



**BIOHIILI- JA
RANKANIPPUSUODATUSMENETELMIEN
VAIKUTUKSET RENKAJÄRVEN ALUEEN
OJAVESIEN LAATUUN KESÄ- JA
SYSSAIKAAN**

Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Kestävän kehityksen koulutus

Syksy 2024

Salla Saario

Kestävän kehityksen koulutus

Tekijä Salla Saario

Työn nimi Biohiili- ja rankanippusuodatusmenetelmien vaikutukset Renkajärven alueen ojavesien laatuun kesä- ja syysaikaan

Ohjaaja Leila Tuomiala-Mäkelä

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, millaisia vaikutuksia biohiili- ja rankanippusuodatusmenetelmillä on ojavesien laatuun Kanta-Hämeessä sijaitsevan Renkajärven alueella. Työn toimeksiantaja oli Renkajärven suojeluyhdistys ry. Opinnäytetyössä jatkettiin aiemmin vuonna 2024 aloitettua selvitystyötä, jossa tutkittiin suodatusmenetelmien vaikutuksia vedenlaatuun talvi- ja kevätaikaan. Tässä työssä keskityttiin selvittämään suodatusmenetelmien kesä- ja syysaikaisia vaikutuksia. Keskeisenä tavoitteena oli verrata tämän työn aikana saatuja tuloksia aikaisemman selvitystyön tuloksiin. Lisäksi tavoitteena oli antaa työn toimeksiantajalle kaikkiin vuoden 2024 aikana saatuihin tuloksiin perustuvia jatkotoimenpide-ehdotuksia koskien suodatusmenetelmien hyödyntämistä Renkajärven alueella yhtenä vesiensuojelun tehostamiskeinona.

Biohiili- ja rankanippusuodatusmenetelmien vaikutusten selvittämiseksi tutkittavista ojista otettiin vesinäytteet kahtena eri ajankohtana. Ensimmäinen näytteenottokerta toteutettiin loppukesästä, kun pintavalunta oli vielä vähäinen. Toiset vesinäytteet otettiin loppusyksystä syysvalunnan aikaan. Tutkimuskohteina olleiden ojien vesistä määritettiin näytteenoton yhteydessä lämpötila, happipitoisuus, hapen kyllästysaste, pH, sähkönjohtavuus ja virtaama. Vesinäytteet analysoitiin laboratoriossa ja niistä määritettiin kokonaisfosforin, kokonaistypen, kiintoaineen ja orgaanisen kokonaishiilen pitoisuudet. Vesinäytteiden laboratorioanalyysistä vastasi Helsingin yliopiston Lammin biologinen asema. Vesinäytteiden ja maastossa tehtyjen mittausten tulokset analysoitiin vesistötulosten tulkintaa käsittelevien teosten avulla. Suodatusmenetelmien puhdistustehon arvioimiseksi tarkasteltiin eri näytteenottopisteiltä saatujen tulosten välisiä eroavaisuuksia.

Vesinäytteistä saatuihin tuloksiin perustuen vedenlaatu kummassakin tutkimuskohteena olleessa ojassa oli kohteille suhteellisen tyypillinen, kun otettiin huomioon ojien valuma-alueiden ominaisuuksien ja vuodenajoille tyypillisten olosuhteiden vaikutukset tuloksiin. Rankanippusuodatusmenetelmän osalta ojaveden ravinne- ja kiintoainepitoisuudet olivat suodattimen läpi virranneessa vedessä alhaisemmat lähes kaikissa vuoden 2024 aikana otetuissa vesinäytteissä. Sen sijaan biohiilisuodattimen vaikutukset ojaveden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksiin jäivät vähäisiksi. Johtopäätöksenä todettiin, että saatujen tulosten perusteella rankanippusuodatusmenetelmä soveltuu mahdollisesti biohiilisuodatinta paremmin vesiensuojelun tehostamiskeinoksi Renkajärven alueella.

Avainsanat Vesiensuojelu, biohiilisuodatus, rankanippusuodatus

Sivut 46 sivua ja liitteitä 1 sivu

Degree Programme in Sustainable Development

Author Salla Saario

Subject The Effects of Biochar and Log Filters on Ditch Water Quality in the Lake Renkajärvi Area in Summer and Autumn

Supervisor Leila Tuomiala-Mäkelä

Abstract

Year 2024

The purpose of this thesis was to study the effects of biochar and logs as water filtration methods in the area of Lake Renkajärvi which is located in Kanta-Häme region. The commissioner of this thesis was Renkajärven suojeluyhdistys ry which is an association that concentrates on the conservation of local lake and river systems. This thesis continued a study that started earlier in 2024, in which the effects of the water filtration methods on ditch water quality in winter and spring were studied. This thesis focused on the effects in summer and autumn. One of the main objectives was to compare the results of this study with the results of the previous study. In addition, the aim was to provide the commissioner with proposals for follow-up measures based on all the results obtained from the two studies regarding the water filtration methods in Lake Renkajärvi area in the future.

In this thesis, water samples were taken from the studied ditches in two different seasons to find out how the water filtration methods affect the water quality in different conditions. The first water samples were taken at the end of summer when the runoff volume was as low as possible. The second samples were taken in late autumn when the runoff volume had increased. Variables that were determined straight from the ditches were water temperature, dissolved oxygen, oxygen saturation, pH, conductivity and flow rate. The water samples were analysed in a laboratory by the University of Helsinki's Lammi Biological Station. The amounts of total phosphorus, total nitrogen, suspended solids and total organic carbon were determined from the water samples in laboratory analysis. Thereafter, the results of field measurements and laboratory analysis were analysed with the help of different water quality guides. To evaluate the filtration capacity and the cleaning efficiency of the studied methods, the differences between the results obtained from the different sampling points were examined.

Based on the results of the field measurement and laboratory analyses, the water quality in both studied ditches was relatively typical considering effects of the characteristics of the surrounding areas and seasonal changes in runoff volume that most likely affect the results. The total nutrient and suspended solid content was lower in almost all water samples that were taken from the water flowing through the log filter. On the other hand, the biochar filter had lower impact on the amounts of total nutrients and suspended solids. In conclusion, according to the results of this and the previous study, logs are possibly more suitable solution than a biochar filter used as a means of improving water conservation in the Renkajärvi area.

Keywords Water conservation, biochar filtration, log filtration

Pages 46 pages and appendices 1 page

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Vesiensuojelu	2
2.1	Vesistökuormitus.....	4
2.2	Ilmastomuutoksen vaikutukset vesistöihin.....	7
2.3	Vesistön tilan määrittely	7
3	Vesiensuojelumenetelmät	10
3.1	Biohiilen hyödyntäminen vesistökuormituksen vähentämisessä.....	11
3.2	Rankanippujen hyödyntäminen vesistökuormituksen vähentämisessä.....	13
4	Renkajärvi.....	15
4.1	Kadonneensuonojan biohiilisuodatin	16
4.2	Haapasuonojan rankanippusuodattimet	18
5	Aineisto ja menetelmät.....	19
5.1	Vesinäytteenotto ja maastomittaukset.....	19
5.1.1	Vesinäytteenoton ja maastomittausten suunnittelu	21
5.1.2	Näytteenottopäivien olosuhteet.....	22
5.1.3	Vesinäytteenoton ja maastomittausten toteutus.....	23
5.2	Vesinäytteiden laboratorioanalyysi	24
5.3	Tulosten analysointimenetelmät.....	25
6	Tulosten esittely	25
7	Tulosten analysointi ja vertailu	27
7.1	Kadonneensuonojan tulokset.....	28
7.2	Haapasuonojan tulokset.....	36
8	Johtopäätökset ja jatkotoimenpide-ehdotukset.....	43
9	Pohdinta.....	45
	Lähteet	47

Kuvat

Kuva 1. Biohiilen rakenne mikrometriä tarkkuudella (Carbons Finland Oy, n.d.). 12

Kuva 2. Uppopuun pinnalla kasvavan päälyskasvuston koostumus (Suomen ympäristökeskus, 2021). 14

Kuva 3. Karttakuva Renkajärvestä ja sen lähialueista (MML, 2024).....	16
Kuva 4. Kadonneensuonojan laskeutusaltaan ja biohiilisuodattimen sijainti (mukaillen MML, n.d.).....	17
Kuva 5. Haapasuonojan rankanippusuodattimien sijainnit (mukaillen MML, n.d.).....	18
Kuva 6. Kadonneensuonojan mittaus- ja näytteenottopisteet.....	20
Kuva 7. Haapasuonojan mittaus- ja näytteenottopisteet.....	21
Kuva 8. Kiintoainepitoisuuden ja virtaaman suhde Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, ss. 38–39).....	29
Kuva 9. Kokonaisfosforin ja kiintoaineen suhde Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 39).....	30
Kuva 10. Kokonaistypen ja kiintoaineen suhde Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 39).....	32
Kuva 11. Orgaanisen kokonaishiilen ja kiintoaineen suhde Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 39).....	33
Kuva 12. Ojaveden lämpötilan ja hapen kyllästysasteen suhde Kadonneensuonojan mittauspisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 38).....	34
Kuva 13. Kiintoainepitoisuuden ja virtaaman suhde Haapasuonojan mittaus- ja näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 38).....	37
Kuva 14. Kokonaisfosforin ja kiintoaineen suhde Haapasuonojan näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 38).....	38
Kuva 15. Kokonaistypen ja kiintoaineen suhde Haapasuonojan näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 38).....	39
Kuva 16. Orgaanisen kokonaishiilen ja kiintoaineen suhde Haapasuonojan näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 38).....	40

Kuva 17. Ojaveden lämpötilan ja hapen kyllästysasteen suhde Haapasuonojan
näytteenottopisteillä (mukailten Bergman, 2024, s. 37). 41

Liitteet

Liite 1. Aineistonhallintasuunnitelma

1 Johdanto

Puhdas vesi on arvokas luonnonvara, ja vesiympäristöt ovat merkityksellisiä niiden tuottamien lukuisten ekosysteemipalveluiden ansiosta. Tässä yhteydessä ekosysteemipalveluilla tarkoitetaan erilaisia aineellisia ja aineettomia hyötyjä, joita vesiympäristöistä saadaan. Vesistöt ja vesiympäristöt toimivat muun muassa puhtaan juomaveden lähteenä, elinkeinona, virkistysalueina ja kulkuväylinä. Ihmistoiminta kuitenkin kuormittaa vesistöjä ja siten heikentää vesien tilaa. (Suomen Vesiensuojelun Keskusliitto Ry, n.d.) Lisäksi ilmastonmuutos uhkaa vesien tilaa ja vesiekosysteemejä (Suomen ympäristökeskus, n.d.-a). Ihmistoiminnan ja ilmastonmuutoksen negatiivisten vaikutusten minimoimiseksi vesiympäristöjä tulee suojella. Koska vesistöt ovat ainutlaatuisia elinympäristöjä, on niiden suojeleminen tärkeää niin luonnon monimuotoisuuden turvaamisen kuin sen kannalta, että tulevatkin sukupolvet pystyvät hyödyntämään vesiympäristöjen tarjoamia ekosysteemipalveluita (Suomen Vesiensuojelun Keskusliitto Ry, n.d.).

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia biohiili- ja rankanippusuodatuksen vaikutuksia ojavesien laatuun Kanta-Hämeessä sijaitsevan Renkajärven alueella. Työn toimeksiantaja oli vuonna 2008 perustettu Renkajärven suojeluyhdistys ry, joka edistää ympäristönsuojelua Renkajärven, Kynnösjärven, Veittijärven ja Renkajoen valuma-alueilla (Renkajärven suojeluyhdistys ry, 2022). Vesistön valuma-alueella tarkoitetaan aluetta, jonne satava vesi kulkeutuu kyseiseen vesistöön maanpinnan muotojen ohjaamana (Vesi.fi, n.d.-a). Suojeluyhdistyksen toimesta alueella on toteutettu useita ympäristön tilan parantamiseen ja suojelemiseen tähtäviä hankkeita, joista yhtenä esimerkkinä toimii biohiilisuodattimen ja rankanippusuodattimien rakentaminen Renkajärveen ja Onkilammiin laskeviin ojiin (Renkajärven suojeluyhdistys ry, 2022). Biohiili- ja rankanippusuodatus ovat verrattain uusia vesiensuojelumenetelmiä, minkä vuoksi suojeluyhdistys kaipasi tietoa niiden vaikutuksista ja soveltuvuudesta Renkajärven alueelle.

Tämä opinnäytetyö on jatkoa Maarit Bergmanin aiemmin vuonna 2024 tekemälle opinnäytetyölle, jossa tarkasteltiin Renkajärven alueella sijaitsevien biohiili- ja rankanippusuodattimien vaikutuksia Renkajärveen laskevien ojien vedenlaatuun talvi- ja kevätolosuhteissa. Tässä opinnäytetyössä suodatusmenetelmien vaikutusten tarkastelu puolestaan keskittyy kesä- ja syysolosuhteisiin. Näin ollen tämän työn keskeinen tavoite oli täydentää aiemmin aloitettua tutkimusta niin, että tutkimustulokset kattavat jokaisen vuodenajan, ja tämän pohjalta arvioida suodatusmenetelmien vaikutuksia ojavesien laatuun.

Lisäksi tavoitteena oli selvittää, soveltuvatko biohiili- ja rankanippusuodatusmenetelmät hyödynnettäväksi muissa Renkajärveen laskevissa ojissa ja uomissa.

