



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



Loppuraportti:

Suometsien valumavesien käsittely ja ravinteiden kierrätys
puuhakebioreaktorilla

SuVaKi

Kirsi Karhio, Heini Postila, Juha-Pekka Saarelainen, Matthew Hopkins



Hankkeen nimi:

Suometsien valumavesien käsittely ja ravinteiden kierrätys puuhakebioreaktorilla, SuVaKi

Hankkeen toteuttajat (pää toteuttaja ja osatoteuttajat):

- Pro Höytiäinen ry
- Oulun yliopisto, Vesi-, energia- ja ympäristötekniikan tutkimusyksikkö
- Watec Consulting Oy

Yhteyshenkilö ja yhteystiedot (puhelin ja posti):

Kirsi Karhio, 050 3282144, kirsi.karhio@gmail.com

Hankkeen toteutusaika:

30.11.2020-21.11.2022

Hankkeen toimenpiteiden kuvaus ja tulokset:

www.prohoytiainen.fi

Loppuraportin tekijät:

Kirsi Karhio, Heini Postila, Juha-Pekka Saarelainen ja Matthew Hopkins

Sisällysluettelo

ESIPUHE.....	
ALKUSANAT.....	
Tiivistelmä.....	5
1. Hankkeen lähtökohta ja tavoitteet.....	5
2. Projektin toteutus.....	8
2.1 Valuma-alueen vedenlaatututkimukset.....	8
2.2 Pilot-laitteiston tutkimukset.....	10
2.3 Sienitutkimukset.....	12
2.4 Koebioreaktorit.....	19
2.4.1 Koebioreaktorien suunnittelu ja rakentaminen.....	19
2.4.2 Koebioreaktorien seuranta.....	21
2.4.3 Koebioreaktoreista saadut alkuvaiheen tulokset.....	23
2.5 Menetelmän kustannustehokkuuden, vaikuttavuuden ja monistettavuuden arviointi.....	26
3.Yhteistyö ja sidosryhmätyöskentely.....	26
3.1. Työnjako.....	27
3.2. Tärkeimmät sidosryhmät.....	27
4. Viestintä ja tiedottaminen.....	28
5. Hankkeen tuotokset.....	32
6. Hankkeen tulokset.....	33
6.1. Valuma-alue-tutkimukset.....	33
6.2 Sienitutkimukset.....	34
6.3 Bioreaktori-tutkimukset.....	35
7. Hankkeen innovatiivisuus, monistettavuus, uutuusarvo, hankkeen hyöty.....	36
8. Toiminnan jatkuvuus.....	37
9. Projektin rahoitus.....	39
10. Hankkeen toteutus numeroina.....	40
11. Toteutusvaiheen arviointi.....	40
11.1 Hankkeen aikana kertynyttä tietoa ja tarkempaa kuvausta bioreaktorirakenteen reunaehdoista.....	42
11.2 Yhdessä tekeminen ja hyvä kommunikointi on, ja olisi, hyvin tärkeää.....	46
11.3 Valvonnan ja ohjauksen onnistuminen, ml. verkostoituminen.....	46
Lähdeluettelo:.....	47
Liitteet.....	48

ESIPUHE

Suomi on metsien, soiden, peltojen ja vesistöjen maa. Metsät peittävät lähes 80 % Suomen pinta-alasta ja metsistä suurin osa on metsätaloustaloudessa. Maataloutta harjoitetaan alle 10 % pinta-alasta ja sisämaan vesistöt kattavat vähän yli 10 % pinta-alasta. Ihmistoiminta aiheuttaa ravinne-, kiintoaine- ja metallikuormitusta vesistöihin. Kuormituksella on monia haitallisia vaikutuksia vesiekosysteemeihin. Suomi on sitoutunut vesistöjen vähintään hyvän tilan tavoitteeseen. Metsätalous ja maatalous aiheuttavat hajakuormitusta. Maataloutta harjoitetaan merkittävästi pienemmällä pinta-alalla kuin metsätaloutta, mutta valtakunnallisesti se on suurin vesistökuormittaja. Viimeaikaisten tutkimusten mukaan metsätalouden aiheuttama kuormitus on kuitenkin arvioitua suurempaa. Metsätalous on suurin kuormittaja Itä- ja Pohjois-Suomessa, missä on paljon ojitettuja suometsiä ja vähän muuta ihmistoimintaa.

Metsätaloustoimenpiteet, kuten hakkuut, maanmuokkaus, lannoitus ja ojien kunnostus aiheuttavat kiintoaine- ja ravinnekuormitusta. Kuormitus on yleensä suurimmillaan 1–3 vuotta toimenpiteiden jälkeen ja palautuu ennen toimenpidettä olevalle tasolle noin kymmenessä vuodessa. Uusimmissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että vanhojen 1960–1980-luvuilla kaivettujen metsäojien kuormitusvaikutus näkyy edelleen, ja suurin osa metsätaloudesta aiheutuvasta kuormituksesta johtuu vanhoista ojituksista. Soiden suuri merkitys on ymmärrettävää koska keskimäärin 30 % Suomen maapinta-alasta on soita. Niistä metsäojitettuja on 53 % eli 4,6 Mha, mikä vastaa 18 % tämänhetkisestä metsätaloustoiminnan piirissä olevasta pinta-alasta. Osuus on selvästi tätä suurempi Itä- ja Pohjois-Suomessa. Uudisojitusta ei enää tehdä, mutta monilla vanhoilla ojitusalueilla on tarvetta kunnostaa oja, tehdä hakkuita ja uudistamistoimenpiteitä.

Metsätaloudessa on tehty paljon töitä viimeisten vuosikymmenten aikana kuormituksen vähentämiseksi. Käytössä on suunnittelutyökaluja ja erilaisia vesiensuojelumenetelmiä. Hyvällä suunnittelulla ja vesiensuojeluratkaisuilla on mahdollista vähentää merkittävässä määrin kiintoainekuormitusta. Haasteena on ravinnekuormituksen, erityisesti liukoisen typen, fosforin ja hiilen kuormituksen vähentäminen. Niiden pidättämiseen on vain vähän keinoja, ja ne eivät sovellu kaikkiin kohteisiin. On tärkeä löytää uusia menetelmiä liukoisten ravinteiden huuhtoutumisen vähentämiseen. Tähän haasteeseen on vastannut Suometsien valumavesien käsittely ja ravinteiden kierrätys puuhakebioreaktorilla (SuVaKi) -hanke.

SuVaKi -hankkeessa rakennettiin puuhakebioreaktori Pohjois-Karjalaan Kiskojoen valuma-alueelle Pro Höytiäinen ry:n, Oulun yliopiston ja Watec Consulting Oy:n yhteistyönä. Suunnittelussa ja rakentamisessa tuli vastaan monia haasteita, jotka ratkaistiin. Ratkaisut ovat arvokkaita toteutettaessa bioreaktoreita muilla alueilla. Hankkeen kesto oli hyvin lyhyt eikä kaikkia vaikutuksia saatu selville, mutta jo lyhyessä ajassa reaktori satoi valuma-alueelta huuhtoutuvaa rautaa ja nitraattia. Suurin osa liukoisessa muodossa huuhtoutuvasta tyydestä ja fosforista on orgaanista, ja vasta pidempiaikainen seuranta osoittaa reaktorin tehon niiden pidättäjänä. On syytä jatkaa reaktorin toiminnan seuranta ja välittää tietoa hyvistä käytännöistä, joilla menetelmää voidaan toteuttaa muillakin alueilla.

Joensuussa 11.11.2022

Leena Finér
Professori emerita

ALKUSANAT

SuVaKi –hanke sai alkunsa vuonna 2020 monen asian kohdatessa. Keväällä 2020 valmistui Pro Höytiäisen toimeksiannosta opinnäyte Rauanjoen tilasta ja kunnostustarpeista (Jolkkonen & Heiskanen 2020) ja samanaikaisesti järviyhdistyksen vasta perustettu Virtavesitiimi aloitteli uhanalaisen taimenen elinympäristökunnostuksia.

Pro Höytiäinen ja Watec Consulting Oy kohtasivat joella kunnostustalkoissa ja elokuussa järjestyi palaveri, johon kutsuttiin myös Tapio Oy. Palaverissa mietittiin Höytiäisen valuma-alueen tilannetta laajemmin, myös mahdollisuutta yhteistyöhön. Tavoitteeksi asetettiin luoda Höytiäisen vesistöalueelle isompi kunnostuskokonaisuus, jossa huomioidaan vedenlaatutekijöitä, luonnon monimuotoisuutta, soiden ennallistamista ja uhanalaisten lajien elpymistä. Fokukseen haluttiin erityisesti tuoreen inventointitiedon Rauanjoki, mahdollisena Kiskonjoki, ja niiden valuma-alueilla olevien suo- ja metsävesien käsittely, alkuperäisen taimenkannan elpymisen (Rauanjoki) ja istutetun taimenkannan selviytyminen ja sopeutuminen (Kiskonjoki). Todettiin tarve luonnonmukaisille ja huoltovapaille menetelmille metsävesien puhdistamiseksi humuksesta ja ravinteista, ylipäättään vesiensuojelun ratkaisuille. Syntyi ajatus soveltaa Oulun yliopiston ja Suomen ympäristökeskuksen Passiiviset hybridipuhdistusratkaisut arktisten valumavesien typen ja raskasmetallien puhdistamiseen (HybArkt)- hankkeessa selvitettyjä valumavesien passiivisia hybridipuhdistusratkaisuja (Postila et al. 2021) metsäisessä ympäristössä, taimenjoen valuma-alueella.

Maa- ja metsätalouden vesienhallinnan 1. avustushaku aukesi 15.10.2020 ja avustuksen tavoitteet ja kohdentaminen osuivat suunnitelmiin. Oulun yliopiston tutkimusyksikkö teki 12.11.2020 päätöksen olla mukana hankkeessa ja kuun lopussa kolmen osatoteuttajan yhteinen hankehakemus oli valmis. Vuoden viimeisenä päivänä Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarjassa julkaistu tutkimus, Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020 (Finér et al.) tuki hankkeen lähtökohtia ja tavoitteita – menetelmän kehittämistä ratkaisuksi suometsien valumiin.

Kiitämme hankkeen mahdollistamisesta ja hyvästä yhteistyöstä

- ❖ rahoittajia ja yhteistyökumppaneita - Maa- ja metsätalousministeriön ja Ympäristöministeriön yhteistä Maa- ja metsätalouden vesienhallinnan ohjelmaa ja sitä hallinnoinutta Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskusta sekä Maa- ja vesiteknikan tuki ry:tä, Metsä Groupia, OLVI-säätiötä, Pohjois-Karjalan tulevaisuusrahastoa ja UPM Metsää;
- ❖ sparrausrinkiä - Leena Finér (Luke), Helena Haakana (PoKELY), Tiina Käki (PoKELY), Tiina Laine (MetsäGroup), Minna Maasilta (MVTT), Jukka Nykänen (PKL), Teppo Oijala (MetsäGroup), Silja Pitkänen-Arte (Metsä Group), Anna-Kaisa Ronkanen (SYKE), Anne-Mari Rytönen (PoPELY), Janne Uutera (UPM Metsä), Henri Vaarala (PoPELY) - jonka asiantuntemus ja tuki oli käytössämme hankkeen aikana;
- ❖ välirahoittajana toiminutta Polvijärven kuntaa;
- ❖ maanomistajia, Aki Nevalainen ja Kiskonjoen yhteismetsä sekä heitä, joilla oli valmius luovuttaa metsäkiinteistönsä tutkimuksen käyttöön;
- ❖ vahvan talkoopanoksensa antaneita järviyhdistyksen jäseniä ja virtavesiaktiiveja sekä Karelia-ammattikorkeakoulun opiskelijoita;
- ❖ maasto- ja laboratoriotöissä avustaneita henkilöitä Oulun yliopistossa;
- ❖ Neova-Group sienipilottitestauksiin saadusta hakkeesta.

Raportin tekijät

OSA I HANKKEEN TOIMINNAN KUVAUS

Tiivistelmä

Viimeaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että suometsien ravinne-, humus- ja kiintoainepäästöt vesistöihin ovat arvioitua suuremmat ja myös jatkuvat pidempään. Hankkeen päätavoitteena oli tutkia puuhakebioreaktorirakenteiden soveltuvuutta suometsävesien käsittelyyn yhtenä ratkaisuna vesiekosysteemien kuormituksen vähentämiseksi. Puuhakebioreaktorin tiedetään jo soveltuvan hyvin poistamaan nitraattityppeä denitrifikaatiolla. Koska kohteen vesissä typpi esiintyi arvioitua enemmän orgaanisessa muodossa, tehtiin tarvittavia testauksia sen poistamisesta myös pilot-laitteistolla sekä sienitestauksin laboratorioissa oletuksena, että sienet voisivat hajottaa tyyppiä orgaanisesta muodosta epäorgaaniseen muotoon. Hankkeessa myös kartoitettiin veden tilaa eri puolilla Höytiäisen valuma-aluetta mm. pH- ja lämpötilamittauksin sekä vesinäyttein. Syksyllä 2021 toteutetut alustavan sienitestauksen tulokset huoneenlämpötilassa vaikuttivat lupaavilta, mutta pidempiaikaisten testausten perusteella luonnonvesien lämpötiloissa havaittiin selkeää typen huuhtoumaa. Näiden tulosten pohjalta bioreaktorirakenteeseen ei vielä lisätty sieniymppiä.

Varsinaisille koebioreaktoreille soveltuvan sijoituspaikan löytämisessä oli haasteita ja rakentamaan päästiin vasta hankkeen lopulla, syyskuussa 2022. Tutkimuskenttä toteutettiin Pohjois-Karjalaan, Polvijärven Lahtolahden Pyöräkankaalle, Suursuon valuma-alueelle, josta on yhteys Kiskonjoen kautta Höytiäiseen. Se käsittää kaksi koebioreaktoria, toisen materiaalina on koivun runkopuuhake, toisessa on lisäksi biohiiltä. Bioreaktorit käynnistettiin syyskuun lopussa 2022 ja sen jälkeen on virtaamia mittaamalla ja kenttää säätämällä etsitty optimiviipymää. Bioreaktoreiden seuranta-aika jäi hankkeessa lyhyeksi, mutta jo alkuvaiheen seurantatulosten perusteella bioreaktori poisti vedestä nitraattityppeä ja rautaa. Myös alkuhuutoumia bioreaktorin materiaaleista todettiin tapahtuvan, ja siihenkin on seurannan ohella syytä paneutua jatkossa.

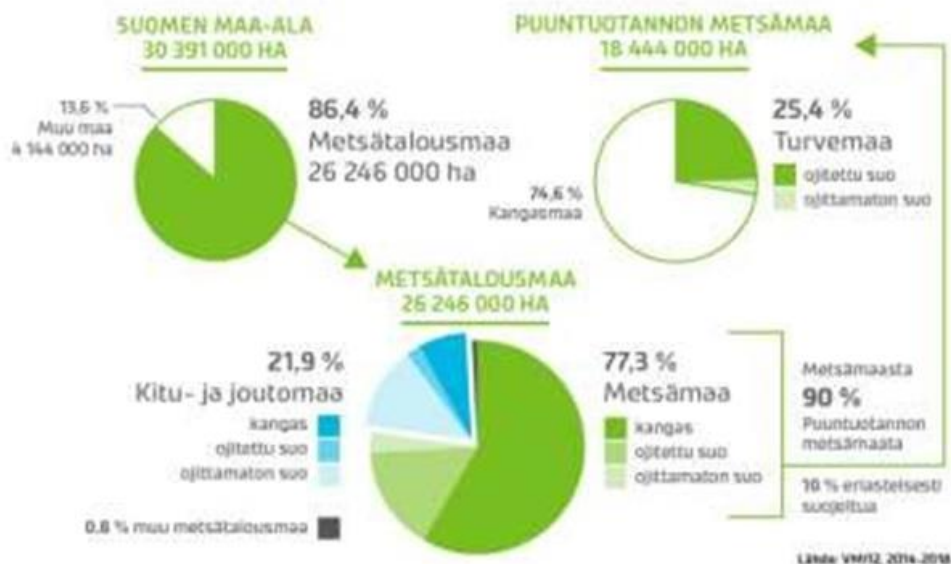
1. Hankkeen lähtökohta ja tavoitteet

Hankkeen lähtökohtana oli vuoden 2020 lopussa julkaistut tutkimustulokset (Finér et al. 2020), joiden mukaan metsäojitusten ravinne- ja humuskuormituksen on todettu jatkuvan huomattavasti pidempään kuin aiemmin on oletettu. Tutkimusten mukaan suometsien ravinne-, humus- ja kiintoainepäästöt vesistöihin ovat yhtä suuret kuin maatalouden päästöt. Suomen kokonaiskuormituksesta on uuden arvion mukaan metsistä ja soilta tulevan typen osuus 16 % (7 300 tonnia/v), fosforin 25 % (440 tonnia/v) ja orgaanisen hiilen osuus 78 000 tonnia/v. Kun Suomen puuntuotantoon käytettävästä metsämaasta noin neljännes on suometsiä, on näiden turvepohjaisten maiden kuormitus vesistöillemme huolestuttavan korkealla tasolla (kuva 1).

”Tutkijoiden mukaan typen ja orgaanisen hiilen kuormituksen hallintaan tulisi kehittää uusia menetelmiä erityisesti turvemaille”

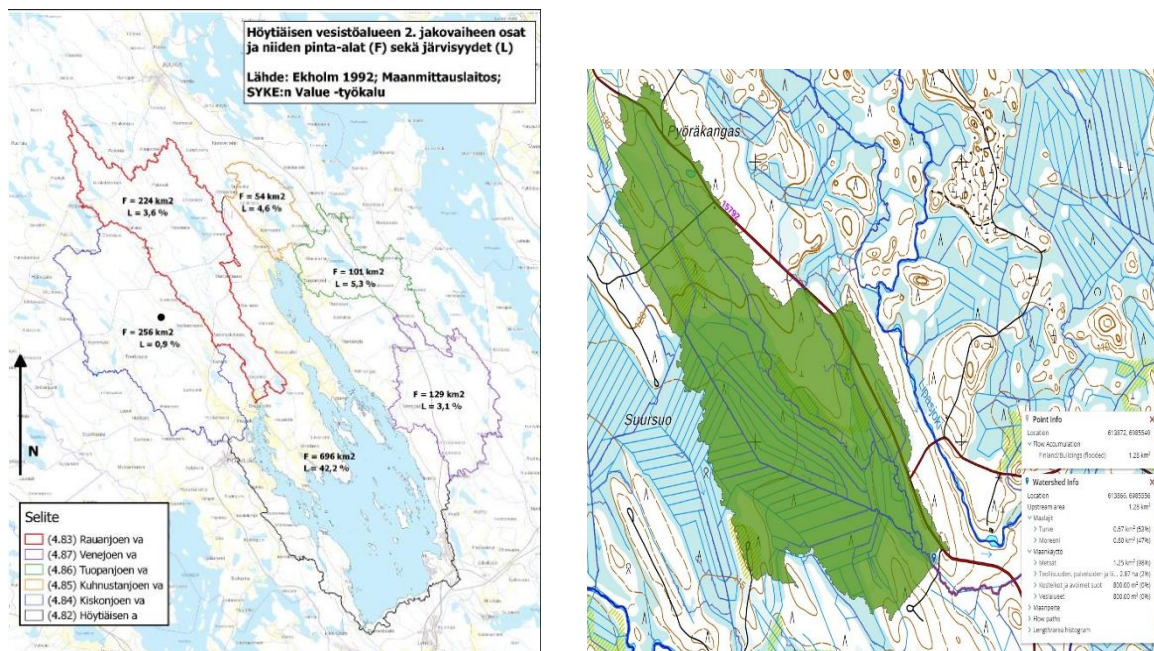
- Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020/ Valtioneuvoston julkaisu -

Noin neljännes Suomen puuntuotannon metsämaasta on suometsiä



Kuva 1. Suometsien pinta-ala ja merkitys Suomen puuntuotannossa.

Suometsien valumavesien käsittely ja ravinteiden kierrätys puuhakebioreaktorilla-, jatkossa SuVaKi -hankkeen tavoite oli kehittää ja testata puuhakepohjaista bioreaktoria suometsien valumavesien typen poistoon ja myöhemmin, mahdollisissa jatkotutkimuksissa, myös arvioida sen mahdollisuuksia ravinteiden ja humuksen kierrätykseen. Denitrifioivia puuhakebioreaktoreita on käytetty ja tutkittu aiemmin eri yhteyksissä. Suomessakin testauksia on tehty menestyksellisesti mm. kalanviljelylaitosten ja kaivosvesien yhteydessä sekä luotu mitoitus- ja suunnittelutyökalua bioreaktoreiden suunnitteluun. Menetelmää ei sen sijaan ole kohdennettu eikä testattu yhteen Suomen suurimmista vesistökuormituksen lähteistä, turvepohjaisten talousmetsien valumavesikuormituksen pienentämiseen. Myöskään puuhakepohjaisen vesiensuojelurakenteen mahdollisuuksia poistaa ja kierrättää ravinteita syntypaikallaan ei ole selvitetty riittävän monipuolisesti.



Kuva 2a Höytiäisen valuma-alue ja kuva 2b koebioreaktorin sijainti ja valuma-alue Polvijärvellä, Pohjois-Karjalassa.

