuttavat käsittelyratkaisuihin

Kaatopaikkojen sijainnit ja niiden ympäristöolosuhteet luovat haasteita käsittelyjärjestelmien toiminnolle. Kaatopaikat voivat sijaita esimerkiksi sähköverkon ulkopuolella, jolloin ratkaistavaksi tulee järjestelmän sähkölaitteiden käytön haasteet. Mikäli kohteessa käytetään sähköä esimerkiksi pumppuihin ja ilmastimiin, Devo-hankkeessa saatujen kokemusten perusteella kohteessa olisi hyvä varautua muun muassa myrskyjen aiheuttamiin sähkökatkoksiin. Sähkökatkojen lisäksi laitteiden kanssa toimiessa on aina olemassa laitevikojen riski, ja tällöin tulisi etukäteen suunnitella, kuinka mahdolliset häiriötilanteet saadaan selville ja korjattua. Lisäksi sähköjohtojen pistokkeet, kompressorit ja muut herkäät laitteet tulisi olla hyvin sateelta suojattuna.

Kohteissa on myös rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa ympäristöolosuhteisiin, kuten lämpötilaan, virtaamaan ja maastonmuotoihin. Mikäli käsittelyjärjestelmä rakennetaan maan pinnalle ja käsiteltävää vettä joudutaan nostamaan ylöspäin, oleellisin sähköä vaativa laite on tuloveden pumppu. Sähköisen pumppauksen voisi korvata maaston muotoja ja olemassa olevia rakenteita hyödyntäen esimerkiksi sijoittamalla käsittelytoiminnot veden jo olemassa olevalle reitille ja hyödyntää siten veden luonnollista virtaamaa.

Esimerkiksi käsiteltävän veden esilaskeutus ja biosuodatus olisivat mahdollisia toteuttaa vesien jo olemassa olevilla reiteillä. Tästä esimerkkinä toimi Ristiinan pilottijärjestelmän vuoden 2023 järjestely, jossa suotoveden käsittelyssä hyödynnettiin jo olemassa olevaa tasausallasta. Tällä mahdollistettiin suotoveden laadun muutokset nitrifikaatiolle optimi-maalisemmalle tasolle niin lämpötilan, ravinnekuorman kuin rauta- ja happipitoisuuksienkin osalta. Devo-hankkeen aikana pohdittiin myös mahdollisuutta käyttää tasausallasta itsessään bioreaktorina Ristiinan järjestelmässä.

Happipitoisuuden nostaminen

Devo-hankkeen Ristiinan pilottijärjestelmästä ja demonstraatioympäristö Vesikolla saatujen kokemusten perusteella oleellisin suotovesien käsittelyyn liittyvä tekijä on veden riittävä ilmastus ja siten veden happipitoisuuden nostaminen. Raudan ja fosforin sakkauttaminen ja laskeutus sekä biologinen typenpoisto vaativat happea, jota suotovedessä ei luonnostaan juurikaan ole. Näiden prosessien hapenkulutuksen lisäksi suotoveden ominaisuuksiin jo itsessään kuuluu voimakas sekä kemiallinen että biologinen hapenkulutus. Tämän takia veteen liunneen hapen pitoisuuden tarkkailu prosessin eri vaiheissa on ensisijainen toimi prosessin toiminnan seurannassa.

Suotoveden esikäsitelyssä hapetus sakkauttaa rautaa ja muuta suotoveden sisältämää kiintoainetta ja laskeuttaa sitä altaan pohjalle ja ilmastinten päälle. Ilmastinten tulisi siten ominaisuuksiltaan olla sellaisia, etteivät niiden ilma-aukot tukkeudu sakan kerääntymisen myötä ja että ilman paine riittää pitämään aukot avoimina. Tähän tarkoitukseen sopivia ovat etenkin jätevedelle tarkoitetut ilmastimet.

Mikäli käsiteltävän veden reittiä on mahdollista porrastaa, porrastuksen aiheuttama pudotus ilmastaisi vettä luonnostaan. Ristiinan suljetulla kaatopaikalla suotoveden tasausaltaassa sijaitsevaan purkuputkeen asennettiin S-putki, joka nosti purkuputken pään altaan vedenpinnan yläpuolelle. Tämä mahdollisti suotoveden laadun mittaukset, mutta myös suotoveden ilmastuksen veden pudotessa putken päästä altaaseen (kuva 1).



Kuva 1. Suotoveden vähäinenkin pudotus hapettaa vettä (kuva Salla Pulliainen).

Huoltotoimenpiteet

Käsiteltävien vesien laadusta riippuen vedet voivat kerryttää rauta- ja kiintoainesakkaa järjestelmän putkistoihin, pumppuihin ja muihin osiin (kuva 2). Devo-hankkeen kokeusten perusteella laitteiston osat tulisi puhdistaa sakasta kauden päätteeksi, sillä ajan saatossa ja sakan kuivuessa putkistoihin osat alkavat tukkeutumaan ja siten haittaamaan veden kiertoa osien välillä. Järjestelmä tulisi myös suunnitella siten, että vältettäisiin niin sanottuja pullonkauloja, joihin voi muodostua tukkeutumiseriskä.



Kuva 2. Suotovedestä laskeutunutta sakkaa on kerääntynyt järjestelmän poistoputkeen saakka käsiteltävän veden esilaskeutuksesta huolimatta (kuva Salla Pulliainen).

Devo-hankkeen aikana Ristiinan pilottijärjestelmään asennetut suodatinmateriaalit olivat käytössä kahden vuoden ajan. Materiaalien käyttöikä ja niiden vaihtoväli riippuvat käsiteltävän veden laadusta, ja esimerkiksi rautasakan kerääntyminen suodattimeen voi antaa aiheita vaihtaa suodatinmateriaalit. Myös veden laadun analyysit kertovat suodattimen toiminnasta, ja biohiilen kyllästymistä voidaankin seurata raskasmetallien poistotehoa seuraamalla. Suodatinmateriaaleja ja erityisesti biohiiltä vaihdettaessa on huomioitava, että materiaalit ovat sitoneet itseensä erilaisia haitta-aineita ja raskasmetalleja, ja siten niiden hävittäminen tulee hoitaa niiden haitallisuus huomioiden.

Biologinen typenpoisto on lämpötilasidonnainen prosessi, eikä nitrifikaatiota käytännössä tapahdu alle +4 °C:n lämpötilassa. Tämän takia biologiselle typenpoistolle ei ole

edellytyksiä talviolosuhteissa, ja maan pinnalle nostettu vesi on myös altis jäätymiselle virtauksesta huolimatta (kuva 3). Pakkaskautta varten etukäteen tulisikin kartoittaa toimet, joita järjestelmä ja sen osat vaativat kestääkseen talven yli. Putkistot tulisi tyhjentää, sillä jäätyvä vesi voi aiheuttaa niihin halkeamia. Lisäksi järjestelmässä käytettävät sähkölaitteet voivat vaatia siirron lämpimään varastoon. Kun järjestelmä on tyhjennetty ja osat irrotettu, laitteille on myös hyvin aikaa tehdä tarvittavat puhdistus- ja huoltotoimenpiteet.



Kuva 3. Veden jäätyminen aiheuttaa putkiston tukkeutumisen ja siten ylitulvimisriskin (kuva Salla Pulliainen).



XAMK
KEHITTÄÄ