Tämän opinnäytetyön keskeisten tavoitteiden pohjalta muotoutui kaksi tutkimuskysymystä, joihin tässä työssä vastataan. Ensimmäinen tutkimuskysymys on: ”Miten biohiilisuodatin ja rankanippusuodattimet vaikuttavat Renkajärven alueella sijaitsevien ojien vedenlaatuun?” ja toinen tutkimuskysymys on: ”Miten työn toimeksiantaja voisi jatkossa hyödyntää kyseisiä vesiensuojelumenetelmiä ulkoisen kuormituksen vähentämiseksi Renkajärven alueella?”.

Biohiili- ja rankanippusuodatuksen vaikutusten tutkimiseksi kahdesta Renkajärven alueella sijaitsevasta ojasta otettiin tämän opinnäytetyöprosessin puitteissa vesinäytteet kahtena eri ajankohtana. Vesinäytteet analysoitiin laboratoriossa Helsingin yliopiston Lammin biologisen aseman toimesta. Lisäksi tutkimuskohteina toimivien ojien vedenlaadun määrittämiseksi ojavesien laatua tutkittiin vesinäytteenoton ohessa suoritetun maastomittausten avulla. Tämä työ sisältää vesinäytteenotto- ja maastomittaustulosten analysoinnin sekä vertailun Bergmanin opinnäytetyön tuloksiin. Lisäksi työssä esitetään tuloksiin perustuvat johtopäätökset ja annetaan työn toimeksiantajalle jatkotoimenpide-ehtoja liittyen suodatusmenetelmien vaikutusten seurantaan ja mahdolliseen laajempaan hyödyntämiseen Renkajärven alueella.

2 Vesiensuojelu

Vesistöihin valuu luonnonhuuhtoumana erilaisia aineita, kuten kiintoainetta ja ravinteita. Vesistön ekologinen luonnontila perustuu aineiden luontaiseen kiertoon, kun ihmistoiminta ei vaikuta siihen. (Westberg ym., 2021, s. 36) Vesistöjen tilaan vaikuttaa kuitenkin oleellisesti vesistöjen luontaisten ominaisuuksien lisäksi ihmistoiminnasta peräisin oleva ravinnekuormitus, sillä typpikuormituksesta vajaa kaksi kolmasosaa ja fosforikuormituksesta noin kolme neljäsosaa aiheutuu ihmistoiminnasta (Suomen ympäristökeskus, 2024a). Vesistöön kohdistuvan kuormituksen määrään ja laatuun vaikuttaa esimerkiksi vesistön valuma-alueen maankäyttö ja se, kuinka laajasti vesiensuojelun toimenpiteitä hyödynnetään eri maankäyttömuotojen yhteydessä (Suomen Vesiensuojelun Keskusliitto Ry, n.d.).

Suomessa vesistöjen tila on kohentunut merkittävästi 1970-luvun jälkeen taajamien ja teollisuuden vesiensuojelutoimenpiteiden aloittamisen myötä (Sarvilinna & Sammalkorpi, 2010, s. 7). Tällä hetkellä suurin osa Suomen järvistä on luokiteltu ekologiselta tilaltaan joko hyväksi tai erinomaiseksi. Tällaisten vesistöjen luonnontila ei ole merkittävästi tai pysyvästi

heikentynyt ihmistoiminnan seurauksena. Tästä huolimatta esimerkiksi rehevöityminen vaikuttaa edelleen negatiivisesti erityisesti pienikokoisten ja matalien järvien ekologiseen tilaan. Jokien tila on järvien tilaan verrattuna jonkin verran heikompi. Jokien ekologista tilaa heikentävät muun muassa vesirakentamisen, kuten patoamisen, aiheuttamat elinympäristön muutokset sekä se, että jokia on perattu ja suoristettu. Suomessa pintavesien ekologinen tila ei ole huomattavasti kohentunut vuoden 2013 jälkeen. Pääsyyinä on todennäköisesti se, että maa- ja metsätaloudesta peräisin olevan kuormituksen määrä on pysynyt suurena. Lisäksi vesirakentamisen aiheuttamien muutosten korjaaminen virtavesissä on ollut haasteellista. (Suomen ympäristökeskus, 2024b)

Kansainvälinen ja kansallinen lainsäädäntö velvoittavat suojelemaan vesistöjä. Euroopan Unionin vesipolitiikan keskeisinä tavoitteina on turvata laadukkaan veden riittävä saatavuus ja pitää huolta siitä, että kaikkien Euroopan alueella sijaitsevien vesimuodostumien tila on vähintään hyvä. Tavoitteiden tukemiseksi on luotu vesipuitedirektiivi, jonka tarkoituksena on toimia lainsäädäntökehyksenä sisämaan pintavesien, jokisuiden vaihettumisalueiden, rannikkovesien ja pohjavesien suojelussa. Direktiivin tavoitteena on ehkäistä ja vähentää vesien saastumista, suojella vesiympäristöä ja parantaa sen tilaa, edistää kestävä kehityksen mukaista vedenkäyttöä sekä vähentää tulvista ja kuivuudesta aiheutuvia vaikutuksia. Vesipuitedirektiivin tavoitteiden saavuttamiseksi jokainen EU:n jäsenvaltio on velvollinen laatimaan vesistöaluekohtaiset vesienhoitosuunnitelmat ja suunnitelmia tarkentavat toimenpideohjelmat. (Kurrer & Petit, 2024)

Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (272/2011), valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006) ja valtioneuvoston asetus vesienhoitoalueista (1303/2004) ohjaavat vesienhoitoa kansallisella tasolla (Ympäristöministeriö, n.d.-a). Tämän lisäksi vesienhoidosta ja -suojelusta säädetään tarkemmin muun muassa ympäristönsuojelulaissa (527/2014) ja vesilaissa (587/2011) (Ympäristöministeriö, n.d.-b). Suomessa vesienhoidon järjestämistä ohjaa ympäristöministeriö yhdessä maa- ja metsätalousministeriön kanssa. Vesienhoitoaluekohtaisesta vesienhoidon suunnittelusta ja toteutuksesta vastaavat ELY-keskukset yhdessä muiden viranomaistahojen ja tutkimuslaitosten kanssa. (Ympäristöministeriö, n.d.-a)

Suomessa on yhteensä kahdeksan vesienhoitoaluetta, joista jokaiselle laaditaan oma vesienhoitosuunnitelma kuuden vuoden välein. Tämän lisäksi jokainen ELY-keskus laatii omaa aluettaan koskevan toimenpideohjelman. Vesienhoitosuunnitelmien ja toimenpideohjelmien keskeisimpänä tavoitteena on säilyttää pinta- ja pohjavedet hyvässä kunnossa, jotta myös tulevat sukupolvet pystyvät hyödyntämään niitä.

Vesienhoitosuunnitelmat sisältävät yleisemmän tason vesitietoa, kun taas toimenpideohjelmat sisältävät tarkempaa tietoa siitä, millaisia vesienhoidon toimenpiteitä vesienhoitoalueilla tarvitaan. (Suomen ympäristökeskus, 2024c) Tässä työssä tarkasteltava Renkajärvi ja sen valuma-alue sijaitsevat Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueella ja kuuluvat Hämeen vesienhoidon toimenpideohjelman piiriin (Mäkelä ym., 2022, s. 11; Westberg ym., 2021, s. 6).

2.1 Vesistökuormitus

Ulkoisella kuormituksella tarkoitetaan vesistön valuma-alueelta vesistöön kulkeutuvia ravinteita ja kiintoainetta (Vesi.fi, n.d.-b). Ulkoinen kuormitus voi olla joko haja- tai pistekuormitusta. Hajakuormituksen lähdettä ei pystytä paikantamaan tarkasti yhteen pisteeseen, sillä se koostuu useista pienistä lähteistä tulevasta kuormituksesta.

Hajakuormitus on tyypillisimmin peräisin maa- ja metsätaloudesta, haja-asutuksesta tai ilmalaskeumasta. (Haakana, 2018, s. 60; Westberg ym., 2021, s. 36) Ihmisen aiheuttamasta vesistöihin kohdistuvasta fosforikuormasta noin 90 % ja typpikuormasta noin 80 % on peräisin hajakuormituksesta (Suomen ympäristökeskus, 2024a).

Pistekuormituksen lähde pystytään usein määrittämään varsin tarkasti, jolloin sen tarkkailu ja päästöihin vaikuttaminen on helpompaa verrattuna hajakuormituslähteisiin. Esimerkkejä pistekuormituksen tyypillisimmistä lähteistä ovat teollisuuslaitokset, jätevedenpuhdistamot ja yksittäiset maatilat. (Haakana, 2018, s. 60; Westberg ym., 2021, s. 36) Teollisuusprosessien ja jätevesien käsittelyn tehostumisen myötä pistemäisistä kuormituslähteistä peräisin oleva ravinnekuormitus on vähentynyt huomattavasti 1900-luvun lopun jälkeen. Hajakuormituksen määrässä puolestaan ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. (Suomen ympäristökeskus, 2024a)

Veden virtaus irrottaa kiintoainetta maaperästä. Kiintoaine ja siihen kiinnittyneet ravinteet ja haitta-aineet kulkeutuvat veden mukana vesistöihin. Valuma-alueelta vesi kulkeutuu vesistöön joko pintavalunnan, pintakerrosvalunnan tai pohjavesivalunnan kautta.

Pintavalunnassa vesi kulkeutuu painovoiman vaikutuksesta vesistöön maan pintaa pitkin, kun taas pintakerrosvalunnassa vesi imeytyy maaperään ja kulkeutuu vesistöön maan pintakerroksissa. Pohjavesivalunnassa vesi imeytyy maaperään ja kulkeutuu vesistöön pohjavesien kautta. Suomessa valunnan määrä vaihtelee vuodenaikojen mukaan.

Kesäaikaan valunta on yleensä vähäistä, sillä vettä haihtuu merkittävästi ilmakehään ja imeytyy maaperään. Syysaikaan valunta on tyypillisesti runsasta, sillä haihdunta on vähäistä ja maaperä on yleensä veden kyllästämä, jolloin sadevesi ei pääse imeytymään maahan.

Talviaikaan valunta muodostuu kesäajan tapaan pitkälti pohjavesivalunnasta. Keväisin pinta- ja pintakerrosvalunta kasvavat voimakkaasti lumen sulamisvesien myötä. (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, ss. 75–76, 87, 169)

Merkittävin kiintoaine- ja ravinnekuormituksen lähde Suomessa on maatalous, sillä yli puolet kaikesta ihmistoiminnan seurauksena syntyvästä pintavesiin kohdistuvasta typpi- ja fosforikuormituksesta on peräisin maataloudesta (Suomen ympäristökeskus, 2022a). Maataloudesta aiheutuva vesistökuormitus on luonteeltaan hajakuormitusta, ja sen lähteitä ovat peltoviljely ja kotieläintalous. Tyypillisimmin maatalouskäytössä olevilta alueilta huuhtoutuu vesistöihin kiintoainetta ja ravinteita kasvukauden ulkopuolella syysateiden ja lumen sulamisvesien mukana. Kiintoaineen ja ravinteiden huuhtoutumisriskiin vaikuttavia tekijöitä on useita. Esimerkiksi pellon kaltevuus, maan rakenne, maalaji, vesitalous ja käytössä olevat maanmuokkausmenetelmät vaikuttavat siihen, kuinka herkästi kiintoaine ja siihen sitoutuneet ravinteet huuhtoutuvat pellolta vesistöön. Lisäksi huuhtoutumisriskiin vaikuttaa se, pidetäänkö pelto ympärivuotisesti kasvipeitteisenä, jolloin kasvillisuus sitoo kiintoainetta ja ravinteita myös kasvukauden ulkopuolella. Sään ja hydrologisten olosuhteiden muutokset aiheuttavat huomattavaa vaihtelua maataloudesta aiheutuvan vesistökuormituksen määrään vuotuisella tasolla. (Tattari ym., 2015, s. 30; ks. myös Kulmala, 2024)

Metsätaloudesta aiheutuva vesistökuormitus on luonteeltaan hajakuormitusta. Metsätalouden myötä vesistöihin kohdistuu kiintoaine-, ravinne-, metalli- ja happamuuskuormitusta. Tämän lisäksi metsätalouden toimenpiteiden yhteydessä vesistöihin voi huuhtoutua humusta eli liukoista orgaanista ainesta. Metsätaloudesta aiheutuvan kuormituksen osuus kaikesta ihmistoiminnan aiheuttamasta vesistökuormituksesta on suhteellisen pieni. Metsätalouden vaikutukset vesistöihin ovat kuitenkin pitkäaikaisia ja kohdistuvat usein kuormitukselle herkkiin latvavesiin. Vesistöön kohdistuvan kuormituksen määrä ja laatu riippuvat pitkälti toteutettavasta metsätalouden toimenpiteestä. Muita metsätalouden aiheuttamaan vesistökuormitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat maaston muodot, maalaji ja maaperän rakenne, käsiteltävän alueen koko sekä etäisyys vesistöä. Kunnostusojitusten yhteydessä vesistöihin huuhtoutuva kiintoaine on yksi merkittävimmistä metsätalouden vesistökuormitusta aiheuttavista tekijöistä. Koska fosfori ja typpi ovat usein sitoutuneena kiintoaineeseen, sen mukana vesistöihin kulkeutuu myös ravinteita. Ravinnekuormitusta aiheutuu lisäksi uudistushakkuiden myötä, kun hakkuutähteistä vapautuvat ravinteet huuhtoutuvat vesistöön. Toinen merkittävä ravinnekuormitusta aiheuttava tekijä metsätaloudessa on lannoitus. (Joensuu ym., 2019, ss. 7–8)