SuVaKi -hankkeessa oli tarkoitus soveltaa aiempaa puuhakebioreaktoreista kertynyttä tietoa suometsien valumavesien käsittelyyn ja kehittää sen pohjalta ratkaisukonsepti mitoituksineen, jatkossa myös metsätalouden ravinteiden kierrätykseen syntypaikallaan. Hankkeessa tutkittiin Vuoksen vesistöalueella Höytiäiseen laskevan Rauanjoen valuma-alueen vedenlaatua ja osavaluma-alueiden kuormituksia. Lisäksi tutkittiin maantieteellisesti viereisen ja kooltaan vastaavan Kiskonjoen muutaman osavaluma-alueen kuormituksia. Näiden tietojen perusteella valittiin bioreaktoreiden koerakenteelle sopivin alue, joka löytyi Kiskonjoen valuma-alueelta.

Denitrifioivissa bioreaktoreissa puuhake, tai muu materiaali, kuten biohiili, toimii hiilen lähteenä denitrifioiville heterotrofisille mikrobeille, jotka hapettavat nitraattityyppiä typpikaasuksi. Metsätalousvesissä keskimäärin nitraattityyppinä on noin 20 % kokonaistyyppinä (Vuollekoski & Joensuu 2006) eli erityisesti tätä osuutta voidaan poistaa puuhakebioreaktoreissa. Nitraattityypin osuutta, jos typpi on ammoniumtyyppimuodossa, voidaan myös parantaa erilaisilla teknisillä ratkaisuilla, joista on saatu laboratoriomittakaavan testaustuloksia osana Oulun yliopistossa tehtyjä jatko-opintotutkimuksia. Typen lisäksi metsätalouden vesissä on runsaasti humusta, jonka poistamiseen puuhakebioreaktoria testataan ja kiintoaineen mukana reaktoriin voi myös pidättyä ravinteita. Koska valuma-alueelta tehtyjen vedenlaatututkimusten perusteella huomattiin, että näissä turvemetsätalousvesissä oli kirjallisuusarviota selvästi vähemmän tyyppiä epäorgaanisessa muodossa ja käytännössä miltei kaikki orgaanisessa muodossa, hankkeen yhdeksi tehtäväksi otettiin selvittää, miten orgaanista tyyppiä saataisiin muutettua epäorgaaniseen muotoon.

Tavoitteena oli seurata puuhakepohjaisten koebioreaktoreiden (2 kpl) toimintaa ja puhdistustehokkuutta näytteenottoilla. Saatujen tulosten perusteella oli tarkoitus laskea menetelmän kustannustehokkuutta ja vaikuttavuutta Rauanjoen valuma-alueella, mutta myös ratkaisuna suometsien ravinnekuormituksen torjuntaan osana talousmetsien hakkuukiertoa. Tavoitteena oli myös kehittää menetelmästä metsätalouden hakkuukiertoon sovitettu passiivinen ja huoltovapaa

vesienkäsittelymenetelmä ja tuottaa konseptiratkaisun mukaiset tyyppikuvat ja mitoituslaskurit osaksi tulevia metsätalouden vesiensuojelukäytäntöjä.

2. Projektin toteutus

Hanke toteutettiin seitsemänä (7) työpakettina:

Työpaketti 1. Suometsien vedenlaatu ja haasteet vesienkäsittelylle

Työpaketti 2. Valuma-alueen vedenlaatututkimukset

Työpaketti 3. Puuhakebioreaktorirakenteiden suunnittelu ja mitoitus

Työpaketti 4. Koebioreaktoreiden rakentaminen ja seuranta sekä tulosten tarkastelu

Työpaketti 5. Menetelmän kustannustehokkuuden, vaikuttavuuden ja monistettavuuden arviointi

Työpaketti 6. Viestintä ja raportointi

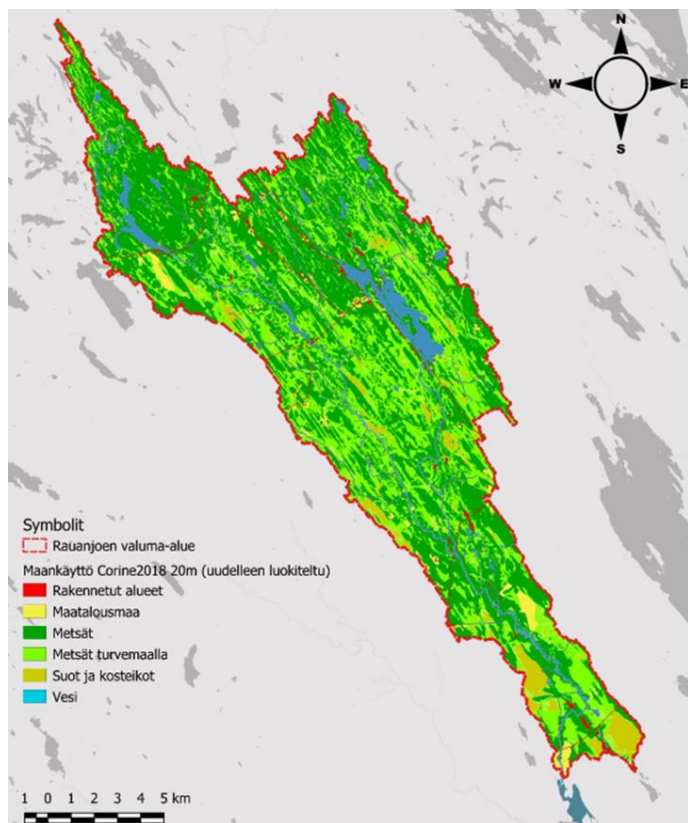
Työpaketti 7. Hankkeen koordinointi ja verkostoituminen

Näistä työpaketin 1 ja 2 tulokset on raportoitu kappaleessa 2.1. Työpaketti 3 laajeni alkuperäisestä, koska työpaketin 2 tutkimuksissa huomattiin projektin alkuvaiheessa, että tyypestä oli arvioitua enemmän, lähes kaikki, orgaanisessa muodossa. Tästä syystä tähän työpakettiin toteutettiin myös pilot-laitteisto kesällä 2021 sekä laboratoriossa orgaanisen typenpoistoon liittyviä tutkimuksia syksystä 2021 syksyyn 2022 asti. Selvyyden vuoksi työpakettien 3 ja 4 tiedot esitellään tässä raportissa kolmen pääotsikon alla: 2.2 Pilot-laitteiston tutkimukset, 2.3 Sienitutkimukset ja 2.4 Koebioreaktorit. Työpaketin 5 alkuperäisen suunnitelman toteuttaminen oli mahdotonta, koska lyhentyneen hankeajan puitteissa ehdittiin vasta aloittamaan seuranta. Tätä aihetta on kuitenkin hieman käyty läpi kappaleessa 2.5. Työpakettien 6 ja 7 asiat on esitelty luvussa 4. Yhteistyö ja sidosryhmätyöskentely ja luvussa 5. Viestintä ja tiedottaminen.

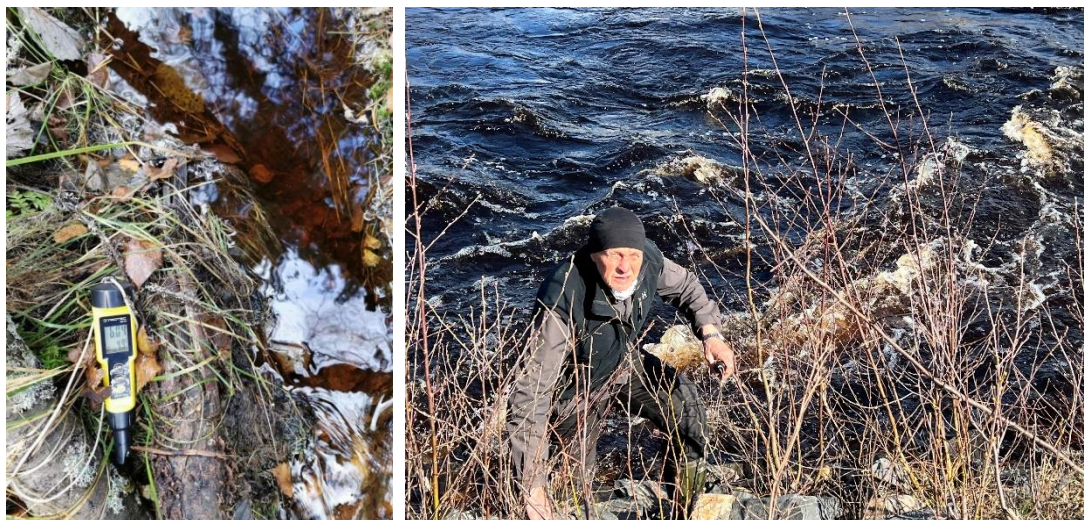
2.1 Valuma-alueen vedenlaatututkimukset

Hankkeessa selvitettiin Rauanjoen ravinnekuormituksia Höytiäiseen ja kartoitettiin suuremman kuormituksen osavaluma-alueita. Koko Rauanjoen ravinnekuormitukset selvitettiin VEMALA-työkalulla. Kokonaiskuormitusten ja valuma-alueiden maankäytön selvittäminen (kuva 3) auttoi kohdentamaan maastotutkimuksia suurempien kuormitusten läheisyyteen. Vedenlaadun ja kuormituksen muuttaminen kuormitusluvuiksi on tärkeää myös viestinnällisesti, sillä silloin eri osapuolet näkevät konkreettisesti, mistä kuormitusta tulee ja mille alueille on tärkeää tehdä toimenpiteitä.

Kartta- ja paikkatietoaineiston perusteella osa-valuma-alueiden vedenlaadun tarkastuksia tehtiin talkootyönä Pro Höytiäisen Wirtavesitiimin toimesta. Osavaluma-alueiden valuma-alue- ja maankäyttötiedot otettiin Scalgo-ohjelmistosta. Kenttämittauksena käytettiin silmämääräistä veden sameutta sekä pH-mittaria (kuva 4). Tarkastuskäyntien perusteella merkittävimmistä kuormittajista ja sivupuroista otettiin vesinäytteet sivupurojen vedenlaadun todentamiseksi (taulukko 1). Kenttähavaintojen perusteella tehtiin maastokatselmuksia ja etsittiin sopivia rakennuspaikkoja bioreaktorille.



Kuva 3. Rauanjoen valuma-alue ja maankäyttö (Jolkkonen & Heiskanen, 2020)



Kuvat 4a ja b. Vedenlaadun kenttätutkimuksia Rauanjoelta ja sen sivupuroista tehtiin mm. pH-mittarilla (Kuva 4a Seppo Hirvonen). Vedenlaatumittauksia korkean veden aikaan keväällä 2022, kuvassa Wirtavesitiimin Seppo Hirvonen (Kuva 4b Kirsi Karhio)

Taulukko 1. Valuma-alue tutkimusten vesinäytteiden tulokset ja niistä lasketut keskiarvot

Parametri	Yksikkö	Hartuskosken suo-oja	Suuri Vehkasuon puro	Suuri Vehkas..	Suuri Vehka..	Saarilammen puro	Saarilammen puro	Saarilammen puro, latva	Valkealammen puro	Heinälammin puro	Keskiarvot kohteista
Näytteenpäämäärä		2021-06-13	2021-06-13	2021-07-30	2021-09-21	2021-08-16	2022-07-29	17.8.2022	2021-08-16	2021-08-16	
kokonaistyyppi, N	µg/L	350	1500	1100	660	450	490	500	1500	670	802
nitraattityppi, NO3-N	µg/L	<4	5	7	7	4	5	3	30	<4	9
nitriittityppi, NO2-N	µg/L	<2	3	5	5	3	3	5	<2	3	4
kokonaisfosfori	µg/L	15	42	27	10	12	20	19	120	16	31
pH-arvo		6,52	5,33			6,2	6,4	5,4	4,7	6,4	6
sameus	ZFn (NTU)	6,34	11			12	2,12	2,12			7
ammoniumtyppi, NH4-N	µg/L	<4	44	74	54	24	40	3	13	<4	36
fosfaattifosfori, PO4-P	µg/L	2	3	4	<2	4	4	2	9	4	4
kiintoaine	mg/L	11,3	40,4								26
COD-Mn	mg/L	9,35	61,3								35
permanganaattiluku (KMnO4-luku)	mg/L	36,9	242								139
alkaliniteetti pH 4.5	mmol/L	<0.150	<0.150								
Fe	µg/L	59,8	4580				2260	2260			2290
Kiintoaine	mg/L					5,8	5,5	12	59	4,5	17
Kok.orgaaninen hiili, TOC	mg/l							21			21
Liukoinen org. hiili, DOC	mg/l							17			17

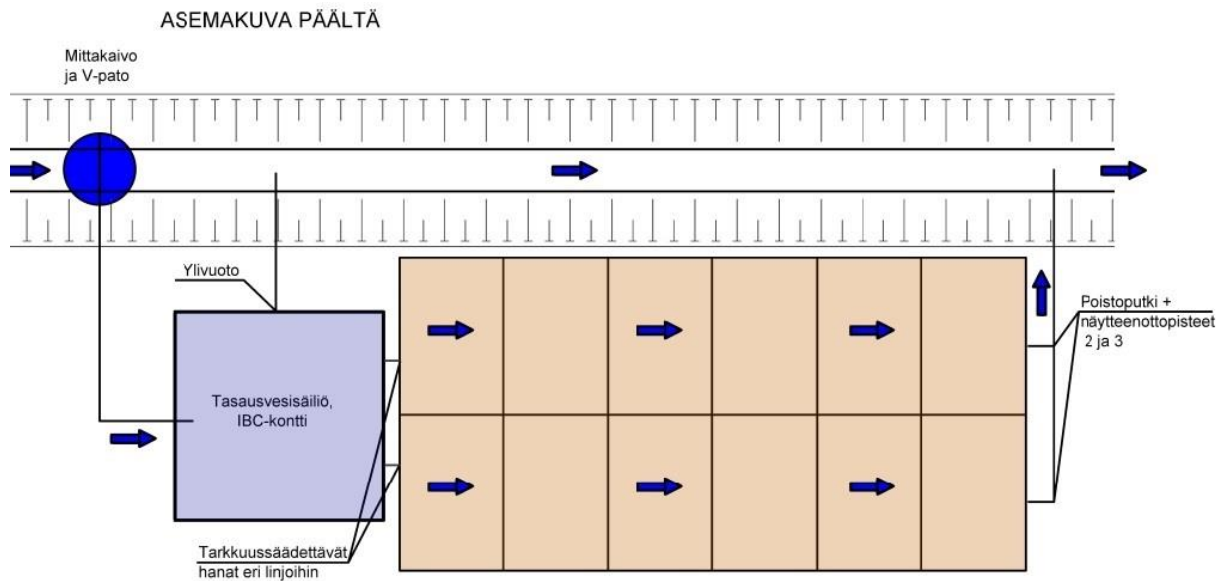
Vesinäytteiden perusteella Rauanjoella tyyppipitoisuudet olivat paikoin korkealla, mutta tyyppipääsääntöisesti orgaanisessa muodossa. Nitriitti, nitraatti ja ammoniumpitoisuudet, joihin bioreaktorin tiedetään olevan tehokas menetelmä, olivat varsin pieniä. Rauanjoen rautapitoisuudet ovat nimensä mukaisesti huomattavan korkeat.

Rauanjoen kokonaisravinnekuormitukset ja niiden tulevaisuuden muutokset eri ilmastonmuutoksen skenaarioissa selvitettiin VEMALA-mallilla. Hankkeen alkuperäisenä tavoitteena oli päästä arvioimaan bioreaktorilla saavutettavia vaikutuksia kokonaiskuormitukseen, jos menetelmä saataisiin laajalaiseen käyttöön. Bioreaktorin pitkäaikaisten puhdistustulosten puuttuessa valuma-alueen vaikuttavuusarvioita ei päästy tekemään.

2.2 Pilot-laitteiston tutkimukset

Valuma-alue tarkasteluiden ja vedenlaatu havaintojen perusteella lähdettiin etsimään sopivaa paikkaa pilot-tutkimuksille. Pilot-tutkimusten tarkoituksena oli tuottaa lisätietoa varsinaisen tutkimusrakenteen suunnitteluun, mitoittamiseen ja rakenteisiin. Vesinäytteiden perusteella havaittiin, että Rauanjoen valuma-alueella oli nitraattimuodossa olevan typen osuus kirjallisuuden perusteella arvioitua pienempi, joten puhdistustavoitteiden saavuttamiseksi haluttiin testata denitrifikaation perustuvan bioreaktoriin integroitavia muita typenpoistomenetelmiä. Pilot-laitteistolla tavoiteltiin lähtövedessä olevan nitraatti, nitriitti ja ammonium-muodossa olevan typen poistamista. Lisäksi haluttiin testata mahdollisia humuspitoisten ja virtaamaltaan voimakkaasti vaihtelevien vesien käsittelyn pullonkauloja ja mahdollisia häiriötekijöitä.

Pilot-laitteistolle löydettiin sopiva jatkuvan virtaaman ja suuren ravinnekuormituksen kohde Rauanjoen yläjuoksulta. Syrjäisen sijainnin takia järjestelmästä jouduttiin tekemään off-grid- eli verkkovirran ulkopuolella aurinkopaneeleilla toimiva ratkaisu. Pilot-laitteistosta tehtiin 2-linjainen, maanpäällinen ja väliaikainen ratkaisu (kuva 5). Pilot-laitteiston linjastoissa oli lehtipuuhaketta ja lisäksi 20 % lehtipuubihiiltä. Tavoitteena oli testata eri viipymien vaikutusta puhdistustuloksiin. Pilot-laitteisto rakennettiin heinäkuussa 2021 ja sen toimintaa tutkittiin ja säädettiin lokakuuhun 2021 asti.



Kuva 5. Bioreaktorin pilot-laitteiston suunnitelma.

Lopullinen ratkaisu (kuva 6) koostui 200 litran ylävesisäiliöstä ja kuudesta peräkkäisestä 90 litran muovilaatikosta, joiden välillä oli d50mm putkiyhde vuorotellen ylhäällä ja alhaalla. Yhden linjaston tilavuus oli siten 540 litraa. Ylävesisäiliöön tulovesi otettiin ajastimella kytketyllä uppopumpulla, jota käytettiin aurinkopaneelilla ja akulla.



Kuva 6. Bioreaktorin pilot-laitteiston tutkimuskäytössä (Kuva: Juha-Pekka Saarelainen)

Pilot-tutkimuksien tuloksien edustavuutta häiritsivät virtauksensäätörakenteiden tukkeutumishäiriöt ja siten epäjatkuvat virtaamat. Lukuista säädöistä huolimatta, jatkuva virtaama oli laitteistoilla säilynyt vain kaksi kertaa, jolloin otettiin taulukon 2 mukaiset vesinäytteet. Tuloksista näkyy selkeimmin

puuhakemateriaaliin liittyvä alkuhuuhtouma. Vesinäytteiden ottamisen aikaan virtaama ei ollut tavoitteellisen kahden vuorokauden (2 vrk) viipymän mukainen. Virtaamaongelmien takia pilot-laitteistolla ei saatu tutkittua viipymän vaikutusta puhdistustuloksiin.

Pilot-laitteisto kuitenkin tarjosi arvokasta kokemusta passiivisten ja toimintavarmojen ratkaisujen kehittämiseksi. Tärkein havainto oli, että humuspitoisten luonnonvesien virtauksensäätörakenteet ovat todella herkkiä tukkeutumaan. Lisäksi humus ja roskat aiheuttavat virtauksensäätörakenteissa virtaamamuutoksia, joiden hallintaan panostettiin täydenmittakaavan koereaktoreiden suunnittelussa.

Taulukko 2. Pilot-laitteistosta otetut vesinäytteiden tulokset.

Parametri	Yksikkö	YLÄVESISÄILIÖ	PILOT-LAITTEISTO	YLÄVESISÄILIÖ	PILOT-LAITTEISTO
Päivämäärä		2021-08-16	2021-08-16	2021-09-21	2021-09-21
kiintoaine	mg/L	11	15		
pH		5,1	5,6	4,7	4,9
kokonaistyyppi, N	µg/L	700	1300	660	2100
nitraattityppi, NO ₃ -N	µg/L	<4	<4		
nitriittityppi, NO ₂ -N	µg/L	4	<2		
kokonaisfosfori	µg/L	11	490	10	2900
ammoniumtyppi, NH ₄ -N	µg/L	12	<4	54	<4
fosfaattifosfori, PO ₄ -P	µg/L	3	310	<2	2500

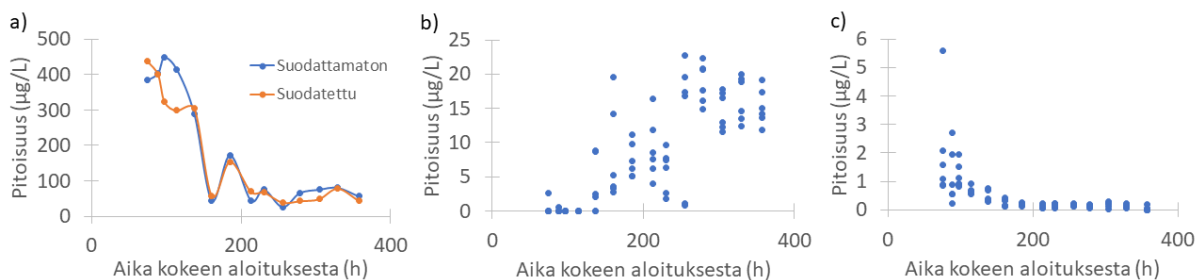
2.3 Sienitutkimukset

Koska kesän 2021 valuma-alueelta tehtyjen vedenlaatutarkastelujen perusteella typpi oli hyvin pitkälti, ja ennakoitua enemmän, orgaanisessa muodossa, oli tarpeen selvittää, miten orgaanista tyyppiä voitaisiin muuttaa epäorgaaniseen muotoon ja/tai poistaa. Orgaanisen tyyppien hajotusta ammoniumtyypeksi voivat tehdä hajottajat, kuten bakteerit ja sienet. Tästä syystä laboratorioolosuhteissa testattiin sahanpuru-sienimateriaalin toimivuutta veden käsittelyssä. Laboratoriokokeet tehtiin kolmessa vaiheessa. Tätä asiaa ei ollut alkuperäisessä hankesuunnitelmassa, mutta koska siitä ei löytynyt kirjallisuudesta tietoa, ja orgaanisen tyyppien kuormitus on niin voimakkaasti turvemetsätalouteen (ja myös turvemaatalouteen liittyvä aihe), niin sitä nähtiin tarpeelliseksi tutkia.