Liiallinen ravinnekuormitus rehevöittää vesistöjä. Tyypillisimpiä rehevöitymisen aiheuttamia ongelmia vesistöissä ovat muun muassa kasvi- ja eläinlajiston yksipuolistuminen, levien runsastuminen, sinileväkukintojen yleistyminen, rantojen umpeenkasvu ja vedenlaadun heikkeneminen. (Suomen ympäristökeskus; 2019) Fosfori ja typpi ovat perustuotannon minimitekijöitä, mikä tarkoittaa sitä, että kyseiset ravinteet rajoittavat levien ja kasvien kasvua. Fosforin ja typen määrän kasvu vesistöissä näkyy perustuotannon runsastumisena, jonka seurauksena vesi samenee ja kalaston rakenne muuttuu särkikalavaltaiseksi. Särkikalat käyttävät ravintonaan eläinplanktonia, joka puolestaan osaltaan vaikuttaa kasviplanktonin määrään. Kun kasvanut särkikalakanta syö eläinplanktonin vähiin, kasviplanktonin määrä pysyy runsaana. Runsaan kasvimassan hajottamiseen kuluu happea, mikä voi erityisesti talviaikaan pahimmillaan aiheuttaa vesistöissä happikatoa ja sen seurauksena kalakuolemia. Hyväkuntoinen pohjasedimentti kykenee pidättämään ravinteita, mutta hapettomasta sedimentistä ravinteita vapautuu uudelleen kiertoon. Sedimentistä vapautuvien ravinteiden aiheuttama sisäinen ravinnekuormitus pahentaa rehevöitymistä entisestään. (Haakana, 2018, ss. 60–61)

Yksi vesistökuormitusta aiheuttava tekijä on humus, jolla tarkoitetaan pääosin erilaisista hiiliyhdisteistä koostuvaa orgaanista ainesta, joka muodostuu kasvien, eläinten ja pieneliöiden epätäydellisen hajoamisen seurauksena. Humusta huuhtoutuu vesistöihin erityisesti suoalueilta. Suomen järvistä merkittävä osa on luontaisesti tummavetisiä valuma-alueelta huuhtoutuvan humuksen vuoksi. Humusvaikutteisissa järvissä humus on tärkeä osa ekosysteemiä, mutta ihmistoiminta lisää humuksen huuhtoutumista vesistöihin. Tyypillisimmät ihmistoiminnan aiheuttamat humuskuormituksen lähteet ovat maa- ja metsätalous sekä turvesuot. Kuormitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa suoalueen sijainti suhteessa vesistöön, ojitus, sääolosuhteet ja vuodenaika sekä käytössä olevat vesiensuojelumenetelmät. (Kangasluoma & Kainua, 2012, ss. 2–10)

Liiallisen humuskuormituksen seurauksena vesistöt tummuvat, mikä vaikuttaa vesiekosysteemin rakenteeseen ja toimintaan. Tummumisen myötä auringonvalo ei pääse tunkeutumaan veteen yhtä tehokkaasti. Tällöin yhteyttävien eliöiden elintila pienenee ja tuottava kerros ohenee. Kasviplanktonin ja pohjaeläinten lajisto voi yksipuolistua ja kalaston osalta erityisesti arvokalojen määrä voi vähentyä huomattavasti. Tummuminen vaikuttaa myös veden lämpötilaan ja voimistaa lämpötilakerrostuneisuutta, jonka seurauksena alusveden happitilanne voi heiketä. Koska humuksen mukana vesistöihin kulkeutuu ravinteita, voi liiallinen humuskuormitus aiheuttaa myös rehevöitymistä. (Kangasluoma & Kainua, 2012, s. 10; Suomen ympäristökeskus, 2022b)

2.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset vesistöihin

Ilmastonmuutoksella on merkittäviä suoria ja epäsuoria vaikutuksia, jotka kohdistuvat vesistöihin ja vesiekosysteemeihin. On arvioitu, että yksi keskeisimmistä ilmaston lämpenemisen seurauksista Suomen vesistöissä on pintaveden lämpötilan nousu. Muutokset lämpötilassa voivat vaikuttaa esimerkiksi veden happitasoon, kerrostuneisuuteen ja sitä kautta veden sekoittumiseen sekä eliöstöön. Lämpötilan nousu lisää todennäköisesti vesien rehevöitymistä, joka heikentää vedenlaatua ja aiheuttaa muutoksia vesiekosysteemissä. Lämpötilan nousun seurauksena leväkukinnat yleistyvät ja veden bakteeri- ja sienipitoisuudet voivat kasvaa. (Suomen ympäristökeskus, n.d.-a) Erityisen haitallisia ovat yleistyvät sinileväesiintymät, sillä osa sinilevistä on myrkyllisiä (Marjakangas, 2011, ss. 110–111). Lisäksi lämpötilan nousu saattaa lisätä haitallisten haihtuvien ja puolihaihtuvien yhdisteiden, kuten ammoniumin ja elohopean, vapautumista vedestä ilmakehään (Suomen ympäristökeskus, n.d.-a).

Ilmastonmuutoksen myötä sademäärien ja sateiden voimakkuuden on arvioitu kasvavan Suomessa. Sekä kasvaneet sademäärät että sateiden voimistuminen lisäävät kiintoaineen, ravinteiden, taudinaiheuttajien ja muiden haitallisten aineiden huuhtoutumista vesistöihin, mikä heikentää vedenlaatua. (Marjakangas, 2011, s. 109; Suomen ympäristökeskus, n.d.-a) Ilmastonmuutoksen seurauksena talvet muuttuvat leudommiksi, jolloin suurempi osa talviaikaisista sateista tulee lumen sijaan vetenä. Tämän myötä talviaikaiset tulvat todennäköisesti yleistyvät ja kevättulvat puolestaan vähenevät. (Marjakangas, 2011, s. 108) Lisäksi ilmastonmuutoksen aiheuttaman kuivuuden yleistyminen voi osaltaan heikentää pintavesien laatua. Kuivuuden myötä virtaamat vähenevät, jonka seurauksena sisäisen kuormituksen vedenlaatua heikentävät vaikutukset ja happitilanteen huononeminen voimistuvat. (Suomen ympäristökeskus, n.d.-a)

2.3 Vesistön tilan määrittely

Vesistön tilan arvioinnin ja luokittelun perusteena toimivat ihmistoiminnan aiheuttamat muutokset tarkasteltavassa vesistössä. Vesistön ekologisen tilan luokittelu perustuu ensisijaisesti biologisten laatutekijöiden tarkasteluun. Biologisilla laatutekijöillä tarkoitetaan kalastoa, pohjaeläimiä, vesikasvillisuutta, piileviä ja planktonleviä. Luokittelussa otetaan myös huomioon veden fysikaalis-kemialliset laatutekijät, kuten ravinnepitoisuus, happamuus ja näkösyvyys. Lisäksi tarkastellaan hydrologis-morfologisia tekijöitä, joilla tarkoitetaan esimerkiksi virtausoloja, jokien esteettömyyttä sekä vesistön pohjan ja rantavyöhykkeen

rakennetta. Ekologisen tilan luokkia on viisi: erinomainen, hyvä, tyydyttävä, välttävä ja huono. (Aroviita ym., 2019, ss. 16–17; Suomen ympäristökeskus, 2022c)

Vesistöjen vedenlaatua tutkitaan ja seurataan vesinäytteenoton avulla. Vesinäytteistä määritetään erilaisia fysikaalis-kemiallisia muuttujia. Fysikaalis-kemiallisen seurannan lisäksi tehdään biologista seurantaa, joka sisältää esimerkiksi kasvien, kalojen ja pohjaeläinten tutkimista. (Haakana, 2018, ss. 82–83) Tässä työssä fysikaalis-kemiallisista muuttujista tarkastellaan tarkemmin kiintoainetta, kokonaisfosforia, kokonaistyyppiä, orgaanista kokonaishiiltä, happea, happamuutta, ja sähkönjohtokykyä, koska kyseisten muuttujien avulla arvioidaan biohiili- ja rankanippusuodattimien vaikutuksia tutkittavien oijen vedenlaatuun.

Kiintoaineella tarkoitetaan hiukkasmaista ainetta, joka voi olla joko orgaanista tai epäorgaanista. Kiintoainetta päätyy veteen muun muassa eroosion myötä. Kesäaikaan levätuotanto nostaa veden kiintoainepitoisuuksia, sillä elävä kasviplankton lasketaan mukaan kiintoaineeseen. Lisäksi kiintoainepitoisuutta nostaa jätevesikuormitus. Veden kiintoainepitoisuus ilmoitetaan milligrammoina litrassa. Kiintoainepitoisuus puhtaassa ja kirkkaassa vedessä on alle 1 mg/l. Kesäaikaan tyypilliset kiintoainepitoisuudet ovat lisääntyneen levätuotannon vuoksi 1–3 mg/l. Jokivesissä kiintoaineen pitoisuudet voivat vaihdella huomattavasti esimerkiksi rankkasateiden ja tulvien vaikutuksesta. (Haakana, 2018, ss. 91–92; Oravainen, 1999, s. 9)

Kokonaisfosforilla tarkoitetaan vesistöissä olevan fosforin kokonaismäärää. Kokonaisfosforipitoisuus kattaa sekä liuenneen että kiintoaineeseen ja eloperäiseen aineeseen sitoutuneen fosforin. (Oravainen, 1999, s. 17; Vesi.fi, n.d.-c) Vesistön rehevyysasteen arvioinnissa kokonaisfosforipitoisuuden selvittäminen on tärkeää, koska useimmissa sisävesissä fosfori on levien ja kasvien kasvua rajoittava minimiravinne. Veden kokonaisfosforipitoisuus ilmoitetaan mikrogrammoina litrassa. Järvissä alle 10 µg/l kokonaisfosforipitoisuudet viittaavat karuun järveen. Karuille, luonnontilaisille humusjärville sen sijaan on tyypillistä, että fosforipitoisuudet asettuvat välille 10–15 µg/l, ja erittäin humuspitoisissa järvissä pitoisuudet voivat vaihdella jopa 20–45 µg/l välillä. Lievästi rehevissä järvissä kokonaisfosforin pitoisuus on tyypillisesti 10–20 µg/l. Kun veden fosforipitoisuus ylittää 20 µg/l, järvi luokitellaan reheväksi. Erittäin rehevissä järvissä pitoisuudet ylittävät 50 µg/l, jolloin leväkukinnan esiintyminen on todennäköistä. (Haakana, 2018, ss. 88–89; Oravainen, 1999, s. 17)

Kokonaistypellä tarkoitetaan kaikkia typen esiintymismuotoja. Typpeä esiintyy vesistöissä sekä orgaanisessa että epäorgaanisessa muodossa, ja typpi voi olla joko liukoisessa muodossa tai eloperäiseen aineeseen sitoutuneena. (Oravainen, 1999, s. 19; Vesi.fi, n.d.-d) Fosforipitoisuuden tapaan myös typpipitoisuus kertoo veden rehevyydestä. Luonnonvesien kokonaistypipitoisuus ilmoitetaan mikrogrammoina litrassa. Kirkkaissa, luonnontilaisissa vesissä typpipitoisuudet vaihtelevat 200–500 µg/l välillä. Humuspitoisissa vesissä pitoisuudet ovat tyypillisesti 400–800 µg/l ja erittäin humuspitoisissa vesissä luontaisetkin pitoisuudet voivat ylittää 1000 µg/l. Peltovaltaisilla alueilla kokonaistypen pitoisuudet puolestaan voivat vaihdella jopa 2000–6000 µg/l välillä. Kokonaistypen pitoisuuksille on ominaista vuodenaikaisvaihtelu. Tyypillisesti pitoisuudet ovat talvisin korkeammat kuin kesäisin, sillä kesäaikaan perustuotanto kuluttaa typpivarastoja. (Haakana, 2018, ss. 88–89; Oravainen, 1999, ss. 19–20)

Orgaaninen kokonaishiili eli TOC on muuttuja, jonka avulla voidaan arvioida veden humuspitoisuutta. Orgaanisen hiilen kokonaismäärään sisältyy sekä liennut orgaaninen hiili että kiintoaineeseen sitoutunut hiili. (Räike, n.d.; Vesi.fi, n.d.-e) Veden TOC-pitoisuus ilmoitetaan milligrammoina litrassa ja siinä esiintyy tyypillisesti varsin runsasta vaihtelua. Pitoisuudet voivat vaihdella 2–50 mg/l välillä, mutta tätäkin korkeammat pitoisuudet ovat mahdollisia. Tekijöitä, jotka vaikuttavat oleellisesti TOC-pitoisuuksiin, ovat esimerkiksi sadannan vaihtelut ja leudot talvet, joiden myötä vesistöihin kohdistuva TOC-huuhtouma voi kasvaa. (Räike, n.d.)

Happea vapautuu veteen kasvien yhteyttämisen seurauksena, ja lisäksi sitä liukenee veteen ilmakehästä. Järvissä kevät- ja syystäyskiertojen aikaan hapekasta vettä sekoittuu koko vesimassaan. Virtaavassa vedessä kosket ja putoukset hapettavat vettä tehokkaasti. Happea puolestaan kuluu, kun eläimet hengittävät ja hajottajat hajottavat orgaanista ainesta. Veden happipitoisuutta tarkasteltaessa on tärkeää kiinnittää huomiota veden lämpötilaan, sillä kylmään veteen voi liueta enemmän happea kuin lämpimään. Tästä syystä happipitoisuuden yhteydessä tarkastellaan myös hapen kyllästysastetta. Veden happipitoisuus ilmoitetaan milligrammoina litrassa ja hapen kyllästysaste prosentteina. Hapen kyllästysaste kertoo, kuinka monta prosenttia mahdollisesta kokonaishappimäärästä on liennut veteen. Kyllästysaste hyvässä happitilanteessa on 80–100 %. Järvissä veden happipitoisuuteen vaikuttavat useat tekijät, kuten vuodenaika, sääolot ja happea kuluttavan kuormituksen määrä. Lisäksi happipitoisuuteen vaikuttavat järven ominaisuudet, kuten syvyysuhteet ja veden vaihtuvuus. (Haakana, 2018, ss. 86–87; Oravainen, 1999, ss. 4, 8)

Happamuus eli pH on vedessä tavanomaisesti lähellä neutraalia eli arvoa 7. Luontaisen humuskuormituksen takia Suomen vesistöjen pH on usein lievästi hapan eli 6,5–6,8. Vesieliöstö on sopeutunut elämään olosuhteissa, joissa pH-arvo on 6,0–8,0. Happamuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi runsas yhteytys, hajotustoiminta ja humuskuormitus. Runsa yhteytys kohottaa pH-arvoa, kun taas hajotustoiminnan ja humuskuormituksen myötä pH arvo laskee. Happamuuden yhteydessä tarkastellaan usein myös veden alkaliniteettia, jolla tarkoitetaan veden puskurikykyä. Puskurikyky kertoo siitä, miten hyvin vesistö kykenee vastustamaan happamoitumista. Valuma-alueen ominaisuudet vaikuttavat vesistön puskurikykyyn. Happamoitumiselle herkimmat vesistöt ovat useimmiten vähäravinteisia ja kirkasvetisiä ja niiden valuma-alueet ovat pääosin kallioisia ja ohutmoreenisia. Kirkkaisiin vesiin verrattuna humusvaikutteiset vedet kykenevät vastustamaan happamoitumista paremmin. Valuma-alueen peltovaltaisuus vähentää happamoitumisriskiä. (Haakana, 2018, s. 85; Oravainen, 1999, ss. 12–14)

Veden sähkönjohtokyky kertoo veteen liuenneiden suolojen määrästä. Sähkönjohtokyky ilmoitetaan yksikössä millisiemensia per metri. Suuri arvo viittaa veden korkeaan suolapitoisuuteen. Koska Suomen kallioperä on heikosti rapautuva, ovat Suomen vedet lähtökohtaisesti vähäsuolaisia. Tyypillisimmin sähkönjohtavuuden arvot vaihtelevat välillä 5–10 mS/m. Peltovaltaisilla alueilla sähkönjohtavuus voi kuitenkin olla 15–20 mS/m. Sähkönjohtavuus on vesistölle tyypillinen suure, jossa ei yleensä esiinny merkittävää vuodenaikaisvaihtelua. Orgaanisen aineen hajoaminen nostaa sähkönjohtavuutta. (Haakana, 2018, s. 86; Oravainen, 1999, ss. 10–11)

3 Vesiensuojelumenetelmät

Vesistön valuma-alueelta tulevan ulkoisen kuormituksen vähentäminen on vesiensuojelussa ja kunnostuksessa erityisen tärkeää. Jos vesistöön kohdistuva ulkoinen kuormitus on liiallista, tulisi vesistön tilan parantamiseen tähtäävissä toimenpiteissä pyrkiä ensisijaisesti palauttamaan ulkoinen kuormitus sellaiselle tasolle, jota vesistön sietokyky kestää. Näin vesiensuojelu- ja kunnostustoimilla saavutetaan mahdollisimman pysyviä tuloksia. Ulkoisen kuormituksen vähentämisessä tehokkainta on keskittää suojelu- ja kunnostustoimet vesistön valuma-alueelle mahdollisimman lähelle kuormituksen synty lähteitä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että toimilla pyritään estämään esimerkiksi kiintoaineen ja ravinteiden huuhtoutumista vesistöön. (Sarvilinna & Sammalkorpi, 2010, s. 11; Vesi.fi, n.d.-b)

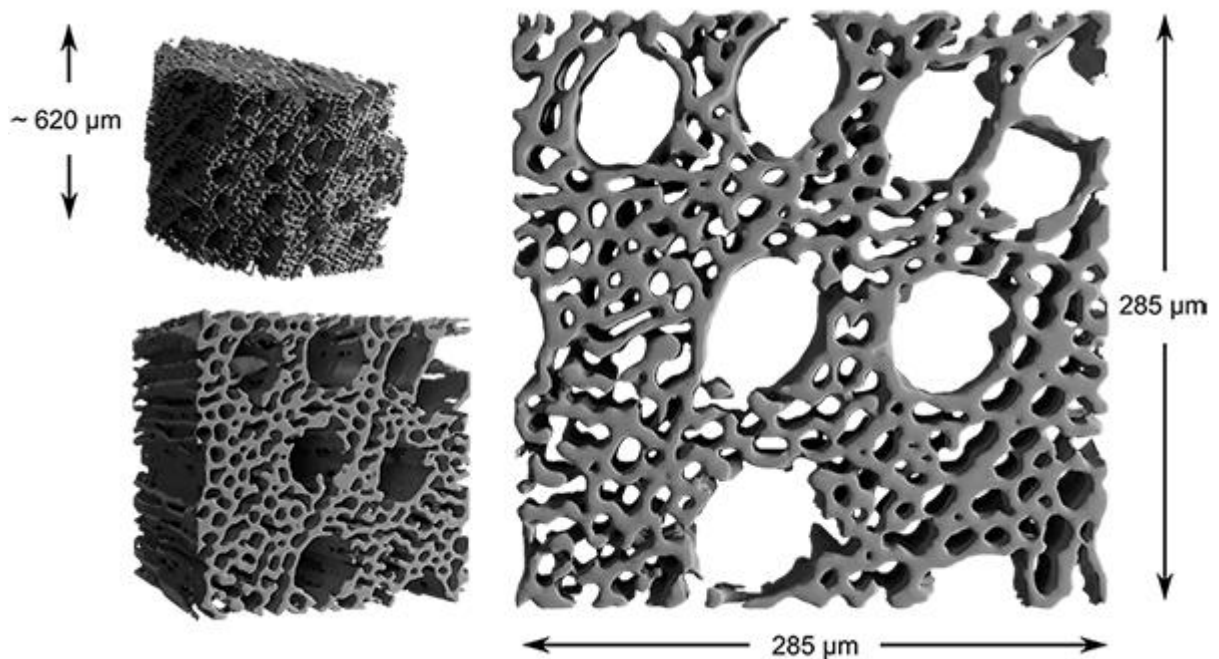
Keinoja ulkoisen kuormituksen vähentämiseksi on useita. Maa- ja metsätaloudessa voidaan esimerkiksi pyrkiä estämään kiintoaineiden ja ravinteiden päätymistä vesistöön tarkentamalla lannoitusta, keventämällä maanmuokkausta ja ehkäisemällä eroosiota. Tämän lisäksi kiintoaineen ja ravinteiden huuhtoutumista vesistöön voidaan hillitä erilaisten luonnonmukaisen vesirakentamiskäytöiden avulla. Esimerkkejä kyseisistä ratkaisuista ovat ojiin rakennettavat laskeutusaltaat tai altaiden ketjut, kosteikot ja pintavalutuskentät. Edellä mainitut menetelmät perustuvat siihen, että veden virtaamaa hidastetaan, jolloin sen mukana kulkeutuva kiintoaine ja ravinteet laskeutuvat uoman pohjalle tai pidättyvät kasvillisuuteen. (Vesi.fi, n.d.-b) Lisäksi erilaisilla ojiin rakennettavilla patoratkaisuilla voidaan vaikuttaa veden virtausnopeuteen, jolloin kiintoaine ei yhtä herkästi lähde kulkeutumaan veden mukana (Joensuu ym., 2019, s. 17).

3.1 Biohiilen hyödyntäminen vesistökuormituksen vähentämisessä

Biohiili on kiinteä hiilipitoinen aine, jota valmistetaan erilaisista biomassoista (Bioenergia ry, 2022). Materiaalina biohiili on erittäin monipuolinen, koska sillä on lukuisia erilaisia sovelluskohteita. Biohiiltä voidaan hyödyntää muun muassa maanparannusaineena, kasvualustana sekä hiilensidonnassa- ja varastoinnissa. Tämän lisäksi biohiili soveltuu hyödynnettäväksi suodatinmateriaalina esimerkiksi hulevesien tai maatalouden valumavesien puhdistuksessa sekä sisäilman puhdistuksessa. (Bioenergia ry, 2022; Weber & Quicker, 2018, s. 240)

Rakenteeltaan biohiili on erittäin huokosmaista, eikä se hajoa maaperässä biologisesti eikä kemiallisesti (Bioenergia ry, 2022; Elo, 2020). Kuva 1 havainnollistaa biohiilen huokosmaista rakennetta mikrometriä tarkkuudella. Biohiilen fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin vaikuttavat muun muassa sen tuotanto-olosuhteet ja raaka-aine, josta biohiili valmistetaan. Biohiilen valmistusmenetelmänä käytetään pyrolyysia. Pyrolyysi on prosessi, jossa biomassa kuumennetaan korkeaan lämpötilaan, jolloin sen ominaisuudet muuttuvat niin, että osa biomassasta hajoaa, mutta aineen hiilipitoisuus säilyy korkeana. Lisäksi biohiilen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa erilaisilla lisäaineilla ja jatkokäsittelyllä. Lopputuotteen ominaisuudet vaikuttavat oleellisesti siihen, millaiseen käyttötarkoitukseen se soveltuu parhaiten. (Bioenergia ry, 2022, Weber & Quicker, 2018, s. 240–241)

Kuva 1. Biohiilen rakenne mikrometrien tarkkuudella (Carbons Finland Oy, n.d.).



Biohiilen hyödyntäminen vedensuodatuksessa perustuu sen kykyyn sitoa vedestä typpeä, fosforia, mikrobeja ja erilaisia haitta-aineita, kuten raskasmetalleja (Elo, 2020). Biohiilen huokosmainen rakenne ja suuri huokospinta-ala edesauttavat ravinteiden adsorboitumista eli kiinnittymistä biohiilen pinnalle. Typpeä adsorboituu biohiileen eritoten typen ja biohiilen pinnan molekyylien välillä tapahtuvan ioninvaihdon kautta. (Dai ym., 2020, s. 8) Typen adsorptioprosessiin vaikuttaa siis esimerkiksi biohiilen pinnan ionien sähkövaraukset, joista ioninvaihtoprosessi oleellisesti riippuu (Weber & Quicker, 2018, s. 249). Fosforin osalta etenkin fosfaatit adsorboituvat biohiilen pinnalle, kun fosfaatti reagoi metalliyhdisteen kanssa. Näin ollen fosfaatin adsorboitumiseen vaikuttaa erityisesti se, kuinka paljon metalliyhdisteitä biohiilen pinnalla on ja millaisia kyseiset yhdisteet ovat. (Dai ym., 2020, s. 8)

Biohiiltä on kokeiltu Suomessa vesiensuojelun tehostajana useissa hankkeissa, jotka ovat pitkälti painottuneet biohiilen hyödyntämiseen hulevesien suodatuksessa. Paikoitellen kokeilujen tulokset ovat olleet varsin lupaavia, sillä biohiilisuodattimen avulla veden fosfori- ja typpipitoisuuksia on saatu vähennettyä jopa 70–90 %. Toisaalta joidenkin kokeilujen yhteydessä biohiilisuodattimien toiminnassa on havaittu ongelmia, kuten suodattimen tukkeutumista, suodatustehon laskua ja odotettua heikompaa ravinteiden poistumaa. Lisäksi suodattimien puhdistustehosta ei toistaiseksi ole riittävästi pitkäaikaisseurantaa. (Elo, 2020)