Koska hankesuunnitelmassa ei ollut näihin analyysiin erikseen varattuna rahaa, niin pääasiassa nitraattityppi ja ammoniumtyppianalyysit päätettiin tehdä itse laboratoriossa kittimenetelmällä, jolloin useampia analyysijä voidaan tehdä kohtuuhintaan. Kaikki nämä laboratoriomääritykset tehtiin YSI 9500 -fotometrillä. Ammoniaki tehtiin käyttämällä kittiä (YPM166), jolla voidaan analysoida 0–1,0 mg/l (N)- pitoisuuksia, mutta laimentamalla jopa 10 mg/l (N) pitoisuuksia. Nitraatti määritettiin käyttämällä kittiä (YPM163), jolla voidaan analysoida 0–1.0 mg/l (N)-pitoisuuksia, mutta laimentamalla määrittämisväliä voidaan vielä kasvattaa. Nitriitti määritettiin käyttämällä kittiä (TPM109), jolla voidaan analysoida 0–0,5 mg/l (N) -pitoisuuksia, mutta laimentamalla määrittämisväliä voidaan sitäkin vielä kasvattaa. Lisäksi muutamasta näytteestä tehtiin kyseiset analyysit myös Eurofinsin laboratoriossa. Kokonaistyyppien osalta ei loppujen lopuksi löydetty Euroopasta kittimenetelmää, jolla voitaisiin analysoida niin pieniä kokonaistyyppien pitoisuuksia kuin mitä turvevaltaiselta metsätalousalueelta oli odotettavissa. Tästä syystä osa näytteistä lähetettiin Oulun yliopiston Oulangan tutkimuskeskuksen typpianalysointilaitteille (Autoanalyzer 500, määrittämisrajat 50,4 µg/l - 1512,0 µg/l) analysoitavaksi keuhällä 2022. Lisäksi osasta näytteistä tehtiin kokonaistyyppianalyysit Eurofinsin laboratoriossa.

1. Vaihe

Syksyllä 2021 tehtiin testausten ensimmäinen vaihe, jossa huoneenlämpötilassa johdettiin 15 vrk ajan Rauanjoen valuma-alueelta kerättyä vettä lakkakääpä (*Ganoderma Lucidum*) -sahanpuruyksikköön. Yksikön koko oli 10 l (17x12x50cm) ja vesi virtasi siinä pumppauksen avulla horisontaalisesti. Veden viipymä oli asetettu noin 3 vrk ja testit tehtiin huoneenlämpötilassa (21°C). Koska tämän lyhyen testijakson tulokset vaikuttivat lupaavilta (kuva 7), päätettiin joulukuussa 2021 jatkaa vaiheen 2 pidempikestoisilla testauksilla.



Kuva 7. Lakkakääpä (*Ganoderma Lucidum*) -sahanpuruyksikön lähtevän veden laadun vaihtelu a) orgaaninen tyyppi, b) ammoniumtyyppi ja c) nitraattityyppi.

2. Vaihe

Joulukuussa 2021 käynnistettiin testauksen seuraava vaihe. Siinä aseteettiin sahanpurua, johon oli ympätty lakkakääpä (*Ganoderma Lucidum*) tai osterivinokasta (*Pleurotus Ostreatus*) rinnakkaisiin testauksiin. Kuudessa pilottilaatikossa oli lakkakääpä-sahanpurua, ja näistä kolme peitettiin muovilla ja kolme jätettiin avonaiseksi (kuva 8). Kolmessa pilottilaatikossa oli osterivinokas -sahanpurua, ja ne olivat kaikki avonaisia. Suorakaiteen muotoisten HDPE:stä valmistettujen laatikoiden mitat olivat 58,5 cm (pituus) x 12,5 cm (leveys) x 4,7 cm (syvyys). Jokaisen yksikön sisään, 7 cm loppupäästä, asetettiin 0,5 cm paksu muovirakenne, johon kiinnitettiin metalliverkko (huokoskoko = 2 mm). Tämän tavoitteena oli, että loppupäähän saatiin pelkästään vesitila, johon esimerkiksi sähköjohtavuusanturit voidaan asettaa merkkiainekokeen ajaksi. Tämän verkon läpi vesi pääsee virtaamaan, mutta sahanpuru-sienimateriaali ei pääse liikkumaan. Lisäksi loppusyksystä 2022 käynnistettiin testi, jossa on vain puumateriaalia, ja läpi johdetaan vettä, jotta voidaan nähdä, mitä materiaalista liukenee. Tämän testin tulokset eivät kuitenkaan ehtineet vielä tähän loppuraporttiin, mutta ne on suunnitelmassa julkaista tutkimuksista tehtävässä kansainvälisessä tieteellisessä artikkelissa.



Kuva 8. Vaiheen 2 lakkakääpä+sahanpuruyksiköt testauksessa (Kuva: Matthew Hopkins)

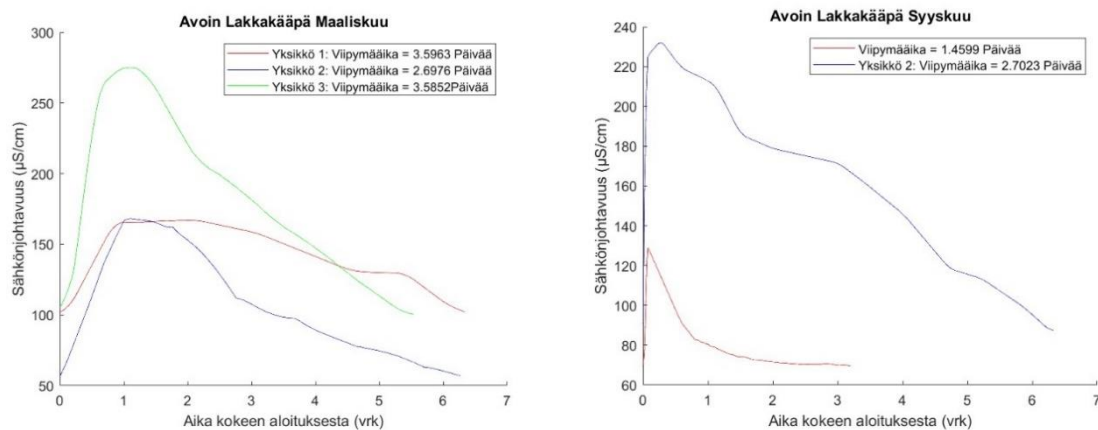
Laboratoriokokeissa käytettiin Oulun läheltä (Saarisenoja (65.082692, 25.737643)) turvemetsätalousalueelta kerättyä vettä. Tämän pisteen vedenlaatu kokonaistypen suhteen oli samankaltainen, kuin Ruanjoen valuma-alueella, toki tyypestä epäorgaanisessa muodossa oli jonkin verran suurempi osuus ja fosforia ja rautaa oli myös enemmän (taulukko 3). Vettä lisättiin sienihakemateriaalin pinnalle alkupäähän peristalttisen pumpun avulla niin, että ensimmäisen viikon ajan testin alussa pumppausmäärä oli noin 2,0 l/vrk, jolloin viipymä oli laskennallisesti noin yksi vrk. Tämän jälkeen pumppausnopeutta laskettiin (noin 1,0 l/vrk), jotta viipymäksi saadaan noin kaksi vrk. Poistoputken avulla vedenpinta pidettiin yksikössä halutulla tasolla. Laboratoriokokeessa haluttiin tavoitella mahdollisimman luonnontilaisen kaltaisia olosuhteita, joten kokeet aloitettiin 5°C asteen lämpötilassa, ja 135 vrk kuluttua siirryttiin 12°C lämpötilaan. Kokeen loppuvaiheessa (lakkakäävällä noin 270 vrk aloituksesta ja osterivinokkaalla noin 280 vrk), siirryttiin vielä kolmen vrk:n viipymään.

Taulukko 3. Suursuolta tulevan vedenlaadun ja Saarisenojan vedenlaadun tulokset.

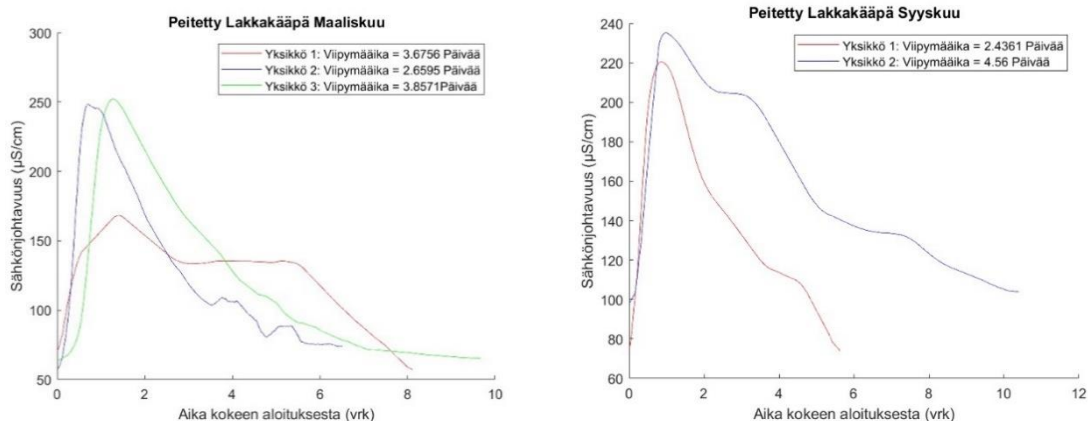
Parametri	yksikkö	Vedenlaatu-mittaukset Suvaki Suursuo		Saarisenojan vedenlaatupisteen vedenlaadun vaihtelu 2017-2018				
		Keskiarvo	n	Keskiarvo	Keskiahajonta	max.	min.	n
kokonaistyyppi, N	µg/L	955,0	4	858,3	219,2	1300	600	12
nitraattityppi, NO ₃ -N	µg/L	147,0	4	187,5	72,9	320	100	12
ammoniumtyppi, NH ₄ -N	µg/L	53,9	4	131,4	76,2	250	27	12
kokonaisfosfori	µg/L	21,0	4	56,9	9,4	79	46	12
fosfaattifosfori, PO ₄ -P	µg/L	3,3	4	43,0	10,0	61	25	12
pH-arvo		6,1	1	5,5	0,5	7,5	5,99	10
kiintoaine	mg/L	4,5	4	15,3	4,8	28	12	10
TOC	mg/L	36,5	4	14,3	3,1	20,3	9,8	12
DOC	mg/L	34,3	4	13,0	3,2	18,4	7,4	12
Fe Liuko	mg/L		na	1,5	0,4	2,28	0,86	12
Fe Total	mg/L	2,4	4	5,3	1,1	7,19	3,36	12

Pilottiyksiköihin toteutettiin merkkiainekokeet veden viipymän selvittämiseksi natriumkloridilla (NaCl) maaliskuussa ja syyskuussa 2022. Merkkiainekokeita varten liuotettiin 0,309 g/ 200 ml:aan deionisoitua vettä, ja tämä pumpattiin aina yhteen yksikköön. Pumpaus tehtiin vaihtamalla vesilähde tulovedestä suolaliuokseen noin neljän tunnin ajaksi (vaihteli pumpun nopeuksien erojen mukaan). Sähkönjohtavuuden ja suolapitoisuuden välille oli määritetty kalibrointikäyrä. Sähkönjohtavuusloggeri (HOBO) asetettiin mittaamaan pilottiyksiköistä lähtevän veden laatua. Keskimääräinen viipymä laskettiin (Postila et al. 2015) mukaisesti.

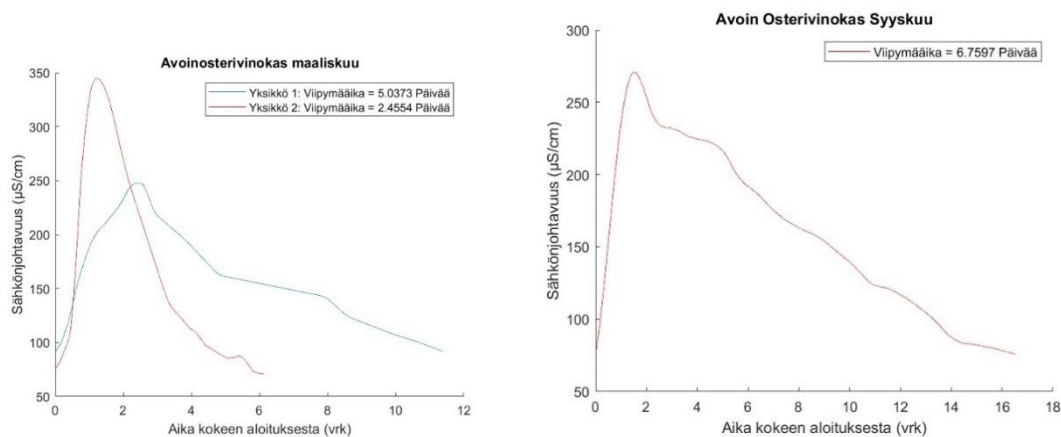
Toteutettujen NaCl-merkkiainekoemääritysten perusteella maaliskuussa, jolloin vesi oli virrannut noin kolme kuukautta (3 kk) pilottirakenteen läpi, veden keskimääräiset viipymäajat vaihtelivat 2,5–3,9 vrk välillä (kuvat 9–11). Tämä kertonee siitä, että sienen kasvu oli jo hidastanut jonkun verran veden virtausta tavoitellusta lähtötilanteen noin kahdesta vrk:sta. Osasta yksiköistä ei ole tuloksia sähkönjohtavuusanturin ongelmien vuoksi. Syyskuussa, noin yhdeksän kuukautta (9kk) kokeen aloituksen jälkeen, keskimääräinen veden viipymäaika vaihteli 1,5–6,8 vrk välissä, eli sienen lisäkasvu on osassa lisännyt maaliskuun tilanteeseen verrattuna veden viipymää. Avoimen ja peitetyn lakkakäävän yksikössä 1 keskimääräinen viipymäaika oli selvästi lyhentynyt syyskuussa (kuvat 9–10). Avoimen lakkakäävän yksikössä 2 keskimääräinen viipymäaika on pysynyt suurin piirtein samana, kuin se oli maaliskuussakin (kuva 9) ja peitetyn lakkakäävän yksikössä lähes tuplaantunut (kuva 10). Osterivonokkaan yksikön 2 testauksessa keskimääräinen viipymäaika oli selvästi kasvanut syyskuussa maaliskuun tilanteeseen verrattuna (kuva 11).



Kuva 9. Veden virtaus ja viipymäaika yksiköissä, joissa lakkakääpä-sahanpurumateriaali oli avoimena. Tulokset maaliskuun 2022 mittauksista yksiköistä 1–3 (vasen kuva) ja syyskuun 2022 mittauksista yksiköistä 1–2 (oikea kuva).

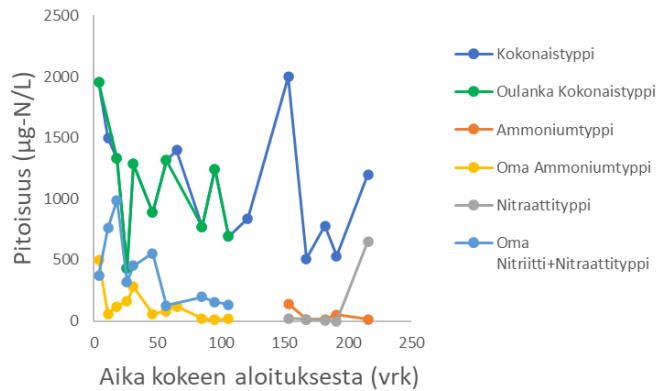


Kuva 10. Veden virtaus- ja viipymäaika yksiköissä, joissa lakkakäpä-sahanpurumateriaali oli peitetty. Tulokset maaliskuun 2022 mittauksista (vasen kuva) ja syyskuun 2022 mittauksista (oikea kuva).

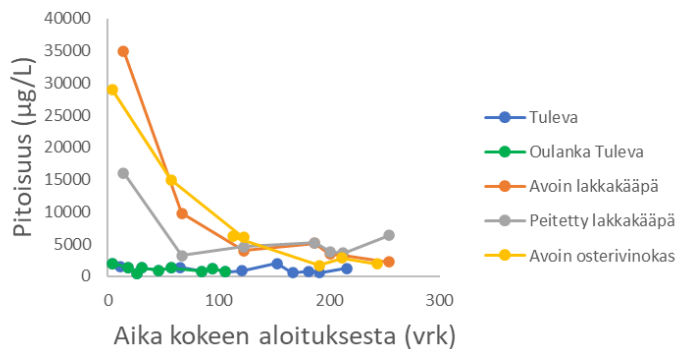


Kuva 11. Veden virtaus- ja viipymäaika yksiköissä, joissa oli osterivinokasta ja sahanpurua. Tulokset maaliskuun 2022 mittauksista yksiköistä 1 ja 2 (vasen kuva) ja syyskuun 2022 mittauksista yksiköstä 2 (oikea kuva).

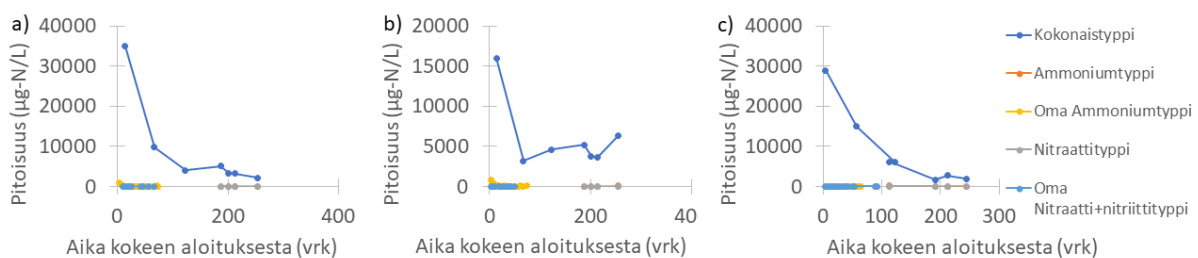
Mittausten perusteella tulevan veden kokonaistyyppipitoisuudet vaihtelivat noin 500–2000 $\mu\text{g/l}$ välillä (kuva 12). Varsinkin alkuvaiheissa pilottirakenteista lähti selvästi huuhtoutumaan tyyppiä, mutta myös testausten loppuvaiheessa tulevan tyyppien pitoisuudet ovat pääasiassa hieman pienempiä kuin pilottirakenteista lähtevän tyyppien pitoisuudet (kuva 13). Pilottirakenteista lähtevä vedessä epäorgaanisen tyyppien pitoisuudet jäivät edelleen hyvin pieniksi kokonaisuuteen verrattuna (kuva 14).



Kuva 12. Tulevan veden typpifraktioiden laadunvaihtelu. Kokonaistyyppi, ammoniumtyppi ja nitraattityppi arvot on analysoitu Eurofinsin laboratoriossa. Oulanka kokonaistyyppianalyysit on tehty Oulangan tutkimuskeskuksen laboratoriossa, ja Oma ammoniumtyppi ja Oma Nitriitti+Nitraattityppi Oulun yliopiston laboratoriossa omana työnä.



Kuva 13. Kokonaistyyppien pitoisuudet.



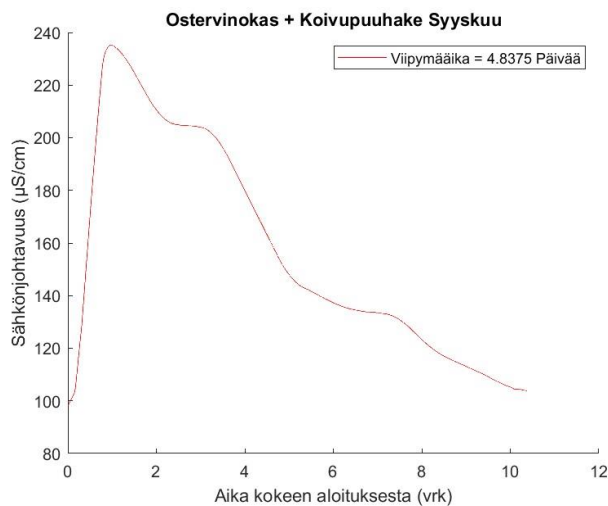
Kuva 14. a) Avoin lakkakääpä+sahanpuru, b) peitetty lakkakääpä+sahanpuru, c) osterivinokas+sahanpuru yksiköistä lähtevän veden laatu. Kokonaistyyppi, ammoniumtyppi ja nitraattityppi arvot on analysoitu Eurofinsin laboratoriossa. Oma ammoniumtyppi ja Oma Nitriitti+Nitraattityppi on analysoitu Oulun yliopiston laboratoriossa omana työnä.