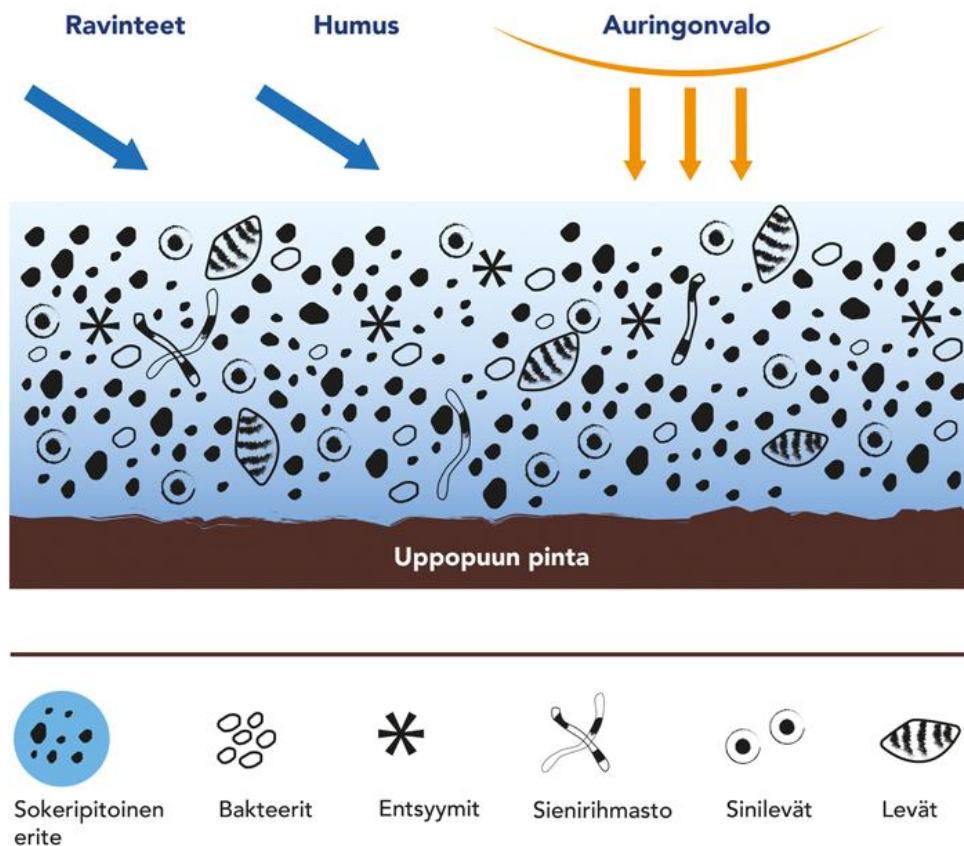
Eräässä Ruotsissa toteutetussa tutkimuksessa tutkittiin biohiilen hyödyntämistä metsätalouden valumavesien ravinnepitoisuuksien vähentämisessä. Kyseisessä tutkimuksessa tarkasteltiin biohiilen suodatuskykyä sekä laboratorio- että kenttäolosuhteissa. Tutkimuksessa havaittiin, että biohiilen suodatusteho oli sekä laboratorio- että kenttäkokeessa parempi, kun vesi sisälsi enemmän ravinteita ja liukoista orgaanista ainesta. Tutkimuksessa arveltiin, että virtaaman sekä valumavesien ravinne- ja hiilipitoisuuksien merkittävät sääolosuhteisiin liittyvät vaihtelut aiheuttavat haasteita koskien biohiilen soveltuvuutta turvemaiden valumavesien puhdistukseen. (Mosquera ym., 2024, ss. 2, 10)

3.2 Rankanippujen hyödyntäminen vesistökuormituksen vähentämisessä

Uppopuuta voidaan käyttää vesiensuojelua tehostavana menetelmänä. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että puumateriaalia upotetaan nippuina laskeutusaltaaseen, jonka kautta virtaava vesi virtaa samalla myös puunipusta muodostuvan rakenteen läpi. Puumateriaali vesiensuojelumenetelmänä perustuu puun pinnalle muodostuvaan biofilmiin, joka kykenee sitomaan vedestä ravinteita ja humusta. Lisäksi rakenne pysäyttää veden mukana kulkeutuvaa kiintoainetta. (Suomen metsäkeskus, n.d.-a)

Uppopuun pinnalle muodostuvalla biofilmillä tarkoitetaan limaista kerrosta, joka koostuu erilaisista levistä, alkueläimistä, sienistä, bakteereista ja mikrobien erittämästä sokeripitoisesta aineesta (Freixa ym., 2023, s. 2; Suomen metsäkeskus, n.d.-a). Kuva 2 havainnollistaa uppopuun pinnalle kehittyvän biofilmin koostumusta. Yleisesti ottaen biofilmin on havaittu muodostuvan parhaiten sellaisille pinnoille, jotka ovat mahdollisimman rosoisia (Arampatzi ym., 2011, s. 25; Freixa ym., 2023, s. 2). Lisäksi on todettu, että veden voimakkaampi virtaama, korkeampi lämpötila ja suurempi ravinnepitoisuus saattavat tehostaa biofilmin kiinnittymistä (Arampatzi ym., 2011, s. 25). Useissa tutkimuksissa on havaittu, että yleisin biofilmin muodostumisaika on noin 2–4 viikkoa. Muodostumiseen voi kuitenkin kulua pidempi aika riippuen siitä, kuinka suotuisat olosuhteet biofilmin muodostumiselle ovat. (Freixa ym., 2023, s. 3)

Kuva 2. Uppopuun pinnalla kasvavan päällyskasvuston koostumus (Suomen ympäristökeskus, 2021).



Biofilmin eliöyhteisön on todettu osallistuvan perustuotantoon, hiilen ja ravinteiden kiertoon sekä orgaanisen aineksen pidättymiseen (Freixa ym., 2023, s. 2). Biofilmin eliöt hyödyntävät kasvaessaan veden mukana kulkeutuvaa typpeä ja fosforia (Sabater ym., 2002, s. 150). Ravinteidenotto-prosessissa liukoisessa muodossa olevat ravinteet poistuvat vedestä ja muuttuvat hiukkasmaiseen tai kaasumaiseen olomuotoon. Ympäristön olosuhteet, kuten veden ravinnepitoisuus ja valon määrä, vaikuttavat oleellisesti biofilmin ravinteidenotto-kykyyn. (Colls ym., 2023, s. 2) Lisäksi biofilmin eliöyhteisön koostumuksen on havaittu olevan yhteydessä biofilmin tuottavuuteen, sillä osa biofilmin eliöistä hyödyntää epäorgaanisia ravinteita, kun taas osa hyödyntää liukoista orgaanista materiaalia. Eliöyhteisön koostumukseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa veden lämpötila, valon määrä ja pH. (Freixa ym., 2023, s. 2)

Suomessa rankanippujen hyödyntämistä metsätalouden vesiensuojelun tehostamiskeinona on tutkittu Suomen ympäristökeskuksen PuuMaVesi-hankkeessa. Tutkimuksessa toteutetun

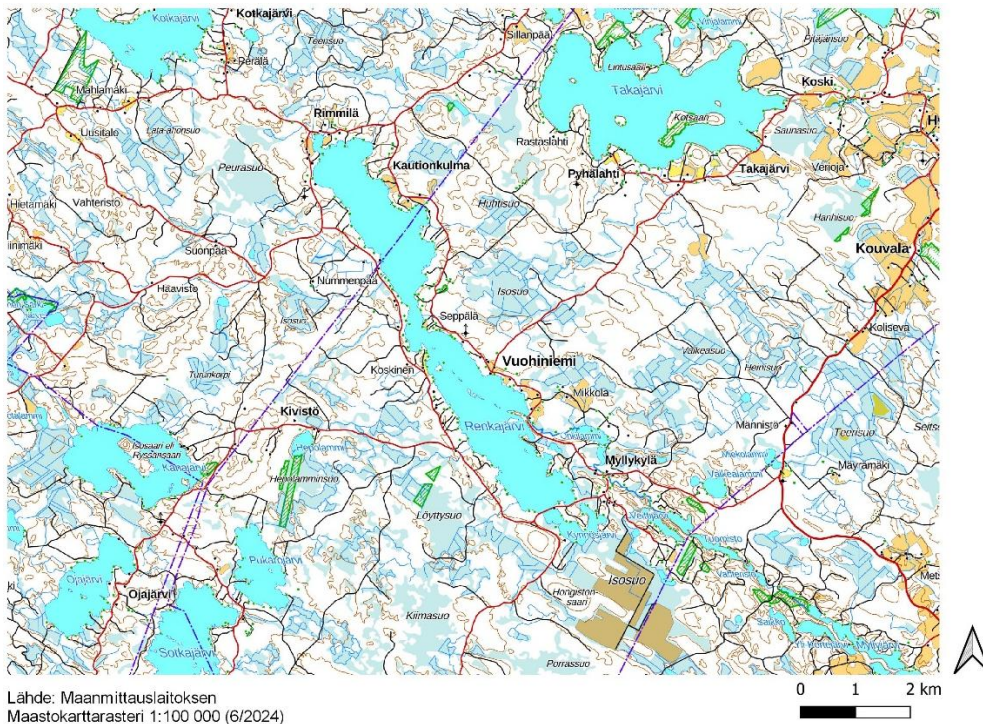
kenttäkokeen avulla selvitettiin, miten puulaji, puun tuoreus ja puun sijoitusvyvyys vaikuttavat puun pinnalle kehittyvään biofilmiin, johon puumateriaalin ravinteiden pidätyskyky pitkälti perustuu. Tutkimuksessa havaittiin, että biofilmi kehittyi puun pinnalle noin kuukauden aikana. Havupuun havaittiin olevan testatuista puulajeista paras lajistoltaan runsaan biofilmin muodostumisen kannalta. Lisäksi todettiin, että puumateriaali kannattaa sijoittaa mahdollisimman lähelle veden pintaa, jotta valoa on enemmän saatavilla. Kenttäkokeiden osalta tulokset viittasivat siihen, että puumateriaali alensi kokonaisravinteiden ja orgaanisen hiilen ainepitoisuuksia. Kiintoainepitoisuuden osalta tulokset viittasivat siihen, että puumateriaalin lisääminen laskeutusaltaaseen tehosti kiintoaineen pidättymistä pelkkää laskeutusallasta paremmin. Erityisesti tulva-aikaan kiintoaineen, ravinteiden ja hiilen pitoisuuksien alenema oli varsin lupaava. (Vuori ym., 2021, ss. 6, 18–22)

4 Renkajärvi

Kanta-Hämeessä sijaitseva Renkajärvi on Kokemäenjoen vesistöalueeseen kuuluvan Vanajaveden latvajärvi, joka on pinta-alaltaan noin 608 hehtaaria (Renkajärven suojeluyhdistys ry, 2022; Järviwiki, 2011). Renkajärvi on järvityypiltään keskikokoinen humusjärvi, jonka veden väri on humusjärville tyypillisesti ruskeaa (Mäkelä ym., 2022, ss. 62–63). Järvi on rehevyysasteeltaan karu. Koska Renkajärven valuma-alue on kooltaan pieni ja järveen laskee vain muutama laskuoja, on veden viipymä järvessä pitkä. Ekologiselta tilaltaan Renkajärvi on luokiteltu erinomaiseksi. (Renkajärven suojeluyhdistys ry, 2022)

Suomen ympäristökeskuksen Value-työkalulla rajattuna Renkajärven valuma-alueen koko on noin 51 km² (Suomen ympäristökeskus, n.d.-b). Kuvassa 3 esitetään Renkajärvi ja sen lähialueet kartalla. Kuvan maastokarttaa tarkastelemalla voidaan todeta, että Renkajärven valuma-alueesta merkittävä osa muodostuu laajoista metsäalueista. Suomen metsäkeskuksen metsänkäyttöilmoituksia havainnollistavan karttapalvelun perusteella voidaan todeta, että valuma-alueen metsät ovat pitkälti metsätalouskäytössä (Suomen metsäkeskus, n.d.-b). Maastokartan perusteella Renkajärven valuma-alueella on useita laajahkoja suoalueita, joista merkittävä osa on ojitettu. Maatalouskäytössä olevien alueiden osuus järven valuma-alueesta sen sijaan on hyvin vähäinen (Renkajärven suojeluyhdistys ry, 2022).

Kuva 3. Karttakuva Renkajärvestä ja sen lähialueista (MML, 2024).



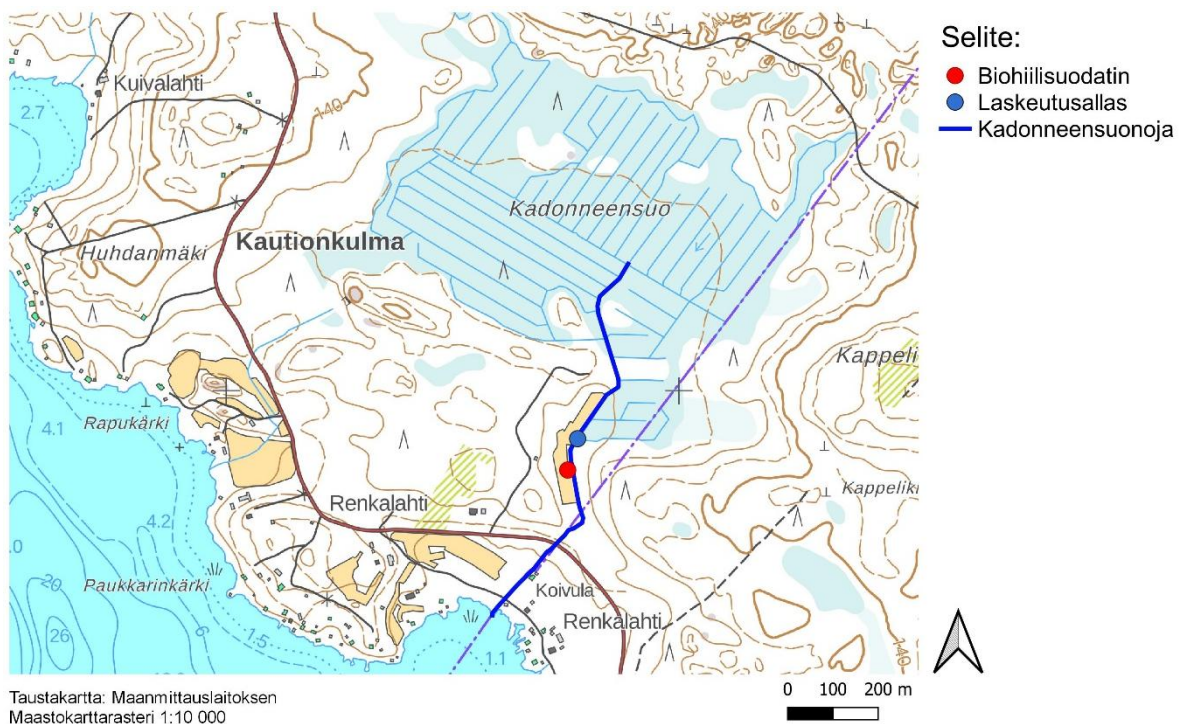
Renkajärven suojeluyhdistyksen toimesta Renkajärven ja Renkajoen valuma-alueilla on toteutettu useita järven tilan kohentamiseen ja ylläpitämiseen tähtääviä hankkeita. Renkajärveen laskeviin ojiin ja uomiin on suojeluyhdistyksen perustamisen jälkeen rakennettu yhteensä 18 laskeutusallasta, joiden tarkoituksena on hidastaa veden virtaamaa ja sen myötä vähentää virtauksen mukana järveen päätyvien ravinteiden ja kiintoaineen määrää. Lisäksi suojeluyhdistys on ollut mukana hankkeessa, jossa Renkajoesta on poistettu luukkupatoja, jotta vaelluskalat pääsevät kulkemaan joessa esteettä, ja kohentanut Renkajärven alueella sijaitsevien umpeenkasvaneiden lampien tilaa. Tämän työn tutkimuskohteina olevat biohiili- ja rankanippusuodatusmenetelmät ovat niin ikään esimerkkejä Renkajärven suojeluyhdistyksen toteuttamista suojelutoimenpiteistä. (Renkajärven suojeluyhdistys ry, 2022)