3. Vaihe

Touko-kesäkuun vaihteessa 2022, kun kokonaistyyppien tulokset saatiin ensimmäistä kertaa nähtäväksi, todettiin että sahanpuru+sieniyksiköistä huuhtoutui voimakkaasti orgaanista tyyppiä. Tällöin mietittiin, että miten jatketaan. Sahanpuru arvioitiin niin pienen raekoon materiaaliksi, että sieni helposti hajottaa sitä kasvaessaan ja vapauttaa tyyppiä. Tästä syystä päädyttiin tekemään testaukset

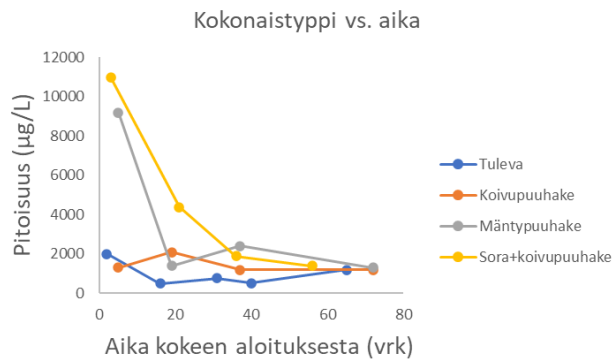
yksiköissä, joissa kaikissa osterivinokas-sahanpuruymppiä oli tilavuutena noin 1/6. Toisena materiaalina ensimmäisessä yksikössä oli koivupuuhaketta (5/6), toisessa yksikössä mäntypuuhaketta (5/6) ja kolmannessa koivupuuhaketta (2,5/6) ja soraa (2,5/6). Soramateriaali oli 16–20 mm killeliusketta. Testaukset, joissa oli pelkästään koivupuuhaketta, on aloitettu 11.6.2022 ja se pilottirakenne, jossa oli myös soraa, 27.6.2022. Kohtuullisen tuoreet puuhakkeet oli haettu juuri ennen kokeen aloitusta Oulun lähialueelta Neova-Groupilta tiedoksi saadusta paikasta. Testauksiin johdettiin samaa vettä kuin 2. vaiheen testauksiinkin, pitäen viipymäaika kahdessa vrk:ssa ja lämpötila 12 °C:ssa.

Merkkiainekoe toteutettiin 2. Vaiheen testauksissa kerrotulla tavalla myös osterivinokas-koivupuuhakkeelle syyskuussa 2022. Koska HOBOSÄHKÖNJOHTAVUUSANTUREITA oli vain rajatusti käytössä, merkkiainekoetta ei ehditty tehdä muille (osterivinokas-mäntypuuhake) yksikölle ennen niiden lähettämistä ulkopuoliseen laboratorioon analysoitavaksi. Osterivinokas-koivupuuhakeyksikön keskimääräinen veden viipymäaika oli noin 4,8 vrk noin kolmen kuukauden käyttöajan jälkeen (kuva 15).

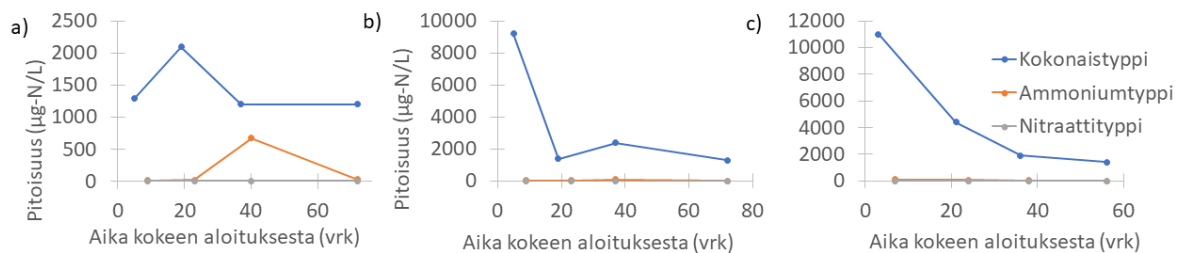


Kuva 15. Osterivinokas+koivupuuhakkeen veden keskimääräinen viipymäaika syyskuussa 2022 toteutetuissa testeissä.

Kun verrattiin tulevaa ja pilottiyksiköistä lähtevää kokonaistyyppiä, niin myös näissä esiintyi alussa osin merkittäviä huuhtoumia, mutta kohtuu pian (noin 2 kk) lähtevän veden pitoisuudet laskivat jo samalle tasolle kuin tulevatkin (kuva 16). Mahdollisesti tämän jälkeen oltaisiin voitu havaita pidättymistä, mutta koska materiaalit täytyi lähettää ulkopuoliseen laboratorioon analysoitavaksi, soramateriaalin testausta lukuunottamatta, että niistä ehdittäisiin saada hankkeen aikana tulokset, testit valitettavasti keskeytettiin. Suurin osa yksiköistä lähtevästä tyypestä oli orgaanisessa muodossa (kuva 17). Kun verrataan käyttämättömän koivupuuhakkeen ja mäntypuuhakkeen tuloksia kolme kuukautta käytössä olleisiin, kokonaistyyppien määrä ei ole muuttunut (liite 1). Sen sijaan esim alumiinin, raudan, rikin ja magnesiumin sekä koivupuuhakkeen kyseessä ollessa myös fosforin pitoisuudet ovat kasvaneet.



Kuva 16. Kokonaistyyppien pitoisuudet.



Kuva 17. a) Osterivinokas+koivupuuhake, b) osterivinokas+mäntypuuhake, c) osterivinokas+koivupuuhake+sora yksiköistä lähtevän veden laatu.

Sienitestausten yhteenveto

2. ja 3. vaiheen sienitesteissä ei saavutettu enää niin positiivisia tuloksia, kuin mitä 1. vaihe antoi olettaa. Kuitenkin kun 3. vaiheessa, jossa käytettiin puuhakkeita ja soraa, alkuhuuhtoumista oli päästy eroon, päästiin jo lähtevän kokonaistyyppien pitoisuuksissa samalle tasolle tulevan kanssa ja tästä eteenpäin olisi mahdollisesti päästy jo poistumiin, eli suunta vaikutti lupaavalta. On myös tärkeä tutkia, mitä puumateriaaleista itsestään huuhtoutuu, ja vaikka tutkimukset aloitettiin, niin niitä tuloksia ei ehditty saada vielä tähän raporttiin. Tuloksista on tarkoitus laatia tieteellinen artikkeli kansainväliseen lehteen.

2.4 Koebioreaktorit

2.4.1 Koebioreaktorien suunnittelu ja rakentaminen

Koebioreaktorin suunnittelussa lähdettiin tavoittelemaan painovoimaisesti toimivaa ja riittävän tyyppipitoisen valumaveden käsittelyä. Tutkimuksellisen edustavuuden takia koebioreaktori haluttiin tehdä vesieristettynä, jotta voitiin varmistua vedenlaadun muutosten johtuvan vain ja ainoastaan järjestelmästä eikä esimerkiksi pohjavedellä laimentumisesta. Jotta voitaisiin seurata myös kylmän veden aikaista ja talvenaikaista toimivuutta, tarvittiin rakennuskohteeksi jatkuvan virtaaman sivupuro.

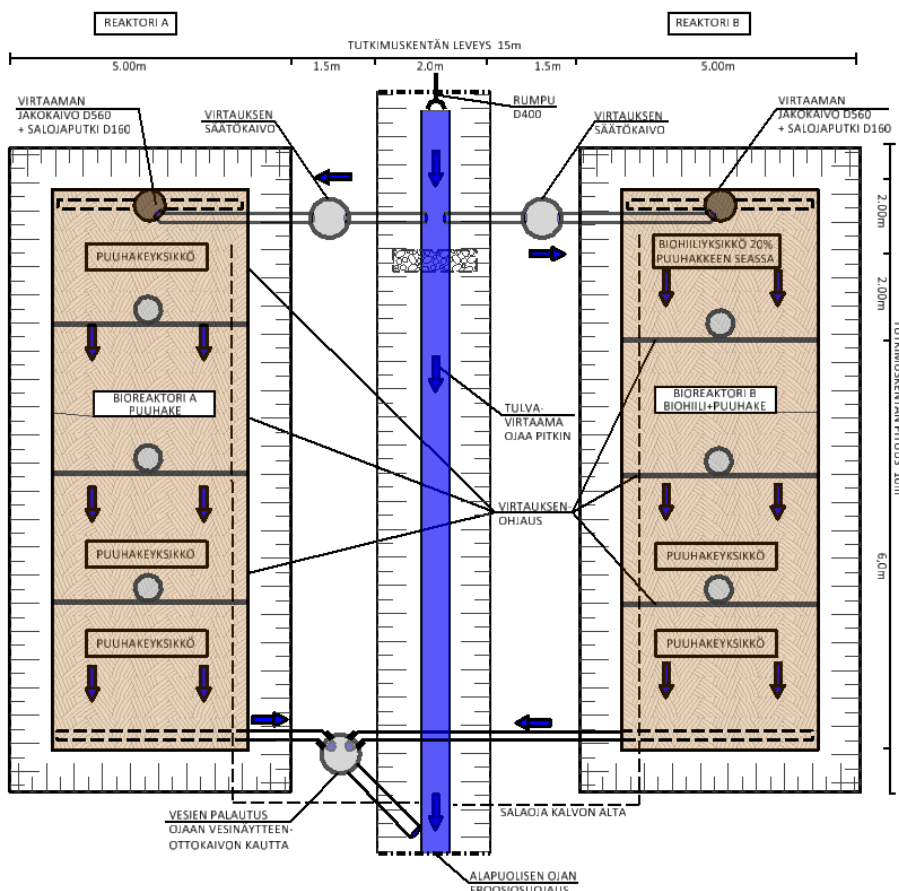
Pilot-tutkimusten perusteella täyden mittakaavan koerakenteisiin valittiin vertailtavaksi toiseen linjaan puuhakebioreaktori ("kustannustehokas") ja toiseen biohiili-puuhakebioreaktori ("tehostettu"). Biohiiltä käytettiin 20 % puuhakkeen tilavuudesta ja se asennettiin bioreaktorin etuosaan.

Koereaktoreiden rakentaminen aloitettiin kesäkuussa 2022. Ensimmäisen rakennuskohteen osoittauduttua rakennusolosuhteiltaan mahdolltomaksi, aloitettiin välittömästi uusien kohteiden kartoitus. Lopulta rakentamaan päästiin syyskuun alussa ja bioreaktoriin kytkettiin virtaamat syyskyyntä lopussa. Rakennuspaikan vaihduttua rakennustöiden ajan tehtiin lähtövedenlaadun mittauksia pitkäaikaisemman vedenkuvan saamiseksi.

Koebioreaktori (kuva 18) rakennettiin lopulta Kiskonjoen valuma-alueelle ojitetun Suursuon valuma-alueelle sopivien rakennusolosuhteiden ja vedenlaadun löydyttyä. Rakennetun koebioreaktorin tilavuus on 10,5x4,5x0,8 m ja puuhake+biohiili bioreaktorin tilavuus 10x4,5x0,8 m. Bioreaktoreita ennen valumaojaan tehtiin laskeutusallas. Lasketusaltaan jälkeen tulevaa metsätien rumpua käytettiin rakennusaikaisesti virtaamien väliaikaiseen katkaisuun. Rummun jälkeen tehtiin eroosiosuojattu ylivuotopato, jonka etupuolelle muodostuvasta vesiaiheesta ohjattiin virtaamat ojan molemmille puolille rakennettuihin bioreaktoreihin. Rummun ja ylivuotopadon korkoeroksi jätettiin 5 cm veden hapettamiseksi.

Bioreaktorin vesi ohjataan virtauksensäätökaivojen kautta. Virtauksensäätökaivoista voidaan jatkossa muuttaa bioreaktoriin kulkevaa virtaamaa eri viipymien ja sen mukaisten puhdistustulosten tutkimiseen. Virtauksenkaivoista vesi ohjataan d160 salaojaputkella bioreaktoriin. Bioreaktori on vesieristetty 0,5 mm LPDE-kalvolla. Kalvon molemmin puolin asennettiin suodatinkankaat suojaetekstiiliksi. Puuhakkeen sekaan tehtiin virtauksenohjauksrakenteet oikovirtaamien estämiseksi sekä kolme (3 kpl) näytteenotto- ja tarkkailukaivoa. Käsitellyt vedet kerätään puuhakkeesta D160 salaojaputkella ja johdetaan näytteenotto- ja tarkkailukaivon kautta takaisin eroosiosuojattuun avo-ojaan.

ASEMAPIIRUSTUS:



Kuva 18. Bioreaktorin suunnitelma

Liitteessä 2 on esitelty bioreaktoreiden rakennusvaiheita kuvasarjana.

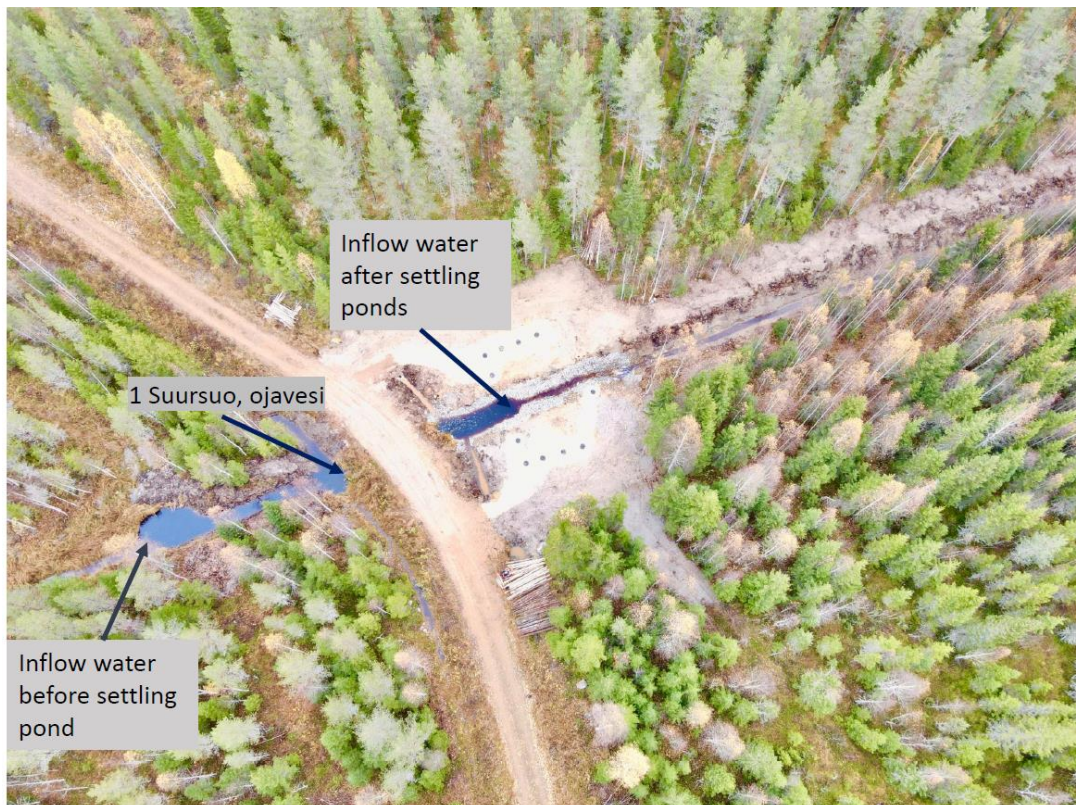
2.4.2 Koebioreaktoriin seuranta

Veden johtaminen bioreaktoreihin aloitettiin 27.9.2022. Tavoitteena bioreaktoreissa oli aikaansaada noin kahden vuorokauden viipymä, sillä sen on aiemmissa laboratoriokokeissa havaittu olevan optimaalinen nitraattitypen poistumalle. Bioreaktoreiden huokostilavuudeksi (puupalojen välissä oleva ilma ja vesitilavuus) on aiemmin laboratoriossa arvioitu noin 60–65 % (laskelmissa käytettiin 63 %). Tämä ja bioreaktoreiden tilavuus huomioiden laskennallinen 2 vrk viipymä saavutetaan, kun puuhakebioreaktorissa lähtevän veden virtaama on 0,14 l/s ja puuhake+biohiili bioreaktorissa 0,13 l/s. Lähtevän veden virtaamaa mitattiin manuaalisesti astiamittauksina, joissa astiaan annettiin tulla vettä ja mitattiin astian täyttööseen kuluva aika.

Veden viipymän selvittämiseksi ja tarkistamiseksi bioreaktoreissa toteutettiin kaksi merkkiainekoetta. Ensimmäinen käynnistettiin 29.9.2022 ja toinen 30.10.2022. Merkkiaineena käytettiin NaCl, jota oli liuotettu 2,5 kg noin 20 l vettä. Tämä syötettiin noin neljän minuutin aikana bioreaktoriin menevään putkeen. Jo ennen suolan syöttöä, oli kyseisen kohteen veden ja suolan avulla tehty kalibrointikäyrä. Sähkönjohtavuusloggerit (HOBO) asetettiin bioreaktoreista lähtevään veteen mittaamaan sähkönjohtavuuden vaihtelua jo ennen suolan syöttöä. Sähkönjohtavuuden muutoksen ja kalibrointikäyrän avulla voidaan määrittää veden keskimääräinen todellinen viipymäaika kyseisessä virtaamatilanteessa (Postila et al. 2015). Lisäksi sähkönjohtavuuden muutoskuvaajan avulla voidaan arvioida, onko bioreaktoreissa oikovirtauksia.

Virtaamaa säädettiin 8.10.2022 vedenpinnantason laskun avulla. Koska virtaamat vielä 8.10.2022 olivat puuhakebioreaktoripuolella liian isoja, vaihdettiin 16.10.2022 virtauksensäätökaivossa bioreaktorin tulovirtaaman säätökansi 8 mm reikäkokoon (aiemmin oli 12 mm reikä). Virtaamat tasaantuivat sen jälkeen liian pieneksi, jolloin 13.11.2022 vaihdettiin säätökansi 10 mm reikäkokoon.

Bioreaktoreihin tulevasta ja lähtevästä vedestä, sekä bioreaktorin keskellä olevista pisteistä (kuvat 19 ja 20) määritettiin akkreditoidussa laboratoriossa kokonaistyyppi (Kok. N) sekä suodatetusta, että suodattamattomasta näytteestä, ammoniumtyppi ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitraattityppi ($\text{NO}_3\text{-N}$), kokonaisfosfori (Kok. P), fosfaattifosfori ($\text{PO}_4\text{-P}$), orgaanisen kokonaishiilen määrä (TOC), liukoisen orgaanisen kokonaishiilen määrä (DOC), rauta (Fe), kiintoaine ja liuennut happi. Bioreaktoreihin laitetusta biohiilestä ja koivupuuhakkeesta määritettiin akkreditoidussa laboratoriossa myös niiden laatu alkutilanteessa (liite 1), jotta voidaan myöhemmin tarkastella käytettyjen materiaalien ominaisuuksien vaikutusta bioreaktorin vedenpuhdistukselliseen toimivuuteen.