4.1 Kadonneensuonojan biohiilisuodatin

Renkajärveen laskeva Kadonneensuonoja sijaitsee Renkajärven koillispuolella. Tämän työn tutkimuskohteena oleva biohiilisuodatin on rakennettu Kadonneensuonojan yhteyteen. Suodattimen ja sen yhteydessä sijaitsevan laskeutusaltaan sijainnit ja Kadonneensuonojan lähialue esitetään kuvassa 4. Kuvaa tarkastelemalla voidaan todeta, että ojan kautta Renkajärveen laskevasta vedestä merkittävä osa on peräisin laajahkolta ojitetulta

suoalueelta. Maaperän maalajeja havainnollistavan karttatason mukaan kyseisen suoalueen maaperä muodostuu sara- ja rahkaturpeesta (Paikkatietoikkuna, n.d.). Suomen metsäkeskuksen metsänkäyttöilmoituksia havainnollistavan karttapalvelun perusteella voidaan todeta, että valtaosa Kadonneensuonojan lähialueista on metsätaloukskäytössä (Suomen metsäkeskus, n.d.-b). Kuvan perusteella maataloukskäytössä olevia alueita Kadonneensuonojan valuma-alueella sen sijaan ei juurikaan ole.

Kuva 4. Kadonneensuonojan laskeutusaltaan ja biohiilisuodattimen sijainti (mukaiillen MML, n.d.).

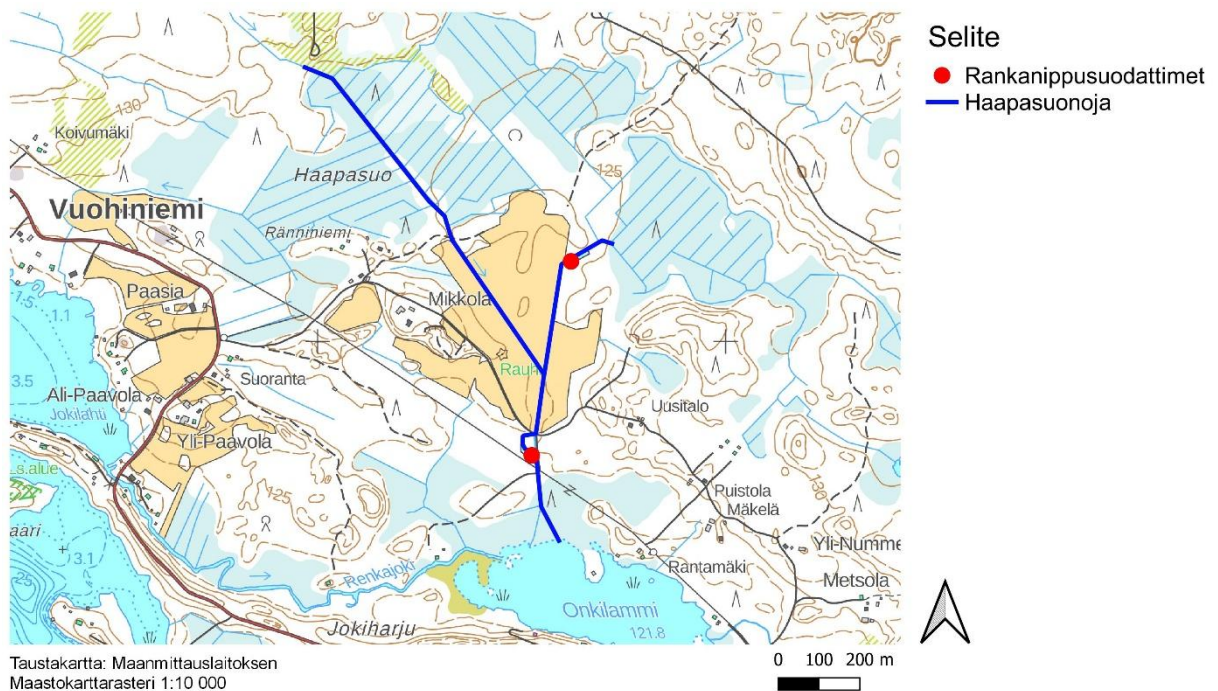


Tämän työn toimeksiantajan edustajan Tuija Engbomin mukaan (henkilökohtainen tiedonanto, 23.4.2024) Kadonneensuonojaan rakennettu biohiilisuodatin on valmistunut loppuvuodesta 2021. Biohiilisuodattimen yhteyteen on lisäksi rakennettu laskeutusallas, joka puolestaan on valmistunut keväällä 2022. Laskeutusallas ja biohiilisuodatin muodostavat kahden eri vesistökuunnostusmenetelmän kokonaisuuden, jonka tavoitteena on vähentää ojaveden mukana kulkeutuvien ravinteiden, kiintoaineen ja humuksen määrää. Kadonneensuonojassa vesi virtaa ensin laskeutusaltaan läpi, jonka jälkeen se ohjautuu biohiilisuodattimeen. Suodatin muodostuu kahdesta patokynnyksestä, joiden välisessä kaivannossa on biohiilen, puuhakkeen ja sepelin sekoitusta. Jos Kadonneensuonojassa virtaavan veden määrä on suuri, ohjautuu osa vedestä biohiilisuodattimen sijaan laskeutusaltaasta ohivirtausuomaan. (Renkajärven suojeluyhdistys ry, 2022)

4.2 Haapasuonojan rankanippusuodattimet

Haapasuolta Onkilammiin laskevat ojat sijaitsevat Renkajärven kaakkoispuolella. Onkilammista vesi laskee Renkajokeen. Tämän työn toisena tutkimuskohteena ovat rankanippusuodattimet sijaitsevat Haapasuonojassa, jonka lähialueet sekä suodattimien sijainnit esitetään kuvassa 5. Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan erityisesti lähempänä Onkilammia sijaitsevan suodattimen vaikutuksia, sillä Haapasuonojan vedenlaatua tutkitaan kyseisen suodattimen yhteydestä. Kuvan perusteella voidaan todeta, että Haapasuonojan kautta Onkilammiin virtaava vesi on pääosin peräisin ojitetuilta suoalueilta ja maatalouskäytössä olevalta alueelta. Osa Haapasuon valuma-alueesta on metsätalouskäytössä (Suomen metsäkeskus, n.d.-b).

Kuva 5. Haapasuonojan rankanippusuodattimien sijainnit (mukaillen MML, n.d.).



Haapasuolta Onkilammiin laskevissa ojissa laskeutusaltaita on kaksi. Molempiin altaisiin on upotettu rankanippu, jonka muodostaa noin 10–15 karsittua rankaa, jotka ovat läpimitaltaan 10–20 cm. Niput on sidottu yhteen kuormaliinoilla ja sijoitettu altaaseen poikittain niin, että altaan läpi virtaava vesi kulkee suodatinrakennelman kautta. (Bergman, 2024, s. 23)

Laskeutusaltaan myötä ojaveden virtaama hidastuu, jolloin sen mukana kulkeutuva kiintoaine laskeutuu altaan pohjalle. Altaaseen upotetun rankanipun tavoitteena on suodattaa vedestä kiintoaineen lisäksi ravinteita ja humusta. (Suomen metsäkeskus, n.d.-a)

5 Aineisto ja menetelmät

Biohiilisuodattimen ja rankanippusuodattimien vaikutusta ojavesien laatuun arvioitiin maastossa suoritettujen mittauksen sekä vesinäytteistä saatujen laboratorioanalyysitulosten avulla. Vesinäytteiden laboratorioanalyysistä vastasi Helsingin yliopiston Lammin biologinen asema. Laboratorioanalyysitulosten tulkitsemisessa käytettiin apuna vesistötulosten tulkintaa käsitteleviä oppaita. Lisäksi tutkimusmenetelminä toimivat tämän opinnäytetyön aikana saatujen mittaus- ja näytteenottotulosten vertailu aiemmin vuonna 2024 saatuihin tuloksiin.

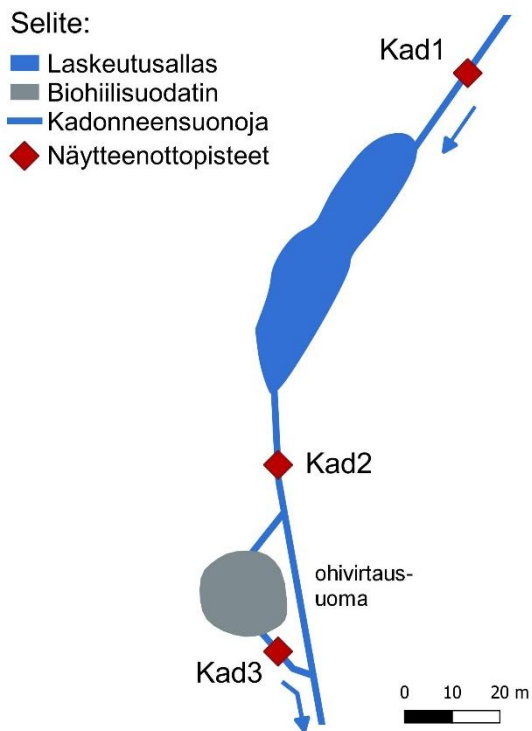
5.1 Vesinäytteenotto ja maastomittaukset

Biohiili- ja rankanippusuodatusmenetelmien vaikutusten selvittämiseksi Renkajärveen ja Onkilammiin laskevista ojista otettiin vesinäytteet kaksi kertaa opinnäytetyöprosessin aikana. Ensimmäinen näytteenotto toteutettiin 9.9.2024 pintavalunnan ollessa vielä vähäistä. Toinen näytteenotto puolestaan toteutettiin syysvalunnan aikaan 29.10.2024. Vesinäytteiden ottamisen yhteydessä ojista mitattiin virtaama OTT MF Pro -mittarilla ja jokaiselta näytteenottpisteeltä määritettiin veden pH, happipitoisuus, hapen kyllästysaste, sähkönjohtokyky ja lämpötila YSI Professional Plus -mittauslaitteella. Helsingin yliopiston Lammin biologisen aseman toimesta vesinäytteistä määritettiin kokonaisfosfori, kokonaistyyppi, kiintoaine ja TOC eli orgaaninen kokonaishiili. Jälkimmäisistä vesinäytteistä määritettiin pH myös laboratoriossa, sillä YSI-mittalaitteen antamat arvot vaikuttivat ensimmäisten mittaustulosten perusteella epätavallisen korkeilta.

Maastomittaukset ja vesinäytteenotto suoritettiin samoilla mittaus- ja näytteenottpisteillä kuin aiemmin vuonna 2024, jotta tulokset olisivat keskenään mahdollisimman vertailukelpoisia. Mittaus- ja näytteenottpisteiden valitsemisessa tavoitteena on ollut mahdollistaa suodattimien puhdistustehon arviointi vertaamalla ennen suodatinta sijaitsevalta pisteeltä saatuja tuloksia suodattimen läpi virranneesta vedestä saatuihin tuloksiin.