Kuva 19. Bioreaktoreiden tulevan veden mittauspisteet (Kuva Jyrki Repo, merkinnät Heini Postila)



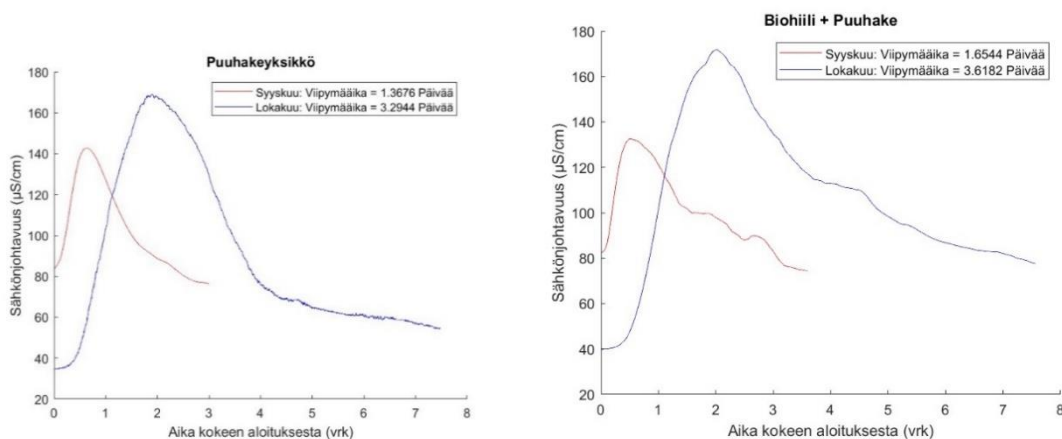
Kuva 20. Bioreaktoreiden ja niistä lähtevän veden mittauspisteet. BRwood= puuhakebioreaktori, ja BRwood+biochar = biohiili+puuhakebioreaktori (Kuva Kirsi Karhio, merkinnät Heini Postila)

2.4.3 Koebioreaktoreista saadut alkuvaiheen tulokset

Kohteen virtaamat olivat aluksi liian suuria ja laskivat myöhemmin liian pieniksi (taulukko 4), joten virtaaman säätöä jatketaan edelleen optimaalisimman tason löytämiseksi. Suolan syötön ajan 29.9.2022 biohiili+puuhakebioreaktorin virtaamat olivat tavoiteltua hieman suuremmat ja puuhakebioreaktorin selvästi suuremmat. Toisena kertana, 30.10.2022, virtaamat taas olivat tavoiteltua selvästi pienempiä. Kun verrataan tuloksia merkkiainekokeella saatuihin tuloksiin, niin 29.9.2022 käynnistetyn merkkiainekokeen mukainen viipymäaika oli puuhakebioreaktorilla 1,4 vrk ja biohiili-puuhakebioreaktori 1,7 vrk (kuva 21). Jälkimmäisen, 30.10.2022 käynnistetyn merkkiainekokeen mukainen viipymäaika oli puuhakebioreaktorilla 3,3 vrk ja biohiili-puuhakebioreaktorilla 3,6 vrk. Puuhakebioreaktorin syys- ja lokakuun merkkiainekokeiden ja biohiili-puuhakebioreaktorin syyskuussa käynnistetyn merkkiainekokeen osalta merkkiainekokeen mukainen viipymäaika on melko lailla sama kuin laskennallinen viipymäaika. Biohiili-puuhakebioreaktorin osalta mitatuissa ja laskennallisista viipymäajoissa oli lokakuussa käynnistetyssä testissä selkeä ero, johon ehkä vaikuttavat biohiilen ominaisuudet. Merkkiainekokeäyrien perusteella virtaus oli kohtuullisen tasaista eikä bioreaktoreissa esiintynyt selkeitä oikovirtausalueita.

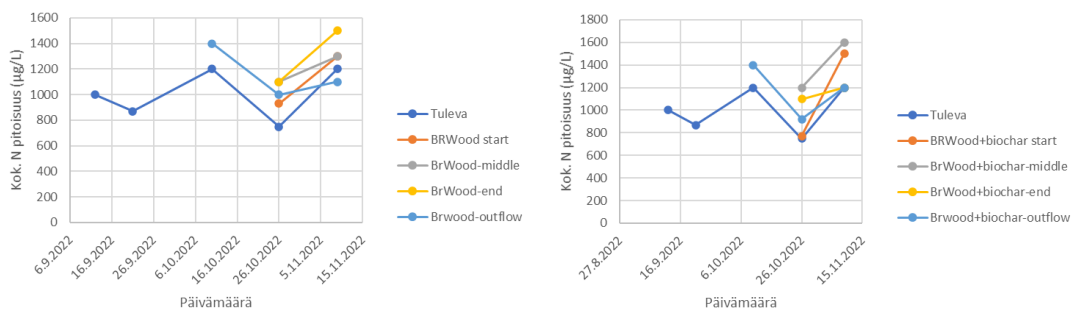
Taulukko 4. Bioreaktoreista mitatut virtaamat ja laskennalliset viipymäajat. 16.10.2022 tehtyjen mittausten jälkeen tulevan veden putkien kannet muutettiin sellaisiin, joissa tuleva reikä oli 8 mm. Vaihto tehtiin puuhakebioreaktorin 8.10.2022 mittausten perusteella.

Puuhakebioreaktori			Biohiili+puuhakebioreaktori		
Päivämäärä	Virtaama (l/s)	Laskennallinen viipymäaika (vrk)	Päivämäärä	Virtaama (l/s)	Laskennallinen viipymäaika (vrk)
29.9.2022	0,18	1,6	29.9.2022	0,14	1,9
2.10.2022	0,21	1,3	2.10.2022	0,16	1,6
4.10.2022	0,20	1,4	4.10.2022	0,15	1,7
8.10.2022	0,20	1,4	8.10.2022	0,13	2,0
13.10.2022	0,13	2,1	13.10.2022	0,12	2,3
16.10.2022	0,12	2,4	16.10.2022	0,11	2,5
19.10.2022	0,17	1,6	19.10.2022	0,11	2,5
25.10.2022	0,06	4,6	25.10.2022	0,06	4,5
30.10.2022	0,08	3,5	30.10.2022	0,05	5,3
7.11.2022	0,08	3,3	7.11.2022	0,05	5,2

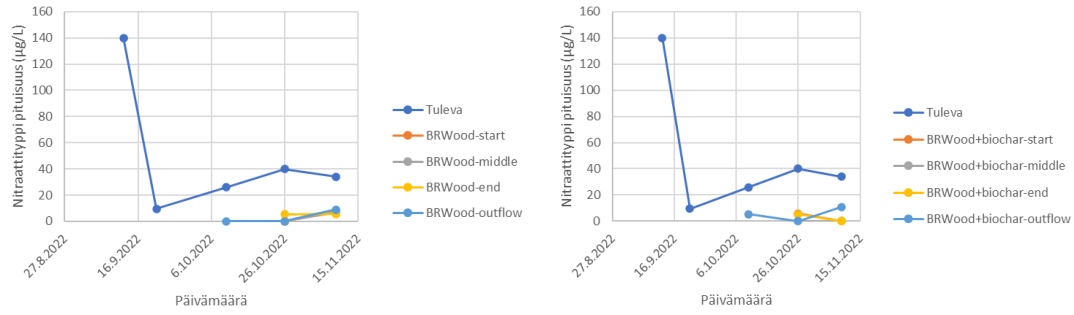


Kuva 21. Puuhakebioreaktorin (vasen kuva) ja biohiili+puuhakebioreaktorin (oikea kuva) veden keskimääräiset viipymääjat 29.9.2022 ja 30.10.2022 käynnistettyjen, NaCl toteutettujen testien perusteella.

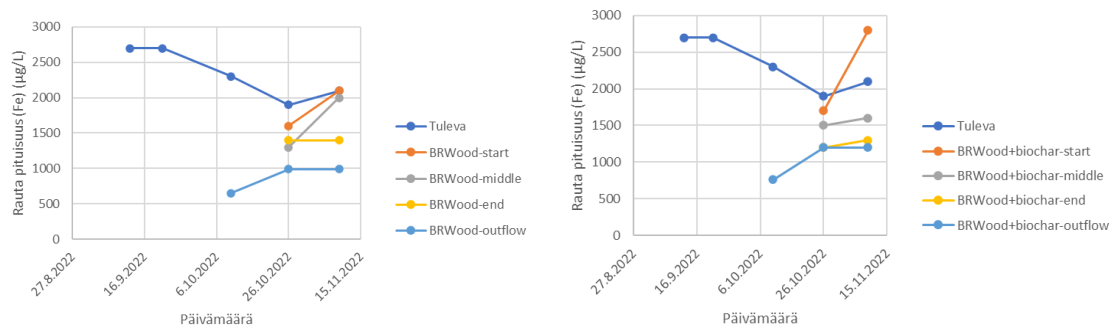
Seurantatulosten perusteella (liite 3 ja kuvat 22–26), bioreaktori pidatti heti alkuvaiheessa nitraattityppeä ja rautaa, mutta puuaineksesta lähti huuhtoutumaan fosforia, orgaanista typpeä ja orgaanista ainetta. Tällainen alkuhuutouma on tyypillinen puuhaketta käytettäessä ja sen kestoja olisi tärkeä seurata. Kokonaistypen osalta alkuhuutoumat olivat tasoittuneet jo vajaassa 1,5 kk:ssa niin, että marraskuun näytteenotokerralla puuhakebioreaktorin lähtevän veden kokonaistyyppipitoisuus oli jo alle tulevan pitoisuuden (kuva 22). Kokonaisfosforin alkuhuutouma oli alussa, noin puolentoista viikon käytön jälkeen, jopa kymmenkertainen, ja tästä kuukauden päästä se oli laskenut alle puoleen puuhakebioreaktorissa ja 2/3 biohiili+puuhakebioreaktorissa (kuva 26).



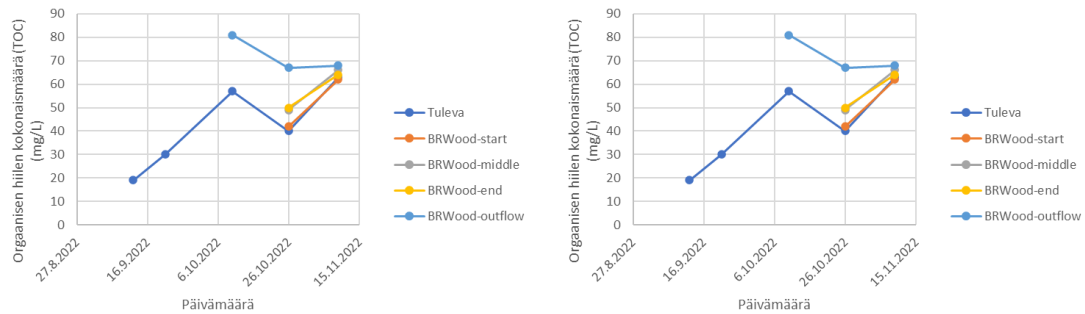
Kuva 22. Kokonaistyyppipitoisuuden vaihtelu bioreaktoreissa.



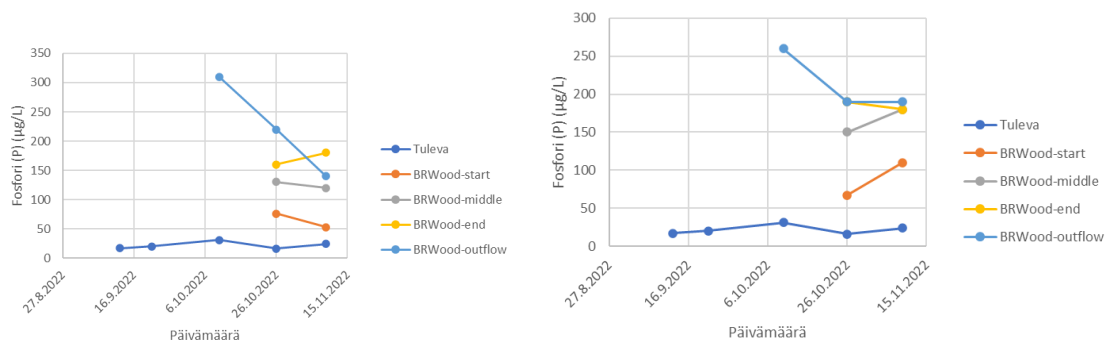
Kuva 23. Nitraattityyppi-pitoisuuden vaihtelu bioreaktorirakenteissa.



Kuva 24. Rautapitoisuuden vaihtelu bioreaktorirakenteissa.



Kuva 25. Organisen kokonaishiilen (TOC) vaihtelu bioreaktorirakenteissa.



Kuva 26. Fosforipitoisuuden vaihtelu bioreaktorirakenteissa.

2.5 Menetelmän kustannustehokkuuden, vaikuttavuuden ja monistettavuuden arviointi

Hankkeessa oli tavoitteena arvioida myös menetelmän kustannustehokkuutta, monistettavuutta ja vaikuttavuutta. Menetelmän rakennettavuutta ja monistettavuutta parantaa hankkeen ratkaisusta huomattavasti se, ettei lopullisen käsittelyjärjestelmän tarvitse olla täysin vesitiivis. Silloin rakenteessa ei tarvitse käyttää kalvorakenteita, vaan normaali suodatinkangas riittää puuhakekukalon ympärille. Silloin rakentamisen aikainen kuivatus voidaan tehdä suoraan kaivannosta. Ratkaisu lisää pohjaveden vaihdantaa, joka osaltaan parantaa puhdistustuloksia, vaikkei se suoraan ole itse bioreaktorin prosesseihin perustavaa vesienkäsittelyä.

Rakenteen toteutettavuuden vaatimustaso vastaa sen jälkeen hajakuormitusalueen jätevesijärjestelmiä, johon maaseudun maarakentajilla on runsaasti osaamista. Hankkeessa käytetyn urakoitsijan sanallisen arvion mukaan kaikkiin hankkeessa koekuopilla tutkittuihin kohteisiin olisi saanut rakennettua kalvottoman puuhakebioreaktorin. Kalvon, ja tutkimuskäyttöä varten tarvittujen runsaiden kaivojen pois jättäminen tekee ratkaisusta huomattavasti edullisemmän.

Koska bioreaktorirakenteista ei valitettavasti ehditty saada kuin alkuvaiheen (noin 1,5 kk) tutkimustuloksia, sen pitempiäikeisen puhdistustehokkuuden tasosta ei voida sanoa tässä vaiheessa vielä mitään. Tästä syystä myöskään vaikuttavuutta ja kustannustehokkuutta ei voida arvioida tässä raportissa. Molempiin em. tarvittaisiin tieto bioreaktorilla poistettavista ravinnemääristä. Myöskään mitoitustyökalun päivittäminen metsätalousvesille ei ole mahdollista pelkästään alkuvaiheen tutkimustulosten perusteella, joten sitä ei ole tässä tehty. Todennäköisesti bioreaktoreita olisi järkevin kohdistaa paikkoihin, jossa on lähitulevaisuudessa tarkoitus tehdä metsätaloustoimenpiteitä ja voidaan siis olettaa, että kuormitus tulee lähivuosina kasvamaan.

3. Yhteistyö ja sidosryhmätyöskentely

SuVaKi oli yhteishanke, jonka päätoteuttajana oli järviyhdistys Pro Höytiäinen ja osatoteuttajina Oulun yliopiston Vesi-, energia- ja ympäristötekniikan tutkimusyksikkö ja suunnittelutoimisto Watec Consulting Oy. Toteuttajilla ei ollut taustalla yhteistä toimintahistoriaa, vaan näkemykset purettiin yhteisymmärrykseksi, kun hankkeesta päätettiin ja hankesuunnitelmaa kirjoitettiin. Kaikki osatoteuttajat toimivat fyysisesti eri puolilla Suomea kohdealueen sijoittuessa järviyhdistyksen toimintaympäristöön. Kyseessä on pilotti, jossa kehitetään uutta menetelmää, kohdealueena on yksityisten maanomistajien maat, osakaskuntien hallinnoima vesialue, aiheina vesiensuojelu ja toisaalta metsätalous sekä sen totuttujen toimintatapojen kyseenalaistaminen.

Lisäarvo hankkeelle tuli toteuttajien erilaisista taustoista, erilaisesta asiantuntijuudesta ja erilaisista verkostoista. Toisistaan poikkeavat toimintakulttuurit ja poikkitieteellisyys ja erilaiset spesialiteetit edellyttivät kuuntelemista ja oli myös oikeasti pyrittävä ymmärtämään ja tulla ymmärretyksi. Samat asiat olivat myös haaste.

3.1. Työnjako

Pro Höytiäisen vastuulla oli kokonaisuuden koordinointi, monikanavainen viestintä ja yhteydet sidosryhmiin sekä hankkeen hallinnointitehtävät, myös luvitukset, maanomistajaneuvottelut, suostumusten laatiminen ja maanrakennuksen hankinta. Yhdistyksen jokiluontoon erikoistunut vapaaehtoisten ryhmä, Wirtavesitiimi, WVT, toteutti talkootöinä mm. alueen dokumentointia ja vedenlaatumittauksia, teki havaintoja maastossa, huolsi mittareita ja hoiti kalibrointinäytteidenoton. Mittaustulokset olivat tärkeässä osassa koebioreaktorin sijainnin valinnassa ja testirakenteiden sijoittamisen suunnittelussa. Koska rakentaminen suunnitelluille paikoille ei eri syistä onnistunut, tehtiin vesianalyysjä vielä kohdennetusti muutoin soveltuviksi arvioituille paikoille. WVT toteutti myös maastokatselmuksia ja osallistui näin rakentamisen kohdealueen etsintään.

Oulun yliopiston Vesi-, energia- ja ympäristötekniikan tutkimusyksikön roolina oli toimia puuhakebioreaktorin prosessiasiantuntijana ja tutkia, miten siitä saataisiin mahdollisimman hyvin metsätalouden vesienkäsittelyyn sopiva. Osa sisälsi myös mm. kirjallisuuskartoitusta ja sienitestauksia orgaanisen typen poistoon. Oulun Yliopisto on aiemmin vastannut menetelmän kehittämisestä HybArkt-hankkeessa (Postila et al. 2021) sekä mitoitannut ja suunnitellut kenttämittakaavan vesienpuhdistusratkaisun hanke pohjaisella bioreaktorilla Luken Laukaan kalanviljelyn kierto vesilaitokselle.

Watec Consulting Oy:n Juha-Pekka Saarelainen vastasi hankkeessa bioreaktorin suunnittelusta, mitoitamisesta ja rakennussuunnitelmien laatimisesta. Normaalista suunnittelusta poiketen hankkeessa tehtiin paljon myös kenttätutkimuksia suunnittelun lisäksi rakentamalla off grid pilot-laitteisto. Watec Oy vastasi myös valuma-alueen vesinäytteiden ottamisesta sekä maastotutkimuksista kooreaktorille sopivan paikan löytämiseksi. Suunnittelua tehtiin parhaimmillaan suoraan työmaalla sovittaen rakenteita vallitseviin maaperä- ja korkeusolosuhteisiin.

3.2. Tärkeimmät sidosryhmät

Hanke aika tällaiseen monen toimijan yhteiseen pilottiin oli lyhyt ja määritteli myös yhteydenpidon ja verkostoitumisen. Yhteyksiä haettiin ja yhteistyötä tehtiin kulloinkin eteen tulleiden tarpeiden mukaan. Käytännössä ongelmien ratkaisussa etsittiin näkemyksiä tahoilta, joilla arveltiin olevan paras tieto, jolloin luonnollisesti yhteistyökumppanit vaihtelivat.

Hankkeen tueksi, laajan näkemyksen ja tiedonkulun varmistamiseksi perustettiin heti hankkeen alussa sparrausringin nimellä kulkeva keskustelufoorumi, jossa olivat mukana toteuttajatahojen lisäksi rahoittajien edustajat (Teppo Oijala, Tiina Laine ja Silja Pitkänen-Arte/MetsäGroup; Janne Uuttera/UPM Metsä; Jukka Nykänen/Pohjois-Karjalan Tulevaisuusrahasto ja Minna Maasilta/Maa- ja vesitekniikan Tuki ry, asiantuntijat Lukesta (Leena Finér) ja Sykestä (Anna-Kaisa Ronkanen) sekä hankkeen valvojina toimivat ELY-keskusten edustajat Anne-Mari Rytönen ja Henri Vaarala PoPELY:stä sekä Helena Haakana ja Tiina Käki PoKELY:stä. Sparrausrinki kokoontui sovitun mukaisesti kolme kertaa hankkeen aikana ja yhteyttä pidettiin myös kokousten välillä.

Loppukesästä 2021 palaverattiin yhdessä Oulun yliopiston Ekologian ja genetiikan yksikön sieniasiantuntijoiden ja Kääpä Biotechin sieniasiantuntijoiden kanssa, miten voitaisiin orgaanisen typen hajottamiseen vaikuttaa. Sienet voivat tehdä hajotusta, mutta siitä ei ole tutkimustietoa. Kaikkien osapuolten mielestä olisi ehdottomasti järkevää selvittää sienten kykyä tehostaa orgaanisen typen poistoa, ja näiden näkemysten perusteella lähdettiin suunnittelemaan laboratoriotestausta.

Rakennettavan kohteen laillisten esteiden tarkistamisessa keskeiset kumppanit olivat vesilain osalta ELY-keskus ja metsälain osalta Suomen metsäkeskus.

Muiden hankkeiden kanssa kommunikointi keskittyi webinaareihin ja niissä syntyneisiin kontakteihin. Kahden hankkeen (Salinjoen valuma-alueen vesienhallinnan kehittäminen/Savonia AMK; BlackGreen, Pohjois-Karjalan biohiiliohjelma/ Luke + UEF + Karelia AMK + Business Joensuu) kanssa oli ad hoc – tapaaminen ja kokemusten vaihtoa. Black Green –hankkeen toimijoiden bioreaktori-vierailulla pohdittiin myös tulevaisuuden yhteistyömahdollisuuksia.

Yhteistyö rakentuu luottamukselle ja yhteisille tavoitteille tai vähintäänkin yhteisille intresseille ja ymmärrykselle synergiaeduista. Yhteistyö on syklistä ja muuttuvaa ja olemassa vain tarpeesta. Parhaimmillaan yhteistyö hyödyttää kaikkia osapuolia, sille on aikaa ja sopivat olosuhteet. Nämä seikat ohjaavat yhteistyötä jatkossakin.

4. Viestintä ja tiedottaminen

Hankkeen viestintäsuunnitelma oli kattava ja kunnianhimoisempi, tosin sen ei kuviteltukaan toteutuvan sellaisenaan, vaan olevan pikemmin työväline ja toimintaa suuntaava ohjeistus ja muistilappu toteutuksen eri vaiheille.

Aiheesta kiinnostuneiksi kohderyhmiksi, joita myös lähestyttiin, tunnistettiin mm. maan- ja metsänomistajat, vesialueen omistajat Höytiäisellä eli osakaskunnat ja Höytiäisen kalatalousalue, muut vesistöyhdistykset ja -kunnostajat, paikalliset vakituiset ja vapaa-ajan asukkaat sekä luontoharrastajat. Maakunnan toisen asteen oppilaitos tuli mukaan hankkeen edetessä.

Yhteydenotot suunnattiin hankkeen eri vaiheissa erilaisiin kanaviin, kuten isoimmat päivittäismediat, pohjoiskarjalaiset paikallislehdet, Maaseudun Tulevaisuus, Metsälehti sekä mukana olleiden metsäyhtiöiden asiakaslehdet ja Oulun yliopiston viestintäosasto. Hyväksi kanavaksi osoittautuivat kunnanhallituksen pöytäkirjat, joita toimittajat ovat tottuneet työssään käyttämään. Välirohokusta koskevat pöytäkirjamerkinnot johtivat useampaan lehtijuttuun. Dilemma mediayhteistyössä on, että ns. hankeviestintää karsastetaan, mutta varsin työlästä kääntää kiinnostus asiasisältöön ja pois pelkästään avustukseen ja euroihin liittyvästä uutisoinnista.

Sosiaalisen median ulottuvuus on aina yllätys ja tieto voi levitä hyvinkin ennakoimattomasti, mutta siinäkin algoritmit reagoivat yhteistyökumppanien ja rahoittajien linkittämiseen – tieto ei levinnyt yhtä laajasti kuin postaukset, joissa ei linkattu kumppaneita. Somen postauksia hankkeesta voi tarkastella: <https://www.facebook.com/prohoytiainen>

Kuvamateriaalin avulla välitettiin tietoa prosessin etenemisestä ja heräteltiin kiinnostusta paitsi ongelmaa eli suometsien valumia, myös menetelmää eli bioreaktoria vesiensuojelurakenteena, kohtaan. Yhdistyksen kuvauskopteri oli käytössä koko hankkeen ajan valuma-alueen maaston kartoittamisesta bioreaktorin valmistumisen dokumentointiin (kuva 27). Sekä lennokkikuvausten materiaalia että muuta kuva- ja videomateriaalia on käytetty koko hankkeen ajan somessa, kotisivuilla, alustuksissa ja tarjoamalla kuvia medialle, myös videotuotannossa. Videoiden julkaisualustaksi valikoitui YouTube, sen levittämisestä huolehtivat kaikki toteuttajat. Järviyhdistyksen nettisivut valittiin hankkeen asiasisällön arkistointiin ja mm. toimittajia palveleva konsepti löytyy www.prohoytiainen.fi. Opastekyltti + QR-koodi kertoo tutkimuskentällä vierailuille, mistä on kyse

(kuva 28). Puskaradio on ehdoton jutun leviämiseen ja kiinnostuksen herättämiseen, siksi tutkimuskentällä on hyvä olla informaatiota tarjolla.



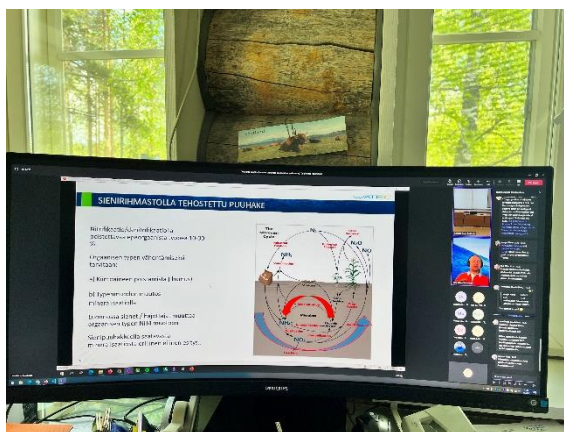
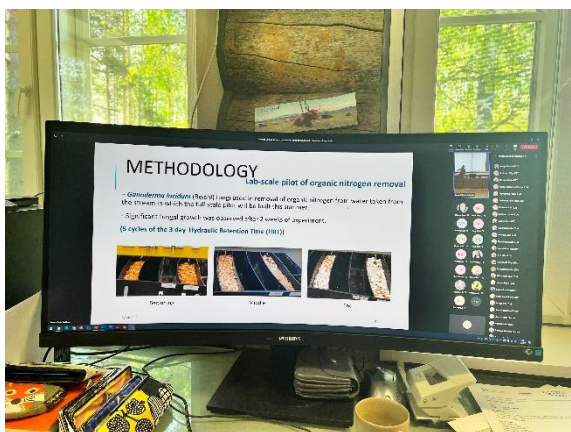
Kuva 27. Testikaivuiden dokumentointia dronella, oikealla pilotti (kuva(ssa) Jyrki Repo)



Kuva 28. Opastekyltti tutkimuskentällä.

Bioreaktorien rakentamiseksi toteutettiin tarjouspyyntökierros, joka ei tuottanut yhtään vastausta ja tehtävään päädyttiin rekrytoimaan paikalliset osaajat. Se oli paras ratkaisu myös viestinnän kannalta. Hankkeen paikallisia työllistävä vaikutus koettiin positiivisena. Urakoitsijan ja tavarantoimittajien yhteistyö oli monella tapaa sujuvaa ja viestinä asiasta positiivista. Uutta kohtaan on aina epäilyä, nyt epäluuloihin kyettiin vastamaan välittömästi, koska ne tulivat ylipäätään esille, esitettiin oikeassa ympäristössä ja asian parissa töitä tekeville. Face to face -viestintä toteutui luontevasti itsestään, paikalliset osaajat toimivat jopa vaikuttajina.

Toukokuussa 2022 hanketta esiteltiin ministeriöiden yhteisessä "Hundred solutions for water protection in agriculture and forestry // 100 ratkaisua maa- ja metsätalouden vesienhallinnan ongelmiin" -seminaarissa, jossa sekä Matthew Hopkins Oulun yliopistosta että Juha -Pekka Saarelainen Watec Consulting Oy:stä pitivät alustukset hankkeen sen hetkisistä tuloksista ja haasteista (kuva 29). Syyskuussa Matthew Hopkins esitteli hankkeen sienitestausten tuloksia posterilla IWA World Water Congress & Exhibition -konferenssissa Kööpenhaminassa. Lokakuussa 2022 Maa- ja metsätalouden vesienhallinnan Uusi tieto käyttöön -webinaarin valuma-alue suunnittelun toimintamallit-osuudessa Heini Postila Oulun yliopistosta esitteli hankkeessa tehtyjen sienitutkimusten tuloksia sekä hieman myös hanketta laajemmin.



Kuva 29. Hundred solutions for water protection in agriculture and forestry // 100 ratkaisua maa- ja metsätalouden vesienhallinnan ongelmiin –seminääri livenä, etänä ja eetterissä (Kuvat Kirsi Karhio)

Viestintä ja verkostoituminen toteutui myös toimittaja-, tutkija-, toimija- ja kansalaisaktiivitapaamisten, myös kansalaisten tapaamisten, kautta ja erilaisissa tilaisuuksissa. Tapahtumaviestintää tehtiin mm. nelipäiväisessä Biathlon -tapahtumassa (kuva 30) ja kolme päivää kestäneillä Karjalan Erämessuilla, joissa tavoitettiin laajasti asiasta kiinnostuneita. Myös pienemmissä tapahtumissa ja tilaisuuksissa, joissa yhdistys ja/tai sen Wirtavesitiimi oli mukana, oli mahdollisuus tuoda esiin vesienhoidon tarvetta ja erilaisia menetelmiä, myös bioreaktorin kehittämistä ojitettujen soiden vesien laadun parantamiseen.



Kuva 30. Biathlon-tapahtuman yleisöä riitti myös Pro Höytiäisen teltalle ja tutustumaan hankkeeseen (Kuva Kirsi Karhio)

Yllättävät ja ei niin ilmeiset yhteydet toimivat myös hyvinä tiedon levittämisen ja leviämisen kanavina, kuten Kohtuus Vaarassa -kansalaisliikkeen seminaari Kolilla syksyllä 2021 ja sieltä innoituksen saanut ja kiinnostunutta yleisöä paljon koonnut Ennallistamisilta Joensuussa keväällä 2022. Höytiäisen kalatalousalueen vuosikokouksessa taas laaja kokonaisuus ja syy- ja seuraussuhteet löysivät oikean muodon, sisällön ja yleisön ja ”metsä on vesi on kala” -kytkeytyneisyys ymmärrettiin hyvin.

Polvijärven kunta on toiminut hankkeen välirahoittajaan ja kunnanhallitukselle käytiin kertomassa hankkeen etenemisestä ja tavoitteista kolmesti hankkeen aikana. Metsähallitus ja Kiskonjoen yhteismetsä valuma-alueella maata omistavina toimijoina sekä Höytiäisen osakaskunnat vesialueen omistajina olivat myös hanke-esittelyn kohderyhmää.

Bioreaktorin sijoittaminen edellytti kohdealueen maanomistajilta suostumukset. Suostumuksia haettaessa oli sekä motivaatio että mahdollisuus vangita maanomistajan kiinnostus, kertoa lisää ja vastata kysymyksiin. Tapa osoittautui haasteellisen kohdealueen valinnan yhteydessä tehokkaaksi tiedottamisen kanavaksi, useampia maanomistajia informoitiin ja teemalla oli ainoastaan myönteinen vastaanotto.

Monialainen ja monimutkainen asiakokonaisuus todettiin vaikeaksi viestiä mediallyle, etenkin kun konkretiaa eikä tuloksia ollut tarjota tutkimus- ja menetelmänkehittämisvaiheessa. Hankeviestintä ei sekään ole helppo toteuttaa, ei perinteisin mediatiedottein eikä edes kuvia ja juttua tai haastateltavia tarjoamalla, koska tiedotusvälineet ovat kyllästyneet hankkeisiin ja otaksuvat myös yleisönsä väsyneen samaan. Halutaan tuloksia, joista tiedottaa. Nämä terveiset tulivat toimittajien kautta uutispäälliköiltä.

Sisällöistä toki voi ja pitää kertoa, mutta päärahoittajien ehdot rahoittavien ohjelmien tuomisesta osaksi viestintää toimivat osin tavoitteitaan vastaan ja tiedon välittäminen suurelle yleisölle hankaloituu. Hankeviestintää ei välttämättä haluta vastaanottaa, somessa sitä taas ei haluta levittää ilman markkinointiin suunnattua rahaa. Silti viestittävä on, koska ilman viestintää hyvinkin asian hyöty jää ohueksi.

Sisäinen viestintä hanketoteuttajien välillä toteutui Teams-palaverein, sähköpostein ja puhelimitse. Myös maastossa bioreaktorin äärellä ehdittiin tavata (kuva 31). Kommunikointi hanketoteuttajien kesken ja myös hanketoteuttajien ja työn toteuttajien, tässä hankkeessa bioreaktorin urakoineiden sekä sienitutkijoiden, välillä on työn onnistumisen kannalta olennaista eikä sitä voi liikaa korostaa.



Kuvat 31a ja b. Yhdessä tekeminen ja tapaaminen, mielellään kohteessa, on toivottavaa hankkeen aikana. Kuvissa (vas.) bioreaktorin rakentaneet Pekka Karvonen ja Alpi Huttunen sekä suunnittelusta vastannut Watec Consulting Oy:n Juha-Pekka Saarelainen; (oik.) Oulun tutkimusyksikön

laboratoriomestari Joni Koivula, väitöskirjatutkija Matthew Hopkins ja tutkijatohtori Heini Postila sekä Pro Höytiäisen toiminnanjohtaja Kirsi Karhio (Kuva 31a Kirsi Karhio: kuva 31b Pia Paananen)

5. Hankkeen tuotokset

Hankkeen päätavoite oli kehittää tutkimusbioreaktori metsävesien puhdistamiseen, erityisesti turvemetsätalouden valumiin. Menetelmä on tuttu maataloudessa ja kaivosvesien ja jätevesien käsittelyssä, mutta sen soveltamista metsätalouteen ei ole aiemmin kokeiltu.

Hankkeessa toteutettiin

- pilot-laitteistona bioreaktori puuhakkeesta ja biohiilestä, joka oli toiminnassa heinä-lokakuun 2021 Suuri Vehkasuon kuivatusojalla (kuva 31 vasen).
- laboratoriopilotteja sienitutkimuksia varten syksy 2021-syksy 2022 (kuva 31 oikea).



Kuvat 32 a ja b. Aurinkoenergialla toimiva pilot-laitteisto Suuri Vehkasuon kuivatusojalla (vasen kuva Juha-Pekka Saarelainen). Sieni-sahanpurutestaukset laboratoriossa (Kuva oikealla Annaliza Cainglet)

Sekä pilot -laitteistosta että laboratorio -piloteista saatiin tietoa varsinaisen koebioreaktoreiden suunnittelua ja rakentamista varten.

- tutkimuskenttä (kuva 33 a) Pohjois-Karjalaan, Polvijärven Lahtolahden Pyöräkankaalle, Suursuon valuma-alueelle, josta on yhteys Kiskonjoen kautta Höytiäiseen. Se käsittää
- kaksi koebioreaktoria (kuva 33b), toisen materiaalina on koivun runkopuuhiileä (30–50 mm), toisen biohiili-koivunrunkopuuhiileä. Biohiilenä käytettiin sekalehtipuusta tuplaseulottua 10–20 mm biohiiltä. Bioreaktorit käynnistettiin syyskuun lopussa 2022, jonka jälkeen virtaamia mittaamalla selvitettiin ja toteutettiin virtaamansäätöä optimiviipymien löytymiseksi lokamarraskuun 2022 aikana. Koebioreaktoreiden osalta toteutettiin myös vedenlaadun seuranta.



Kuvat 33 a ja b. Tutkimuskenttä ilmasta kuvattuna (Jyrki Repo) ja bioreaktoreiden tutkimuskenttä (kuva Juha-Pekka Saarelainen)

Tutkimuskenttä on viimeistely hakkeella ts. se on ns. nappaskenkä-kohde maastossa. Haketettu kenttä oli urakoitsijan huomaavaisuutta vierailijoita, myös kentän säätöjä ja huoltoja tekeviä sekä näytteenottajia, kohtaan. Kohteessa on mm.

- opastetaulu (kuva 28) kohteeseen ohjaamaan mm. QR-koodin avulla tiedon lähteille. Median edustajia, Karelia AMK:n ympäristötekniikan opiskelijaryhmiä, BlackGreen Pohjois-Karjalan biohiiliohjelman toimijoita ja maanomistajat ovat jo vierailleet kohteessa. Tarkoitus on, että tutkimuskohteella voi vierailla myös omatoimisesti ja opasteen kautta pääsee tutustumaan koebioreaktorin toimintaan.
- tutkimuksen vaiheet ja reaktorin rakentuminen järviyhdistyksen kotisivuille osoitteessa www.prohoytiainen.fi
- videomateriaalia, jolla esitellään bioreaktorin rakentamisen vaiheita ja sen tavoitteita vesiensuojelussa. Videot tallennetaan YouTubeen ja jakelu varmistetaan useiden kanavien kautta
- posterit "The effectiveness of fungi inoculated woodchips to remove organic nitrogen load from forestry runoff: A pilot study, tekijät: Matthew Hopkins, Heini Postila, Anna-Kaisa Ronkanen" kertoo tehdyistä sienitestauksista, ja se on ollut esillä Kööpenhaminassa IWA World Water Congress & Exhibition, konferenssissa syyskuussa 2022
- tutkimusraportti, joka esittelee hankkeessa tehtyjä laboratorio- ja maastomittauksia, bioreaktorin toteutuksen ja alkuvaiheen seurannan.
- Bioreaktorin periaatekuva (liite 4)
- Ppt -pohjat osana viestintää

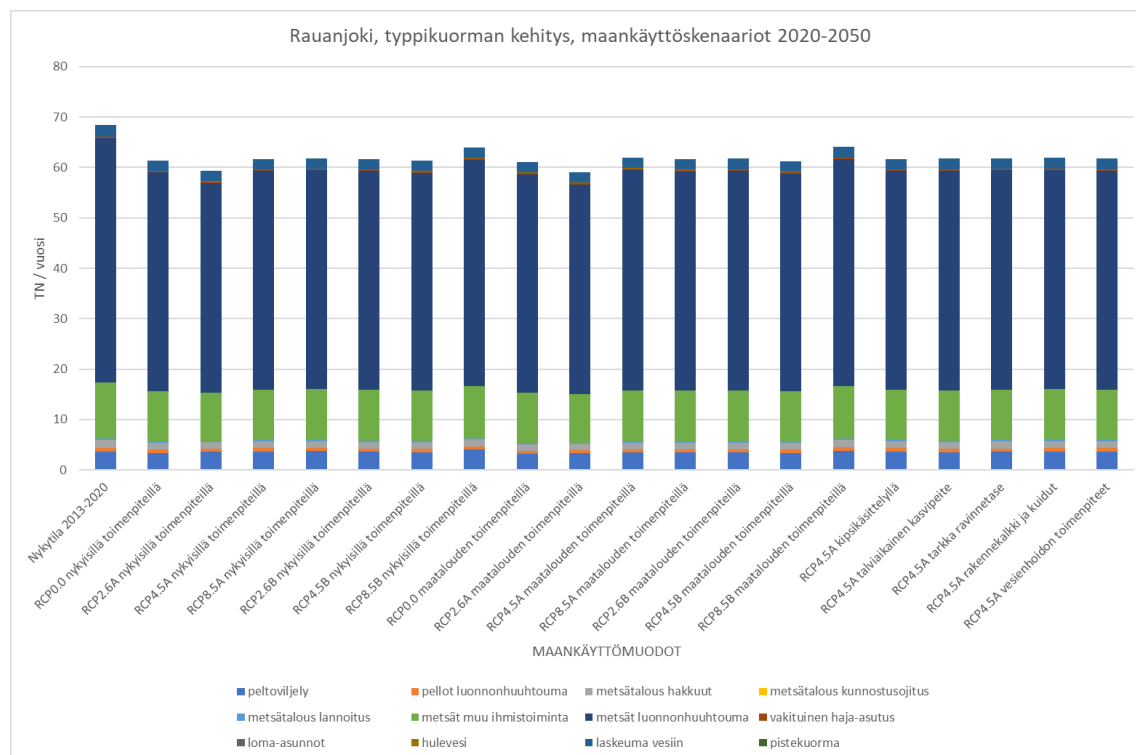
6. Hankkeen tulokset

6.1. Valuma-alue tutkimukset

Valuma-alueen maankäytön ja kokonaiskuormituksen osalta hankkeen tavoitteet saavutettiin. Valuma-alueen tutkimusten tuloksista saatiin laadittua yhdistyksen jatkohankkeita ja virtavesikunnostuksia varten valuma-alueen tutkimusraportti.

Raporttiin tehtyjen VEMALA-malli tulosten perusteella Rauanjoen kokonaistyyppikuormitus laskisi RCP 4,5 maankäyttöskenaariolla ilman vesiensuojelutoimenpiteitä nykyisestä 68 tonnista 62 tonniin vuoteen 2050 mennessä, kts kuva 34.

Osa-valuma-alueiden ja sivupurojen vedenlaadun todentamiseksi olisi hyvä ollut saada suuremmalla ajallisella hajautuksella vesinäytteitä. Kuitenkin maankäytön ja kokonaiskuormituksen perusteella tulevia toimenpiteitä voidaan kohdentaa suurimpien kuormitusten kohteille ja siten tavoitteet kokonaisuudessaan saavutettiin.



Kuva 34. Rauanjoen vuosittaisen tyyppikuormituksen kehitys 2020–2050 eri maankäyttöskenaarioiden mukaan. VEMALA-laskentaohjelma

6.2 Sienitutkimukset

Hankkeessa saatiin tietoa sienten (kuvat 34) kyvystä vaikuttaa typen pidätykseen. Tämä tutkimusosa tuli mukaan vasta hankkeen aikana, kun nähtiin tarpeelliseksi selvittää eri mahdollisuuksia orgaanisen typen poistoon ja hajotukseen. Vaikka alustavat tulokset vaiheen 1 testauksista vaikuttivat lupaavilta, niin myöhemmän vaiheen testaukset osoittivat, että rakenteista voi olla myös selviä huuhtoumia, mikä ei ole tavoitteen mukaista. Aihe vaatiikin lisää selvittelyä ja testausta eikä sitä tämänhetkisten tulosten perusteella voida suositella lisättäväksi bioreaktorirakenteisiin. Tietoa tällaisenaan voidaan hyödyntää lähinnä tutkimuspuolella pohjatietona muihin tutkimuksiin. Tietoa hyödynnettiin käytännössä, kun bioreaktoreista kumpaankaan ei lopulta lisätty sieniympästä, vaikka se vielä keväällä 2022 oli suunnitelmassa.



Kuvat 35 a ja b. Osterivinokas-sahanpuruyksikön pinta maalisi-huhtikuussa 2022 (vasen kuva) ja pinnasta otetusta palasta näkyvät eri kerrokset (tumma osa on pysyvästi vedenpinnan alla) (oikea kuva). (Kuvat Annaliza Cainglet)

6.3 Bioreaktori-tutkimukset

Hankkeessa saatiin rakennettua pilot-mittakaavan bioreaktorit sekä täyden mittakaavan koebioreaktorit. Tavoitteet niiden toteuttamisen osalta saavutettiin ja samalla saatiin runsaasti kokemusta suometsävesien käsittelyn haasteista. Pilot-bioreaktorin virtaamavaihtelut häiritsivät tulosten edustavuutta, mutta tulosten ja kokemusten perusteella saatiin tärkeää oppia täyden mittakaavan koereaktoreiden rakenteiden ja ratkaisujen suunnitteluun.