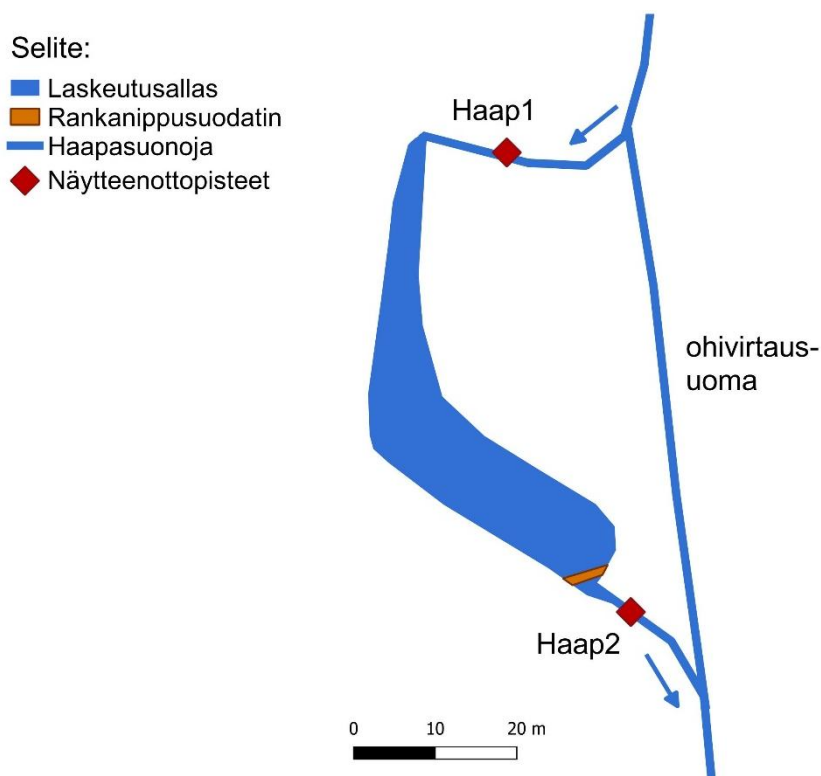
Kadonneensuonojan biohiilisuodattimen yhteydestä vesinäytteet otettiin ennen laskeutusallasta sijaitsevalta mittaus- ja näytteenottpisteeltä, laskeutusaltaan ja biohiilisuodattimen välissä sijaitsevalta pisteeltä sekä biohiilisuodattimen jälkeen sijaitsevalta pisteeltä. Kadonneensuonojalla virtaama mitattiin laskeutusaltaan ja biohiilisuodattimen väliseltä sekä biohiilisuodattimen jälkeiseltä pisteeltä. Kuva 6 havainnollistaa Kadonneensuonojan mittaus- ja näytteenottpisteiden sijaintia. Pisteet on nimetty kuvaan lyhentein Kad1, Kad2 ja Kad3. Siniset nuolet havainnollistavat virtauksen suuntaa.

Kuva 6. Kadonneensuonojan mittaus- ja näytteenottopisteet.



Haapasuonojan rankanippusuodattimen yhteydestä vesinäytteet otettiin ennen toista laskeusallasta sijaitsevalta mittaus- ja näytteenottopisteeltä sekä laskeutusaltaan ja rankanippusuodattimen jälkeen sijaitsevalta pisteeltä. Haapasuonojalla virtaama mitattiin molemmilta pisteiltä. Kuva 7 havainnollistaa Haapasuonojan mittaus- ja näytteenottopisteiden sijaintia. Pisteet on nimetty kuvaan lyhentein Haap1 ja Haap2 ja ojaveden virtauksen suunta on esitetty sinisillä nuolilla.

Kuva 7. Haapasuonojan mittaus- ja näytteenottopisteet.



5.1.1 Vesinäytteenoton ja maastomittausten suunnittelu

Maastossa suoritettujen mittausten ja vesinäytteenoton onnistumiseksi molempia näytteenottopäiviä varten laadittiin näytteenottosuunnitelma. Näytteenoton suunnittelussa käytettiin apuna Kettusen ym. laatimaa Vesistötietoa näytteenottajille -opasta. Näytteenoton suunnittelu alkaa tarvittavan yleistiedon hankkimisella ja näytteenottokohteen ominaisuuksiin perehtymällä (Kettunen ym., 2008, s. 37). Tässä työssä näytteenoton suunnitteluvaiheessa tutustuttiin kartta-aineistoa apuna käyttäen Renkajärven ja sen valuma-alueen ominaisuuksiin. Huomiota kiinnitettiin erityisesti tutkimuskohteina toimivien Kadonneensuonojan ja Haapasuonojan valuma-alueisiin. Tämän lisäksi perehdyttiin tarkemmin tutkittaviin suodatusmenetelmiin. Nämä tutkimuksen kannalta oleelliset lähtötiedot sisällytettiin näytteenottosuunnitelmaan.

Kettusen ym. (2008, s. 39) mukaan tutkimustoiminnalla tulisi aina olla selkeät perusteet. On tärkeää hahmottaa, miksi tutkimus tehdään, miten tuotettua tietoa hyödynnetään ja mikä tahoo tietoa tarvitsee. Nämä seikat huomioitiin näytteenoton suunnittelussa perehtymällä huolellisesti tämän työn toimeksiantoon, johon maastomittausten ja vesinäytteenoton keskeiset tavoitteet perustuivat. Kyseiset tavoitteet sisällytettiin näytteenottosuunnitelmaan.

Näytteenottosuunnitelmaan sisällytettiin näytteenottopäivän suhteellisen karkea aikataulu, jossa merkittävin huomioitava seikka oli vesinäytteiden toimittaminen laboratorioon ennen sen sulkeutumista. Aikataulun laatimisen yhteydessä suunniteltiin mielekäs ajojärjestys ja järkevät ajoreitit. Syyskuun maastomittaukset ja vesinäytteenotto toteutettiin niin, että Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä käytiin ensin, minkä jälkeen edettiin Haapasuonojalle. Lokakuussa järjestys oli päinvastainen.

Näytteenottosuunnitelmaan kirjattiin listaus tarvittavista välineistä. Kettusen ym. (2008, s. 44) mukaan on tärkeää kiinnittää huomiota näytteenottovälineiden soveltuvuuteen, toimivuuteen ja puhtauteen, jotta näytteenoton tulokset ovat mahdollisimman luotettavat. Mittaus- ja näytteenottovälineiden kunto tarkistettiin ennen tutkimuskohteeseen lähtöä. YSI-mittauslaitteen happisensori kalibroitiin molempien näytteenottopäivien aamuina laitteen ohjeita noudattaen. Lisäksi mittauslaitteen pH-sensori kalibroitiin ennen ensimmäistä näytteenottokertaa. Virtaamamittari kalibroitiin niin ikään molempien näytteenottopäivien aamuina ohjeita noudattaen. Jo maastomittausten ja vesinäytteenoton suunnitteluvaiheessa perehdyttiin mittauslaitteiden käyttöohjeisiin, jotta laitteiden käyttö maastossa olisi mahdollisimman sujuvaa.

Maastossa tehtävien mittausten sekä näytteenottoon ja mittauksiin vaikuttavien seikkojen kirjaamista varten laadittiin erillinen kenttämuistio. Kenttämuistion täyttämiseksi noudatettiin Kettusen ym. (2008, s. 48) mainitsemaa periaatetta siitä, että muistio täytetään tutkimuskohteessa ja siihen merkitään mahdolliset näytteenottoon vaikuttavat tekijät, kuten sääolosuhteiden äkilliset muutokset ja poikkeamat näytteenottosuunnitelmasta. Lisäksi dokumentoinnissa käytettiin tarvittaessa apuna kännykän kameraa.

5.1.2 Näytteenottopäivien olosuhteet

Ennen 9.9.2024 toteutettuja maastomittauksia ja vesinäytteenottoa edelsi pidempi kuiva ajanjakso. Ilmatieteen laitoksen (n.d.) säähavaintojen latauspalvelun mukaan näytteenottopäivää edeltävällä viikolla ei Hattulassa satanut lainkaan. Kuivuus näkyi tutkimuskohteina olleissa ojissa siten, että vesimäärä oli kaikilla näytteenottopisteillä suhteellisen vähäinen ja ojaveden virtaama oli silmämääräisesti arvioituna alhainen. Näytteenottopäivänä ilman keskilämpötila Hattulassa oli 17,8 °C (Ilmatieteen laitos, n.d.). Sääolosuhteissa ei tapahtunut näytteenottopäivän aikana merkittäviä muutoksia, jotka olisivat voineet vaikuttaa maastomittausten ja vesinäytteenoton tuloksiin.

29.10.2024 toteutettujen maastomittausten ja vesinäytteenoton aikaan tutkittavissa ojissa oli syyskuun alkuun verrattuna huomattavasti enemmän vettä ja virtaama oli silmämääräisesti arvioituna voimakkaampi. Ilmatieteen laitoksen (n.d.) säähavaintojen latauspalvelun mukaan näytteenottopäivää edeltävällä viikolla Hattulassa oli yksi sateisempi päivä, jolloin vuorokauden sademäärä oli 7,9 mm. Muutoin näytteenottopäivää edeltävä viikko oli vähäsateinen. Näytteenottopäivänä ilman keskilämpötila Hattulassa oli 3,5 °C (Ilmatieteen laitos, n.d.). Kuten syyskuun näytteenottopäivänä, ei lokakuun näytteenottopäivänkään aikana tapahtunut merkittäviä muutoksia sääolosuhteissa.

5.1.3 Vesinäytteenoton ja maastomittausten toteutus

Vesinäytteet otettiin maastoon jo ennalta merkityiltä näytteenottopisteiltä. Kettusen ym. (2008, s. 50) mukaan virtaavasta vedestä näytteet otetaan noudattaen ”puhtaasta likaisempaan päin” -periaatetta. Useimmiten tämä tarkoittaa sitä, että näytteiden ottaminen aloitetaan yläjuoksulta, josta edetään kohti alajuoksua. Tämän tutkimuksen yhteydessä kuitenkin oletettiin, että suodattimien jälkeen sijaitsevilla näytteenottopisteillä vesi olisi suodattimen läpi virrattuaan puhtaampaa, joten näytteenottojärjestys oli käänteinen.

Jokaisella näytteenottopisteellä aloitettiin vesinäytteen ottamisella. Näytteiden ottamiseen käytettiin varrellista näytteenotinta, joka huuhdeltiin kertaalleen ojavedellä ennen näytteen ottamista. Näytteitä ottaessa varottiin, ettei uoman pohjaa pöyhitä, jolloin näytteeseen saattaisi päätyä ylimääräistä kiintoainetta. Vesinäyte otettiin mahdollisuuksien mukaan ojaveden pinnan alapuolelta, jotta esimerkiksi mahdolliset veden pintakalvon kuljettamat kiinteät roskat eivät päätyisi näytteeseen. Käytännössä tämän seikan huomioiminen oli haastavaa, sillä ojaveden pinnankorkeus erityisesti syyskuun näytteenottopäivänä oli varsin alhainen. Näytteenottimesta vesi kaadettiin suoraan muovisiin näytepulloihin, joihin oli Helsingin yliopiston Lammin biologisen aseman ohjeistuksen mukaisesti merkitty näytteenottopisteen nimi ja päivämäärä. Näytepulloihin kaadettiin ojavettä niin paljon, että pullo täyttyi kokonaan. Vesinäytteitä säilytettiin ja kuljetettiin kylmälaukuissa, jotta näytteet pysyivät viileinä koko päivän ajan. Näytteet toimitettiin Helsingin yliopiston Lammin biologiselle asemalle näytteenottopäivän päätteeksi.

YSI Professional Plus -mittauslaitteella tehdyt mittaukset suoritettiin jokaisella näytteenottopisteellä heti vesinäytteen ottamisen jälkeen. Mittausten suorittamiseksi varrelliseen vesinäytteenottimeen otettiin ojavettä näytteenottopisteeltä, minkä jälkeen mittauslaitteen sensorit asetettiin veteen. Tästä poiketen syyskuun mittauskerralla Kadonneensuonojan toisella näytteenottopisteellä mittaus päädyttiin suorittamaan siten, että

mittauslaite asetettiin suoraan uomaan. Näin toimittiin siksi, että näytteenottimeen ei saanut otettua riittävästi vettä, sillä kyseisellä pisteellä veden korkeus oli erittäin alhainen. Kun mittauslaite oli asetettu veteen, odotettiin, että arvot tasaantuivat, minkä jälkeen tarvittavat arvot kirjattiin kenttämuistioon.

Virtaama mitattiin Kadonneensuonojan näytteenottopisteiltä 2 ja 3 sekä Haapasuonojan molemmilta näytteenottopisteiltä. Syyskuun mittauskerralla oli kuitenkin sen verran kuivaa, ettei virtaaman mittaus Kadonneensuonojan pisteeltä 2 ja Haapasuonojan pisteeltä 2 onnistunut, sillä ojaveden pinnankorkeus oli liian alhainen. Virtaamamittaukselle sopiva kohta uomasta valittiin mahdollisimman läheltä näytteenottopisteen maastomerkkiä. Sopivan kohdan valitsemisessa pyrittiin huomioimaan seikat, jotka mahdollisesti vaikuttaisivat tuloksen luotettavuuteen. Virtaamamittarin käyttöohjeen mukaan tällaisia seikkoja ovat esimerkiksi uoman suoruus, virtauksen tasaisuus ja riittävä veden syvyys. Lisäksi uomassa olevat esteet, kuten kivet ja kasvillisuus voivat heikentää mittaustuloksen luotettavuutta. Sopiva mittauspisteiden lukumäärä määritettiin uoman leveyden mukaan. Itse mittaus suoritettiin OTT MF Pro -laitteen käyttöohjeita tarkasti seuraten.

5.2 Vesinäytteiden laboratorioanalyysi

Riitta Ilolan sähköpostitse toimittamien laboratorioanalyysimenetelmiä koskevien oppaiden (henkilökohtainen tiedonanto, 20.11.2024) mukaan Helsingin yliopiston Lammin biologisen aseman toteuttamassa vesinäytteiden laboratorioanalyysissä kiintoainepitoisuuden selvittämisessä on käytössä SFS-EN 872 -standardi. Kiintoaineen määritysmenetelmä perustuu vesinäytteen suodattamiseen lasikuitusuodattimen läpi. Tämän jälkeen suodatin kuivataan 105 °C lämpötilassa ja suodattimelle jääneen jäännöksen massa punnitaan. Orgaanisen kokonaishiilen määrittäminen puolestaan tehdään SFS-EN 1484 -standardin mukaisesti. Menetelmässä epäorgaaninen hiili poistetaan happamoitetusta näytteestä kaasun avulla. Tämän jälkeen orgaaninen hiili hapetetaan hiilidioksidiksi polttamalla ja hiilidioksidin määrä määritetään infrapunaspektrometrin avulla.