Täyden mittakaavan koebioreaktoreiden rakentamisesta ja myös vaadittavista lähtötiedoista saatiin arvokasta kokemusta. Rakentamisen aikaiset haasteet opittiin hallitsemaan ja bioreaktorit saatiin rakennettua pitkäaikaisia tutkimuksia varten. Rakentamisen aikataulu viivästyi, joten bioreaktorin vesienkäsittelyn seurannan tavoitteita ei kokonaisuudessaan saavutettu. Käsittelytuloksia loppuraporttiin mennessä saatiin 1,5 kk kuukauden ajalta.

Reunaehdot täyttävän kohteen löytäminen osoittautui yllättävän vaikeaksi. Suurimman haasteen asetti kalvorakenteellisen puuhaketäytteisen rakenteen tekeminen pohjavesitasen alapuolelle sähköverkon ulkopuolella. Normaalisti ko. rakenteet tehdään työaikaisella pohjaveden alentamisella, mutta urakoitsijan kanssa tehtyjen koemonttujen ja keskusteluiden perusteella menetelmä ei ole riittävän luotettava suorittavaksi käytössä olleilla polttomoottoripumpuilla.

Rakentamista varten tutkittiin vesinäytteillä, maastokäynneillä, maanomistajatiedoilla sekä koemontuun neljä rakennuskohdetta. Uusien kohteiden etsiminen ja niiden rakentamisen esteettömyys viivästytti bioreaktorin rakennusaikataulua eikä hankkeessa ehditty saamaan tavoitteiden mukaisia pitkän aikavälin vesienkäsittelytuloksia.

Huomioitavaa on, että urakoitsijan arvion mukaan kaikkiin kohteisiin olisi saanut rakennettua bioreaktorin ilman kalvorakenteita, mikä antaa uskoa menetelmän käytännön toteutettavuuteen ja monistettavuuteen.

Useampien viivästysten takia, joita on kuvattu aiemmin tässä raportissa, varsinaiset bioreaktorirakenteet saatiin maastoon käyttöön vasta syyskuun loppupuolella. Niinpä bioreaktoreista ei voitu saada kuin alkuvaiheen tietoa eikä bioreaktorit ole vielä raporttia kirjoitettaessa ehtineet stabiloitua omaan toimintaansa. Tästä syystä voitiin tehdä vain alustava arvio siitä, mikä merkitys laajemmalla bioreaktoreiden käytöllä olisi valuma-alueen mittakaavan vesienkäsittelyssä. Tuloksien perusteella on voitu tehdä lähinnä alkuvaiheen laskennallista arvioita. Tarvitaan pidempiaikaista seuranta, jotta bioreaktoreiden toimivuudesta ja vaikutuksesta vesistöihin saadaan selkeä käsitys. Tuloksia ei ole tekijöiden tietojen mukaan vielä hyödynnetty muualla.

7. Hankkeen innovatiivisuus, monistettavuus, uutuusarvo, hankkeen hyöty

Hankkeessa saatiin uutta tietoa suometsien vedenlaadusta ja typen eri muodoista. Metsätalousvesissä keskimäärin nitraattityyppinä on noin 20 % kokonaistypestä (Vuollekoski & Joensuu 2006), eli erityisesti tätä osuutta voidaan poistaa puuhakebioreaktoreissa. Vesinäytteiden perusteella denitrifikaatiolla poistettavan nitraattityypen pitoisuudet olivat Rauanjoen alueella selvästi kirjallisuuden perusteella alun perin arvioitua pienempiä, ja käytännössä miltei kaikki orgaanisessa muodossa. Tämä johti alkuperäistä syvempiin orgaanisen typenpoiston testauksiin sienillä, koska orgaanisen typenpoiston mahdollisuuksista ja sienten käytöstä ei löytynyt aiempaa kirjallisuustietoa. Vaikka ainakaan laboratorioissa testatulla tavalla asennetut sienet eivät osoittautuneet riittävän hyviksi orgaanisen typen poistossa, niin tutkimuksesta saatiin kansainvälisesti uutta ja tärkeää tietoa. Aiheesta on tavoitteena myös tehdä kansainvälinen tieteellinen artikkeli, jotta tieto saadaan välittymään tutkijapiireihin.

Hankkeessa tuotettiin tutkimuskäyttöön koebioreaktorit suometsävesien käsittelyyn ja niistä tehtiin myös periaatekuva (liite 4), jota kuka tahansa voi hyödyntää, kun mietitään ratkaisun monistamista uusiin paikkoihin. Koska koebioreaktorit saatiin vasta hankkeen loppuvaiheessa valmiiksi, on niistä vain rajatusti puhdistustuloksia vielä tässä vaiheessa. Pitkäaikaisen toimivuuden, skaalausten, muokkausten yms. toimivuuden arvioimiseksi tarvitaan lisää seuranta.

Valuma-alueen kartoituksissa saatiin testattua, miten hyvin kartta- ja paikkatietotarkastelun perusteella kohdennettuja vedenlaadun mittauksia voidaan toteuttaa talkootyönä virtavesiaktiivien ja alaa opiskelevien toimesta. Hankkeessa havaittiin, että kenttämittareilla tehdyt mittaukset ja silmämääräiset havainnot kevättulvan jälkeisessä vedenlaadussa vastaavat varsin hyvin suuren kuormituksen vesinäytteisiin. Kenttätutkimuksen hypoteesina oli, että matalan pH:n kenttämittaus viittaa valuma-alueen suureen ojitettuun turvepitoisuuteen.

Toisaalta havaittiin myös eroja karttatarkastelun, alan suunnitteluohjelmien ja maastotutkimusten välillä. Scalgon mukaan Valkealammenpuron valuma-alue alkaa Juuantieltä etelään. Karttatarkastelun mukaan Juuantien yläpuolella on pienen valuma-alueen Laskulampi, josta kaivettu oja tien alitse. Maastotutkimuksissa kaivettu oja osoittautui jatkuvan virtaaman ja varsin hyvän vedenlaadun puroksi.

Yhteistyö maanomistajien kanssa oli selkeää: esiteltiin hanke ja sen tavoitteet sekä tarve maankäyttöön, kun bioreaktorirakenteet toteutettaisiin metsäkiinteistölle. Yhteydenotot toimivat hyvin viestintänä, taustalla oli aito kiinnostus asiaan ja maanomistajien suostumukseen tarvittavat

ehdot edellyttivät laajempaa keskustelua. Hankkeen aikana tarkastelussa oli useampi mahdollinen kohdealue ja lupia siis tiedusteltiin useammilta maanomistajilta. Kaikki suhtautuivat asiaan kiinnostuneina ja myönteisesti, seikka, joka antaa lupaavia viitteitä kohderyhmän valmiudesta ottaa menetelmä käyttöön, mikäli se jatkotutkimuksissa osoittautuu toimivaksi ratkaisuksi.

Maanomistajille, joiden alueelle rakentaminen kohdentui, on kerrottu töiden etenemisestä viestein ja kuvin, ja he ovat itsenäisesti myös käyneet paikan päällä tutustumassa kohteeseen. Vaikutelmaksi jäi, että käsillä olevan laaja-alainen ongelma, suometsien valumien haitalliset vesistövaikutukset, aletaan vähitellen tunnistamaan paremmin maanomistajien keskuudessa, myös hyväksymään ja ratkaisujen hakeminen ongelmaan nähdään positiivisena. Vesiensuojelumenetelmän rakentamisen näkeminen, mahdollisuus tutustua kohteeseen ja keskustella rakentajien, suunnittelijan tai tutkijoiden kanssa, ovat vaikuttaneet myönteisesti. Ehkä tulevaisuudessa ei soiden kunnostusajatuksiin ole kiire.

Erilaiset tilaisuudet, joissa on esitelty järviyhdistyksen tavoitteita ja toimintaa puhtaan veden ja monimuotoisuuden puolesta, myös bioreaktorin kehittämistä mahdollisena vesiensuojelurakenteena, ovat yllättäen myös aktivoineet ihmisiä mukaan toimintaan sekä yhdistyksen jäseniksi että kunnostustalkoisiin.

Karelia AMK:n vesi- ja energiatekniikan koulutusohjelman kanssa tehtävä yhteistyö on tiivistynyt ja laajentunut hankkeen myötä. Höytiäiseen laskevan Rauanjoen valuma-alueita kartoittava opinnäyte tarjosi perustiedon alueesta. Opiskelijat ovat virtavesien kunnostuksiin keskittyneiden opintojensa ulkopuolella tuottaneet vapaaehtoisina talkoolaisina tietoa valuma-alueelta, mitanneet virtaamia, ottaneet näytteitä tutkimuskentältä ja myös analysoineet niitä.

8. Toiminnan jatkuvuus

Koebioreaktorirakenteiden valmistuttua syksyllä 2022 vedenlaadun seuranta ja näytteenotto jatkui keskimäärin kahden viikon välein marraskuun puoliväliin 2022 asti. Tulosten kanssa ollaankin vasta alussa, tosin ensimmäistenkin tulosten perusteella nitraattitypen ja raudan suhteen on pidätystä tapahtunut ja myös veden väri on kirkastunut (vrt. kuvat 36 b ja c).



Kuvat 36 a, b, c. Matthew Hopkins asentaa mittakaivon HOB0-sähkönjohtavuusloggeria vedenlaatua mittaamaan, 29.2.2022 (vasen kuva). Veden väri ennen bioreaktorirakennetta (keskimmäinen kuva) ja bioreaktorirakenteen jälkeen (oikea kuva), 30.10.2022. (Kuvat Kirsi Karhio)

Näytteenottamista aiotaan jatkaa mahdollisen jatkohankkeen myötä pidempään, jolloin saadaan lisää tuloksia koebioreaktoreiden toiminnasta. Jatkossa on tarkoituksenmukaista myös seurata ja vaihdella viipymäaikoja ja etsiä sitä kautta optimaalisinta virtaaman ja bioreaktorin koon suhdetta. Myös mahdollisia esiintulevia huoltotarpeita on hyvä selvittää, joskin se tulee vaatimaan pidempiaikaisen seurannan.

Maanomistajan kanssa on sovittu, että ensi sijassa ja rakenteen toimiessa bioreaktori jätetään valuma-alueelle pitkäaikaisseurantaan. Rakennetun kohteen ominaispiirteitä ja rakenteita ei saa muuttaa ilman toteuttajan lupaa. Jos reaktorin toiminnassa ilmenee ongelmia, neuvotellaan maanomistajan kanssa rakenteen vaatimista korjauksista tai rakenteen purkamisesta. Rakenteet toteutettiin niin, että tutkimuksen jälkeen virtaamat voidaan tarvittaessa palauttaa alkuperäiselle reitille. Tarvittaessa rakenteet voidaan purkaa ja maasto palauttaa mahdollisimman lähelle lähtötilannetta jättäen uusiutuvat täyttömateriaalit metsäpohjaa ravitsemaan.

Hankkeessa luodun yhteistyöverkoston, tutkimusbioreaktoreiden ja jo kerätyn mittausdatan avulla on erinomainen mahdollisuus jatkaa yhteistyötä tutkimuksen ja vesiensuojelumenetelmien ja niiden kehittämisen parissa. Uuden hankkeen sisältö muotoutuu tästä hankkeesta saatujen kokemusten perusteella. Toteutetut bioreaktorit edellyttävät seuranta- ja suodatinmateriaalien alkuhuuhtoumia on tarve tutkia. Menetelmän soveltuvuudesta ja toisaalta sovellettavuudesta tarvitaan lisää tutkimusta. Tarve on myös paneutua maastossa kohdattavien ongelmien ennakointiin, kuormittavien alueiden ja kuormituslähteiden sekä bioreaktoreille, mutta myös muille vesiensuojelurakenteille, potentiaalisimpien sijaintien tunnistamiseen siihen sopivien välineiden, kuten valuma-alueen virtausverkkotarkastelun ja seuraavassa vaiheessa maastoinventoinnin avulla.

Yhteistyötä on tarkoitus jatkaa toteuttajien kesken ja maanomistajien sekä Wirtavesitiimin ja Karelia AMK:n ympäristö- ja energiatekniikan opiskelijoiden kanssa, ja vahvistaa uusien toimijoiden asiantuntemuksella. Yhteistyömahdollisuuksia biohiilen tuotekehitystä ja käyttötarkoituksia tutkivan Pohjois-Karjalan biohiiliohjelman ja siihen kuuluvan BlackGreen –hankkeen kanssa tullaan myös tarkastelemaan.

Kuvaus hankkeen toteutuksesta ja alkuvaiheen viitteellisistä tuloksista löytyy järviyhdistys Pro Höytiäisen kotisivuilta:

<https://www.prohoytiainen.fi/toiminta-hankkeet/luonnonhoitoty/suvaki> ,

jonne myös tutkimuskentällä oleva opaste ohjaa suoraan QR-koodin kautta.

9. Projektin rahoitus

Hankkeen osatoteuttajilla oli omat budjettinsa: vedenlaatututkimusten, maastokatselmusten, reaktorien materiaalien ja rakentamisen, koordinoinnin, viestinnän ja projektin hallinnon osalta Pro Höytiäinen ry; bioreaktorin suunnittelun ja mitoituksen osalta Watec Consulting Oy sekä seurantasuunnitelman, virtaama- ja viipymämittausten tulosten käsittelyn osalta Oulun yliopiston Vesi-energia- ja ympäristötekniikan tutkimusyksikkö. Kokonaisbudjetin voi katsoa olleen kohtalaisen oikein mitoitettu, vaikka kyseessä oli pilotti ja vaikka ennalta arvaamattomia asioita hankkeen edetessä oli paljon.

Hankkeen toteutusaika lyheni alkuperäisestä lähes kuusi kuukautta ensin päätösten viipyessä ja sitten raportointiajan aikaistuuessa. Lyhentynyt hankeaika aiheutti muutoksia hankkeen toteutuksessa, mm. rakentaminen siirtyi vuodella ja samalla menetettiin yhden vuoden ajalta seurantatulokset. Näytteisiin tehtyjä kustannusvarauksia pystyttiin muutosanomuksin siirtämään hankkeen toteutuksen kannalta mielekkäästi materiaalianalyysiin ja laboratorioissa toteutettuun pilottiin.

Muutoksia syntyi myös hankkeen sisällä rakennuskohteen sijaintipaikan vaihtuessa ja rakentamisen sen johdosta siirtyessä kesästä myöhäiseen syksyyn. Syitä kohteen muuttumiselle olivat mm. maaperän rakennettavuus, vesilain tulkinnat sijoituskohteesta ja menetelmälle asetetut puhdistustavoitteet. Tuotteet, kuten erikoiskaivot, oli tilattava niiden toimitusaika huomioiden hyvissä ajoin ennen kesän lomakautta ja ne tilattiin aiottuun ensisijaiseen rakennuskohteeseen. Kaivot ja muu materiaali saatiinkin ajoissa, mutta rakennuskohteen muututtua kaivoja piti muokata kohteeseen sopiviksi.

Aikataulumuutokset loivat painetta myös työnjakoon. Työpanoksia jouduttiin toteuttamaan "se, joka ehtii"-tyyppisesti, ja venymistä aiheutti myös muuttuneiden aikataulujen vaikutukset toteuttajien muihin, hankkeen ulkopuolisiin, velvoitteisiin. Toteuttajien väliseen kustannusten kohdentamiseen oli tarvetta ja budjettien puolesta myös mahdollisuus, mutta avustusten erilainen laatu eri osatoteuttajille esti muutokset. Rahaa jäi siis käyttämättä, vaikka tutkimuksen kannalta järkeviä kustannusten kohdennuksia olisi ollut mm. valumaveden laadun analyyseissä ja toisaalta työpanoksissa. Esteiksi em. tulivat paitsi aikataulut, ennakoivien toimien sisällyttämisen mahdottomuus, myös erilaiset perusteet myönnettyissä avustuksissa hankkeen eri osatoteuttajille.

Kustannuslajimuutokset osatoteuttajien budjeteissa jäivät pieniksi. Pro Höytiäisen osalta matkakulut ylittyivät, koska työmaakäyntejä tuli em. syistä huomattavasti ennakoitua enemmän. Työmäärä oli ennakoitua isompi, se näkyi osin suurina työaikakirjauksina, siirrettiin osin talkoisiin ja osin jätettiin kokonaan kirjaamatta, huomioimatta, koska päärahoittajan kanta työsopimuksessa määritellyn työajan ylittymiseen oli epäselvää huolimatta työnantajan ylityö-/lisätyömääräyksestä. Materiaalikustannukset jäivät arvioitua pienemmiksi, samoin ostopalvelut eikä esimerkiksi Euroopassa käytävän sodan vaikutukset näkyneet vielä hinnoissa.

Oulun yliopiston budjetin osalta matkakustannusten käyttö jäi arvioitua pienemmäksi, mm. koska bioreaktorirakenteen seurantavaiheen töitä päästiin vasta aloittelemaan hankkeen lopussa ja live-esittelytilaisuudet jäivät myös arvioitua vähäisemmiksi. Toisaalta yliopiston osalta tarvittiin enemmän työaikaa, koska hankkeessa aloitettiin tekemään laboratoriotutkimuksia sienten mahdollisuudesta orgaanisen tyypin poistoon, ja koska näihin ei ollut varattu analyysimäärärahaa, analyysit tehtiin pääasiassa itse kittimenetelmillä. Lisäksi kittitestauksiin tarvittiin materiaaleja, joka lisäsi sen kululuokan osuutta jonkun verran.

Budjetin suunnittelua olisi vaikea tehdä tulevaisuudessakaan toisin ja tarkemmin, sillä ennalta arvaamattomat muutokset ovat aina mahdollisia sekä projektin toteutuksessa että maailmantaloudessa.

10. Hankkeen toteutus numeroina

KYSYMYS	lkm
Kuinka monta maanomistajaa on ollut mukana hankkeessa? Myös maanvuokraajat lasketaan.	6
Kuinka monta uutta menetelmää hankkeessa pilotoitiin?	4
Kuinka monta valuma-aluekohtaista / osa-valuma-aluekohtaista suunnitelmaa hankkeessa on laadittu? *	2
Mikä on valuma-aluekohtaisten suunnitelmien laajuus (pinta-ala, ha)?*	228
Kuinka monta tilaisuutta hanke on järjestänyt? Tässä huomioidaan tilaisuudet, joissa on mukana hankkeen ulkopuolisia osallistujia.	11
Kuinka monta osallistujaa on yhteensä ollut hankkeen järjestämissä tilaisuuksissa? Tässä huomioidaan tilaisuudet, joissa on mukana hankkeen ulkopuolisia osallistujia.	115
Kuinka moneen muiden järjestämään tilaisuuteen hanke / hankkeen edustajat ovat osallistuneet. Tässä huomioidaan vesienhallinnan teemaan liittyvät tilaisuudet. Esim. webinaariesittelyt/ Webinaarien arvioitu kuulijamäärät.	7
Kuinka monta viestintätuotetta hankkeessa on valmistunut? Viestintätuotteita ovat esimerkiksi tiedotteet/uutiset, blogit, videot, esitteet, podcastit, some, verkkosivut, lehtijutut yms.	8-11
Kuinka monta asiantuntija-artikkelia hankkeessa on valmistunut?	0

* Koereaktorin valuma-alue Suursuo 128 ha ja pilot-laitteiston Suuri Vehkasuon valuma-alue 100 ha

OSA II ITSEARVIO

11. Toteutusvaiheen arviointi

Edellä on useammassakin kohtaa tuotu esiin muutoksia SuVaKi -hankkeen toteutuksessa ja niiden vaikutuksia hankkeen tuloksiin. Aika oli keskeinen muuttuja. Rahoituspäätöksen viivästyminen siirsi rakentamista, mutta antoi mahdollisuuden pilot- rakenteelle ja tarkemmille tutkimuksille laboratoriossa. Kohdealueen sijaintiin vaikuttavat tekijät pitkittivät rakentamisen alkua, mutta toivat lisätietoa ja ymmärrystä vesiensuojelurakenteiden reunaehdoista. Tuloksia reaktorin toiminnasta

ehdittiin saada vain vähän, mutta toisaalta tuloksia saatiin odottamattomista asioista. Taulukossa alla esitetään muutamia keskeisimpiä asioita, jotka eri syistä joko saavutettiin tai jäivät saavuttamatta.

Taulukko 5. Muutamia keskeisimpiä asioita, niiden saavuttaminen (keskimääräistä paremmin +, tai keskimääräistä huonommin -), yllätykset, riskit/haasteet ja osaamisen kehittyminen.

Asia	+/-	Yllätykset	Riskit/ haasteet	Osaaminen
Valuma-alueen vedenlaatutarkastelut	-	Kohdealueen sijainti voi muuttua	Kohdealueen sijainti voi muuttua	Opastettuna vapaaehtoistyönä mahdollinen
Orgaanisen typenpoiston sienitestaukset	+/-	Täysin uutena mukaan	Testausten tulokset eivät olleet toivotunlaisia	Sienten käytöstä kertyi uutta tietoa
Koebioreaktorit	+/-	Vesiensojelu rakenteiden reunaehdot, kuten maaperän rakennettavuus, vesilain tulkinnat, veden laatu	Aiotut alkuperäiset paikat eivät soveltuneet, mutta etsimällä uusi paikka lopulta löytyi. Tähän kului aikaa.	Vesiensojelu rakenteiden sijoittamisesta, bioreaktorin rakentamisesta ja alkuvaiheen toiminnasta kertyi uutta osaamista
Menetelmän kustannustehokkuuden, vaikuttavuuden ja monistettavuuden arviointi	-	Koebioreaktorien rakentaminen viivästyi	Rakenteiden viivästyminen ei ollut ennakoitu riski, mutta se tarkoitti, että tätä tehtävää ei voitu suunnitellusti toteuttaa	Viivästysten syyt lisäsivät osittain tietoutta luontoon rakentamisesta
Viestintä	+/-	Yllättävät kohderyhmät ja positiivinen vastaanotto	Erilaiset etäisyydet, erikoisalajat ja -sanasto > mahdollisuus virheisiin	Kokonaisuuden kommunikointi, kohderyhmien tavoittaminen
Hankkeen koordinointi ja verkostoituminen	+/-	Maanomistajien kiinnostus ja myönteisyys	Erilaiset etäisyydet	Paikallinen osaaminen ja yhteistyö esiin

Hankkeen päätavoite, bioreaktorien tutkiminen metsätalousvesille, saatiin käyntiin hankkeen aikana ja tutkimuskenttä on vierailukunnossa. Bioreaktorin suunnittelussa ja rakentamisessa saatiin erittäin arvokasta käytännön kokemusta ja tietoa menetelmän skaalaamiseksi laajempaan käyttöön.

11.1 Hankkeen aikana kertynyttä tietoa ja tarkempaa kuvausta bioreaktorirakenteen reunaehdoista

Maanomistajasuostumukset

Vaikeinta oli maanomistajien selvittäminen, oikeiden henkilöiden löytäminen ja tavoittaminen, ei niinkään suostumuksen saaminen. Maanmittauslaitoksen maanomistajatiedoista mm. löytyi henkilö ja osoite, jota ei vuoden tutkimusten perusteella ole olemassa. MML myös antoi samasta kohteesta kahdet eri maanomistajatiedot. Selityksenä oli hidas järjestelmä, joka reagoi osin edellisen tilauksen tiedoin. Asia tuli työnjaon yhteydessä esiin, onneksemme ajoissa.

Maanomistajien jäljittäminen siis vie aikaa, aikaa vie myös asian selittäminen ja se kannattaa tehdä huolella. Pitää olla aikaa kertoa tavoitteista, pitää myös tarvittaessa olla aikaa maastossa käyntiin, ollaanhan pyytämässä lupaa kaataa puut ja sijoittaa pysyviä rakenteita toisen maalle. Kun molempia osapuolia tyydyttävä suostumus on allekirjoitettu, on hyvä tapa jatkaa yhteydenpitoa kertomalla kohdealueen tapahtumista. Molempien kiinteistöjen omistajat vierailivat alueella, heille myös toimitettiin kuvia rakentamisen eri vaiheista. Järviyhdistykselle yhteydenpito toi uusia jäseniä

Maanomistajien lähestyminen konkreettisella asialla oli parasta viestintää, Yhteydenpito prosessin aikana on tärkeää, myös 'kiitos valmiudesta osallistua, mutta kohde ei soveltunut tarkoitukseen' -viestintää.



Kuva 37. Maastokatselmus (Kuva Kirsi Karhio)

Rakennettavuus

Ensisijainen rakennuskohde osoittautui testikaivuissa maaperältään tarkoitukseen sopimattomaksi. Paineellinen pohjavesi ja hieno hiekka eivät mahdollistaisi kalvorakenteisen tutkimusreaktorin toteutusta. Tätä mahdollisuutta ei osattu ennakoida, mutta urakoitsijan paikallistuntemus ja vankka kokemus huomioi heikon rakennettavuuden ja kesäkuussa rakentamisen sijaan alkoikin uuden kohdealueen etsiminen.

Kalvorakenteiden haasteista huolimatta urakoitsija-asiantuntija-keskusteluiden perusteella menetelmä olisi kohtuullisen laaja-alaisesti rakennettavissa ei-jatkuvan virtaaman ojien yhteyteen. Rakenne on myös toteutettavissa ilman tutkimuskäyttöön tarvittavia kaivoja ja kalvoja kohtuullisen edullisesti.



Kuva 38: Koerakenteen rakennettavuuden tutkimusta testikaivuilla ensimmäisellä sijoituspaikalla (Kuva Juha-Pekka Saarelainen)

Saavutettavuus

Mielenkiintoisia rakennuskohteita Rauanjoen ja Kiskonjoen valuma-alueilla tunnistettiin useita, mutta etenkin tutkimustarkoituksiin rakennettaessa on kohteen hyvä saavutettavuus edellytys. Tie kohteeseen tarvitaan jo rakennusmateriaalien vuoksi, myös näytteenottoon. Talviaikainen saavutettavuuden tarve tulee myös ottaa huomioon, metsätiet eivät välttämättä ole talvikunnossapidon kohteina.



Kuvat 39 a ja b. Tutkimusreaktorissa tarvitaan paljon erilaisia materiaaleja: kuvissa osa niistä, erikoiskaivoja, biohiiltä suodatinmateriaaliksi sekä murskeen toimitus ylivirtaamaojan eroosiosuojausta varten. (Kuvat Kirsi Karhio)

Vesilaki, metsälaki

Esteettömyys alueen rakentamiseen vesilain ja metsälain näkökulmasta kannattaa tarkistaa hyvissä ajoin. Hankkeessa oli onnea, kun kesälomakaudesta huolimatta vastaukset saatiin pikaisesti. Vesilaki esti hankkeen toissijaisen kohteen rakentamisen Rauanjokivarressa, koska rakennettavaksi aiotun uoman katsottiin olevan luonnontilaisen kaltainen.



Kuva 40. Rakennettavaksi aiottu uoma, joka vesilain mukaan oli luonnontilaisen kaltainen, vaikkakin käsitelty (Kuva Kirsi Karhio)

Puhdistustavoite

Kartta- ja paikkatietotarkastelun "osumaprosentti" oli varsin hyvä. Maastokäynnit ja vesinäytteet pääsääntöisesti vahvistivat oletukset suuren kuormituksen kohteista. Karttatarkasteluissa käytettiin

ilmakuvaa, maastokartta ja maaperäkarttaa. Myös yhdistyksen drone oli käytössä. Tutkimusalueella ei ollut käytettävissä laserkeilausaineistoa (tehdään 2022–2023), joka vielä entisestään tarkentaisi vedenkäsittelypaikkojen löytämistä.

Kolmas ehdolla ollut rakentamisen kohde ei vastannut hankkeen puhdistustavoitteisiin, vedenlaatu oli liian hyvä. Muutenkin on tärkeää miettiä rakenteen sijoitus mahdollisimman lähelle päästölähdettä, jolloin pitoisuudet ovat suurimmillaan eikä vesi ole vielä laimentunut muilla vesillä.



Kuva 41. Vesi näytti ”riittävä” likaiselta, mutta analyysi osoitti vedenlaadun olevan riittämätön reaktoreille asetettuihin puhdistustavoitteisiin (Kuva Juha-Pekka Saarelainen)

Osaajien rekrytointi

Käytännön kokemuksena ja myös tulevaisuuden toiveena on, että hankintojen kilpailutuksessa huomioitaisiin toimintaympäristö. Analyysilaboratorioille tarjouspyyntöihin vastaaminen on arkipäivää, mutta esimerkiksi parhaimmilla kaivinkoneurakoitsijoilla on töitä muutenkin eivätkä he lähde edes mukaan kilpailutuksiin, jos se tarkoittaa paperityötä. Tuntihinta ja referenssit osaamiseen on riittävä informaatio, joista jälkimmäinen on yleensä tiedossa eikä sen kirjallinen todentaminen ole tarpeen. Hankkeiden toteuttaminen on yhteistyötä ja erilainen osaaminen on arvokasta. Käytännön osaajilta ei pidä eikä voi odottaa samaa kuin lomakkeiden parissa työtään tekeviltä.

Bioreaktorin rakentamiseen tarvittavaa osaamista löytyy useimmilta urakoitsijoilta, kunhan toimintaperiaatteet ja tavoitteet saadaan tarpeeksi selkeästi esitettyä suunnitelmissa. Bioreaktorin rakentamiskokemuksia voidaan pitää yleisesti hyvänä. Urakoitsijalla oli kokemusta haja-asutuksen jätevesiratkaisujen tekemisestä ja niihin verrattuna urakoitsija koki rakenteen varsin yksinkertaiseksi. Rakennustöiden yhteydessä tehdyssä suunnittelussa saatiin monta käytännön innovaatiota riskirakenteiden hallitsemiseksi. Näitä rakenteita oli mm. virtauksensäätörakenteiden suodattimet ja virtauksenohjaimet, pintaverhoilut ja näytteenottokaivon ratkaisut. Näiden pitkäaikaistoimivuudesta odotamme innolla kokemuksia.

11.2 Yhdessä tekeminen ja hyvä kommunikointi on, ja olisi, hyvin tärkeää

Viestintä on vaikea laji ja etenkin, jos on kommunikoitava monella kielellä. Tässä hankkeessa puhuttuina kielinä olivat suomi ja englanti ja yhteistyötä tehtiin useampaa kansallisuutta edustavien toimijoiden kanssa. Haastetta lisäsivät erityisalajat ja niihin liittyvä sanasto. Esimerkkeinä hankkeen erilaisista kielistä käyvät myös laboratorion, suunnittelun, käytännön rakentamisen ja byrokratian kielet. Ymmärrys niiden välillä helpottuu, jos on mahdollista tavata kulloisenkin työn tai kohteen äärellä. Yhdessä tehden ratkaisut löytyvät tai syntyy pidemmälle kantava oivallus eri asioiden vaatimuksista. Olennaista on myös avata kokonaisuutta riittävästi kaikille osapuolille. Se vaikuttaa motivaatioon ja yhteishenkeen, lisää luottamusta ja näkyy todennäköisesti lopputuloksessa.

11.3 Valvonnan ja ohjauksen onnistuminen, ml. verkostoituminen

Rahoitusohjelma oli uusi ja sen ohjeistuksen viestittiin rakentuvan osin jälkijättöisesti, yhtä aikaa hankkeiden toteuttamisen kanssa ja kokemusten myötä. Ohjaus hankkeen muodollisuuksiin ja sääntöihin oli hyvällä tahdolla tehtyä, mutta tarttumapintaa ei eri asioihin juuri löytynyt ts. vaikeudet tunnistetaan, mutta säädökset ja asetukset eivät juuri joustaa eikä ohjelman keskeneräinen, vasta muotoutumassa ollut ohjeistus antanut kovinkaan selkeitä vastauksia. Lyhyen toteutusajan aikana hankkeen valvojat vaihtuivat (Pohjois-Pohjanmaan ELY kolme eri valvojaa ja Pohjois-Karjan ELY kaksi eri valvojaa) ja luonnollisesti jokaisen tulkinnat asioihin ovat mukana vaikuttamassa.

Jos mahdollisuus joustaa puuttuu, saattavat tehdyt päätökset toimia hankkeen tavoitteiden edistymisen vastaisesti tai, kuten useimmiten, kun hanke ja oma työ koetaan merkityksellisiksi, hanketoteuttajien etujen vastaisesti.

Esimerkkeinä tällaisista ohjelmaan ja/tai valvontaan sisältyneistä epäkohdista ja ristiriitaisuuksista, jotka liittyivät aikaan ja ajankäyttöön ja joissa molemminpuolinen – hanketoteuttajien ja valvojien – joustavuus olisi selkeä mahdollisuus, mutta tulkinnat aiheuttavat epävarmuutta, oli mm.:

- kehoitus ennakoida hyvissä ajoin hankkeen loppumisen aikaistumiseen, että olennaiset asiat hankkeessa tulevat toteutetuiksi ja hankkeeseen myönnetyt ja jo käytetyt rahat tulevat hyödynnetyiksi vs. yli-/lisätyökielto.
Ilman yli-/lisätyötä lyhyen hankeajan vielä lyhentyessä ei tavoitteisiin yksinkertaisesti yllätä. Hanketoteuttajien näkökulmasta töiden kesken jättäminen ei myöskään ole vaihtoehto, sen sijaan yli-/lisätyöt ovat.
- kehoitus ennakoida hankkeen loppumisen aikaistuminen, kuten edellä vs. ennako-ostojen kielto.

Em. asiat olivat paikoin hankaloittamassa toteutusta. Kun maksuspäätökset viivästyvät - vaikka selvityspyyntöihin on vastattu ajallaan - ohi hankkeelle annetun deadlinen ja loppuraportin ja – maksatuksen jättäminen järjestelmään on mahdotonta eikä yhteydenottopyyntöihin vastata, aiheuttaa tilanne huolta. Hanketoteuttajilla on vastuu myös nk. omarahoittajia ja välirahoittajia kohtaan. Joustavuutta edellytetään jo toteutuneiden kustannusten periaatteella tehtävästä työstä, jolloin palkkoja – ja/tai niiden lopullista hyväksymistä - saattaa joutua odottamaan pahimmillaan puolikin vuotta.

Verkostoitumiseen tarkoitetut webinaarit olivat ratkaisu tiedon välitykseen. Harmittavasti vain hankeajaksi ei mahdollistanut verkostoitumisen etenemistä hyödyntämiseen asti.

Lähdeluettelo:

Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Tattari, S., Huttunen, M., Härkönen, L., Joensuu, S., 2020.

Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020 / Valtioneuvoston julkaisu

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162009/VNTEAS_2020_6.pdf

Jolkkonen, Heiskanen, 2020. Höytiäiseen laskevan Rauanjoen vesistöalueen nykytila ja

kunnostustarpeen arviointi. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020060115700>

Postila, H., Ronkanen, A.-K., Marttila, H., Kløve, B. 2015. Hydrology and hydraulics of treatment wetlands constructed on drained peatlands. Ecological Engineering 75: 232–241.

Postila, H., Heiderscheidt, E., Korhonen, A., Lehosmaa, K., Nilivaara, R., Ronkanen, A.-K.,

Ruotsalainen, A. L., Visuri, M., Wäli, P. 2021. Passiiviset hybridipuhdistusratkaisut arktisten

valumavesien typen ja raskasmetallien puhdistamiseen –HybArkt-hankkeen loppuraportti. Suomen

ympäristökeskuksen raportteja 1/2021. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/324496>

Vuollekoski, M., Joensuu, S., 2006. MESUVE-hankkeessa perustettujen erityisalueiden tuloksia.

Teoksessa: Kenttämies, K., Mattsson, T., (toim.) Metsätalouden vesistökuormitus MESUVE- projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816, s. 113–119. Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40492/SY_816.pdf?sequence=1

Liite 2. Bioreaktoreiden rakentamisen vaiheita Polvijärven Pyöräkankaalla, Suursuon valuma-alueella.



a. Runkojen raivaus



b. Laskuojan perkaus



c. Puusto on raivattu ja rakentaminen voi alkaa



d. Reaktoriyömaan vaaitus tasolaserilla



Ensimmäinen salaoja



f. Hiekka tasaa pohjan rosot ja suojaa rakennetta



Kaivon sovitus reaktoriin



h. Kalvot estävät ulkopuoliset valumat

g.



i. Haketta suodattimeksi



j. Väliseinät ohjaavat virtaamat tasaisesti koko rakenteeseen



k. Kaivon korkoeron tarkistus



l. 1. reaktori puolivälissä



m. Työympäristön siistimistä



n. Työvälineiden huoltoa



o. Biohiiltä hakkeen sekaan



p. Biohiili-lehtipuuhakeseos



q Reaktorin "Huputus"
ohjattavat



r. Huputettu ts. vain Suursuon laskuojasta
vedet pääsevät reaktoriin



s. Routamatto bioreaktorin eristeeksi



t. Ylivirtaamoojan eroosiosuojaus murskeella

Loggerit kaivossa mittaamassa
sähkönjohtavuutta

v. Ensilumi tutkimuskentällä

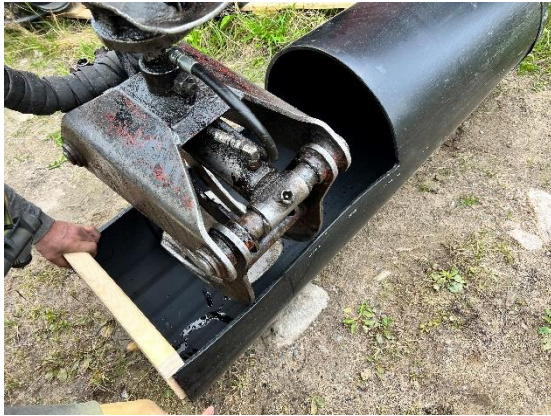
u.



x. Tuloputkien tiivistämistä



y. Kaivojen säätöä



z. ja å Rakenteita tuunattiin kohteen vaatimuksiin työn eri vaiheissa



ä. Reikäkantta muuttamalla säädetään tulevaa virtaamaa



ö. Työvälineet tarpeiden mukaan: kaivon reaktoriin mitoitettu hakekaira

Kuvat rakennusvaiheesta:

Jyrki Repo / a, b, c

Kirsi Karhio / d, e, h, i, j, k, l, m, n, t, u, v, x, y, z, å, ä, ö)

Pekka Karvonen / f, g, o, p, q, r, s

Liite 3. Koebioreaktoreista analysoidut vedenlaatutulokset.

Näytteen ottopiste	Näyte- päivä	Liennut happi		Kiintoaine (GF/C) (mg/l)	TOC (mg/l)	DOC (mg/l)	Kokonais- typpi (µg/l)	Ammoniu- m-typpi (NH4-N) (µg/l)	Nitraatti- typpi (NO3-N) (µg/l)	Fosfori (P) (µg/l)	Fosfaatti- fosfori (PO4-P) (µg/l)	Typpi, liukoinen (µg/l)	Rauta (Fe) (µg/l)
		pH	(O2) (mg/l)										
Suursuo, ojavesi	12.9.22		9,6	5,5	19	16	1000	400	140	17	3,3	1000	2700
Suursuo, ojavesi	21.9.22		9,8	8,5	30	27	870	97	9,5	20	3,9	870	2700
Suursuo, ojavesi	10.10.22		7,8	2	57	56	1200	31	26	31	2,6	1100	2300
Suursuo, ojavesi	26.10.22	6,1	10,7	1,8	40	38	750	60	40	16	3,2	720	1900
Inflow water before settling pond	9.11.22	4,5	8,5	3,9	64	60	1300	33	33	25	3,4	1200	2000
Suursuo, ojavesi	9.11.22	4,5	8,2	2,9	63	61	1200	34	34	24	3,6	1100	2100
Inflow water after settling ponds	9.11.22	4,6	8,5	3	63	61	1300	34	35	24	3,2	1100	2000
BRwood_ start	26.10.22	5,4	2,5	21	42	41	930	17	<5	76	17	650	1600
BRwood_ start	9.11.22	4,9	3,2	80	62	60	1300	27	6,9	53	7,1	1100	2100
BRwood_ middle	26.10.22	5,2	0,7	67	49	45	1100	18	<5	130	51	720	1300
BRwood_ middle	9.11.22	5,2	0,2	46	66	59	1300	29	7,3	120	46	1100	2000
BRwood_ end	26.10.22	5,2	0,5	150	50	47	1100	21	5,4	160	66	730	1400
BRwood_ end	9.11.22	5,3	0,5	20	64	57	1500	27	5,6	180	84	1000	1400
BRwood_ outflow	10.10.22		<0.2	3,6	81	76	1400	30	<5	310	210	1700	650
BRwood_ outflow	26.10.22	5,1	0,3	1,4	67	67	1000	21	<5	220	170	870	990
BRwood_ outflow	9.11.22	5,1	<0.2	1,5	68	66	1100	26	9,1	140	92	1100	990
BRwood+ biochar_s tart	26.10.22	5,5	3,6	21	40	38	770	19	5,9	67	15	630	1700
BRwood+ biochar_s tart	9.11.22	4	2,4	210	63	59	1500	27	<5	110	22	1000	2800
BRwood+ biochar_ middle	26.10.22	5,3	0,4	69	52	51	1200	20	<5	150	72	730	1500
BRwood+ biochar_ middle	9.11.22	5,4	0,4	11	63	58	1600	26	<5	180	65	1000	1600
BRwood+ biochar_e nd	26.10.22	5,2	0,3	80	60	57	1100	19	5,2	190	120	730	1200
BRwood+ biochar_e nd	9.11.22	5,3	<0.2	38	67	63	1200	25	<5	180	94	1100	1300
BRwood+ biochar_ outflow	10.10.22		<0.2	3,7	77	75	1400	29	5,4	260	170	1200	760
BRwood+ biochar_ outflow	26.10.22	5,1	<0.2	1,6	67	63	920	20	<5	190	150	780	1200
BRwood+ biochar_ outflow	9.11.22	5,1	<0.2	1,5	72	70	1200	25	11	190	140	1100	1200

Liite 4. Bioreaktorin periaatekuva