Riitta Ilolan sähköpostitse toimittaminen laboratorioanalyysimenetelmiä koskevien oppaiden (henkilökohtainen tiedonanto, 20.11.2024) mukaan kokonaistypen ja kokonaisfosforin määrittämisessä ei ole erillistä standardia, vaan määrittämisessä noudatetaan Gallery Plus -diskreettilaitteen ohjetta. Ennen kokonaisfosforin määrittäystä suodattamaton näyte autoklavoidaan happaman peroksidisulfaatin kanssa. Ennen kokonaistypen määrittäystä suodattamaton näyte puolestaan autoklavoidaan alkaalisen peroksidisulfaatin kanssa. Sekä

kokonaisfosforin että kokonaistypen määritysten ennakkovalmisteluihin kuuluu näytteen suodattaminen, jonka jälkeen varsinainen mittaus tehdään Gallery Plus -diskreettilaitteella.

5.3 Tulosten analysointimenetelmät

Vesinäytteenotto- ja maastomittaustulosten tulkinnan ja analysoinnin apuna käytettiin kahta teosta, jotka käsittelevät näytteenotossa määritettyjä fysikaalis-kemiallisia muuttujia. Toinen näistä teoksista on Reijo Oravaisen Vesistötulosten tulkinta -opasvihkonen ja toinen Helena Haakanan Vesistöopas. Näytteenotto- ja mittaustulosten analysoinnissa kiinnitettiin huomiota tutkimuskohteina olleiden ojien valuma-alueiden ominaisuuksiin, sillä ne todennäköisesti vaikuttavat varsin oleellisesti ojavesien laatuun. Lisäksi tarkasteltiin valunta- ja virtaamaolosuhteiden mahdollisia vaikutuksia saatuihin tuloksiin ja arvioitiin näytteenotto- ja mittaustulosten luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä.

Biohiili- ja rankanippusuodatusmenetelmien vaikutusta ojavesien laatuun arvioitiin vertaamalla suodattimien yhteydessä sijaitsevilta näytteenotto- ja mittauspisteiltä saatuja tuloksia keskenään. Tämän tarkoituksena oli selvittää, millainen puhdistusteho suodattimilla on olosuhteissa, joissa vesinäytteet on otettu. Lisäksi tarkasteltiin kaikkia vuonna 2024 saatuja mittaus- ja näytteenottotuloksia ja verrattiin eri ajankohtina saatuja tuloksia keskenään. Eri ajankohtina saatujen mittaus- ja näytteenottotulosten vertailulla pyrittiin selvittämään, millaisia vaikutuksia eri vuodenajoille tyypillisillä olosuhteilla, kuten virtaaman voimakkuudella, on ojavesien laatuun ja suodattimien puhdistustehoon.

6 Tulosten esittely

Tässä luvussa esitellään tämän opinnäytetyön aikana toteutettujen maastomittausten ja vesinäytteenottojen tulokset. Mittausten ja vesinäyteanalyysien tulokset esitetään kahdessa taulukossa ojaokohtaisesti. Osasta mitatuista muuttujista käytetään taulukoissa lyhenteitä. Lyhenne happi % viittaa hapen kyllästysasteeseen ja happi mg/l puolestaan veteen liunneen hapen määrään. Happamuuden osalta taulukoissa on arvoja kahdella rivillä. Ensimmäisen rivin tulokset ovat YSI-mittauslaitteella määritetyt pH-arvot ja toisen rivin tulokset puolestaan laboratoriossa määritetyt arvot. Lyhenteellä SPC tarkoitetaan sähkönjohtokykyä. Lyhenteet kok. P ja kok. N tarkoittavat kokonaisfosforia ja kokonaistyppeä. TOC tarkoittaa orgaanista kokonaishiiltä. Kunkin muuttujan perässä oleva mittayksikkö viittaa siihen, missä yksikössä tulokset esitetään.

Taulukossa 1 esitetään Kadonneensuonojan mittaus- ja näytteenottopisteiltä saadut maastomittaus- ja vesinäytteenottotulokset. Pisteitä on yhteensä kolme, ja niistä käytetään taulukossa lyhenteitä Kad1, Kad2 ja Kad3. Kyseisten lyhenteiden edessä oleva numero 09 viittaa syyskuun tuloksiin ja numero 10 puolestaan lokakuun tuloksiin.

Taulukko 1. Kadonneensuonojan mittaus- ja näytteenottotulokset 9.9.2024 ja 29.10.2024.

Muuttuja	09_Kad1	09_Kad2	09_Kad3	10_Kad1	10_Kad2	10_Kad3
Lämpötila °C	9,9	11,7	13,1	3,9	4,7	5
Happi %	58,2	79	44,4	71,1	65,7	54,1
Happi mg/l	6,5	8,46	4,61	9,23	8,35	6,82
SPC mS/m	3,9	3,6	3,7	3	2,9	2,9
pH (YSI)	7,54	7,3	7,31	6,46	6,5	6,46
pH (laboratorio)	-	-	-	6,56	6,58	6,51
Kok. P µg/l	14	20	19	13	17	14
Kok. N µg/l	420	532	545	1050	1050	1001
Kiintoaine mg/l	0,3	1,3	1,1	0,4	1	0,6
TOC mg/l	12,4	18,5	18,8	37,3	36,7	35,8
Virtaama m ³ /s	-	-	0,001	-	0,005	0,006

Taulukossa 2 esitetään Haapasuonojan mittaus- ja näytteenottopisteiltä saadut mittaus- ja näytteenottotulokset. Pisteitä on kaksi, ja niistä käytetään taulukossa lyhenteitä Haap1 ja Haap2. Kyseisten lyhenteiden edessä oleva numero 09 viittaa syyskuun tuloksiin ja numero 10 lokakuun tuloksiin.

Taulukko 2. Haapasuonojan mittaus- ja näytteenottotulokset 9.9.2024 ja 29.10.2024.

Muuttuja	09_Haap1	09_Haap2	10_Haap1	10_Haap2
Lämpötila °C	12,8	14,9	4,8	5,5
Happi %	41,2	45,5	76,9	63,7
Happi mg/l	4,29	4,54	9,77	7,94

SPC mS/m	2,8	2,5	2	4
pH (YSI)	6,83	7,05	6,51	7,38
pH (laboratorio)	-	-	5,27	5,27
Kok. P µg/l	41	38	30	34
Kok. N µg/l	996	1130	1489	1397
Kiintoaine mg/l	5,9	4,4	0,8	2,4
TOC mg/l	26,6	31,1	55,7	55,4
Virtaama m ³ /s	0,001	-	0,035	0,025

7 Tulosten analysointi ja vertailu

Tässä luvussa analysoidaan tämän työn aikana saadut vesinäytteenotto- ja maastomittaustulokset. Tulokset analysoidaan ojakohtaisesti niin, että ensin käsitellään Kadonneensuonojan tulokset ja sen jälkeen Haapasuonojan tulokset. Analysoinnissa kiinnitetään huomiota siihen, millaisia mahdollisia vaikutuksia tutkimuskohteina olleiden ojen valuma-alueiden ominaisuuksilla on saatuihin tuloksiin. Lisäksi tämän työn aikana saatuja tuloksia verrataan aikaisemmin vuonna 2024 saatuihin vesinäytteenotto- ja maastomittaustuloksiin. Biohiili- ja rankanippusuodattimen vaikutuksia ojavesien laatuun analysoidaan tarkastelemalla kaikkia vuonna 2024 saatuja tuloksia, jotta saadaan käsitys siitä, miten eri vuodenojoille tyypilliset olosuhteet vaikuttavat suodattimien puhdistustehoon.

Vesinäytteenotto- ja maastomittaustulosten analysoinnissa ja havainnollistamisessa hyödynnetään kuvaajia. Ojaveden kiintoainepitoisuuden ja virtaaman suhdetta tarkastellaan, sillä virtaaman voimakkuus voi vaikuttaa kiintoainehuuhtoumien suuruuteen ja ojaveden mukana kulkeutuvan kiintoaineen määrään. Kokonaistypen, kokonaisfosforin ja orgaanisen kokonaishiilen tuloksia verrataan kiintoainepitoisuuksiin, koska typpi-, fosfori- ja hiilipitoisuudet sisältävät liukoisten pitoisuuksien lisäksi kiintoaineeseen sitoutuneet pitoisuudet. Ojaveden lämpötilan ja hapen kyllästysasteen suhdetta tarkastellaan, koska veden lämpötila vaikuttaa siihen, kuinka paljon happea vesi voi sisältää.

Vesinäytteenoton ja maastomittausten yhteydessä laskeutusaltaiden ja suodattimien muodostamien rakennelmien kunto tarkastettiin visuaalisesti. Kummallakaan mittaus- ja näytteenottokerralla biohiilisuodattimen ja sen yhteydessä sijaitsevan laskeutusaltaan yhteydessä ei ollut silmämääräisesti arvioituna havaittavissa rakennelman kuntoon liittyviä

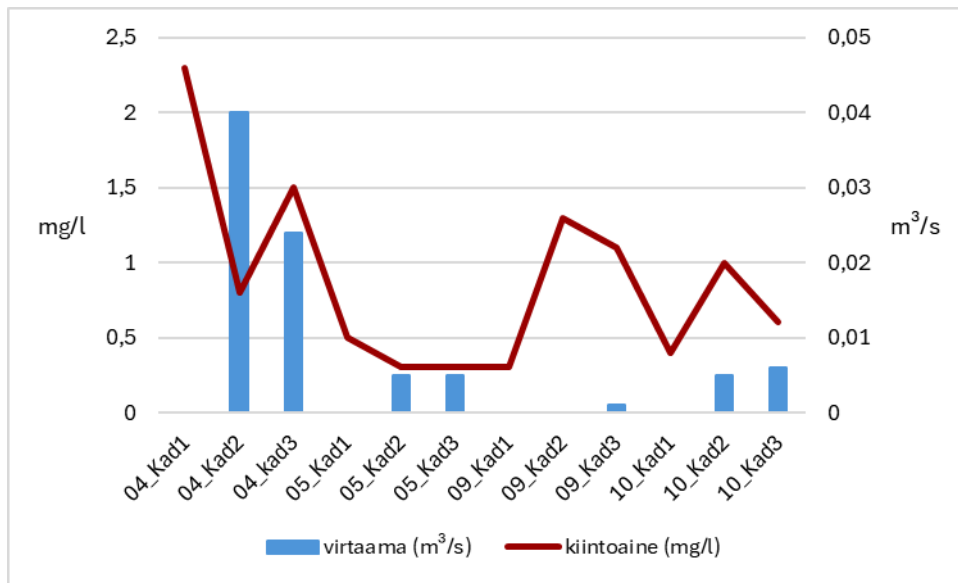
epänormaaleja tekijöitä. Syyskuun mittaus- ja näytteenottokerralla rankanippusuodattimen yhteydessä sijaitsevan laskeutusaltaan vedenkorkeus oli sen verran matala, että rankanippu oli näkyvillä hieman vedenpinnan alapuolella. Lokakuussa vedenkorkeus oli syyskuuhun verrattuna noussut, eikä nippua enää nähnyt. Rankanippusuodattimen ja sen yhteydessä olevan laskeutusaltaan kunto vaikutti kuitenkin silmämääräisesti arvioituna asianmukaiselta kummallakin mittaus- ja näytteenottokerralla.

7.1 Kadonneensuonojan tulokset

Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä ojaveden kiintoainepitoisuudet vaihtelivat syyskuun näytteenottotuloksissa 0,3–1,3 mg/l välillä ja lokakuun tuloksissa 0,4–1,0 mg/l välillä. Koska Oravaisen (1999, s. 9) mukaan kiintoainepitoisuus puhtaassa ja kirkaassa vedessä on alle 1 mg/l, voidaan todeta, että Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä ojaveden kiintoainepitoisuus oli sekä syys- että lokakuussa varsin alhainen. Syyskuussa Kadonneensuonojan mittauspisteellä numero 3 veden virtaus oli silminnähden vähäinen. Virtaamamittarilla mitattuna kyseisellä pisteellä veden virtaama oli 0,001 kuutiota sekunnissa. Syyskuun mittaus- ja näytteenottokerralla ojaveden pinnankorkeus mittauspisteellä 2 oli niin alhainen, ettei virtaamaa pystynyt mittaamaan. Lokakuussa pisteellä 2 veden virtaama oli 0,005 m³/s ja pisteellä 3 puolestaan 0,006 m³/s. Mittauspiste 2 mittaustuloksen luotettavuuteen vaikuttaa kuitenkin oleellisesti uoman kivikkoisuus, joka on suurella todennäköisyydellä vaikuttanut saatuun tulokseen.

Kuvassa 8 esitetään ojaveden virtaaman ja kiintoainepitoisuuden suhde Kadonneensuonojalla vuoden 2024 aikana. Korkeimmillaan kiintoainepitoisuudet olivat huhtikuun vesinäytteissä, jolloin mitattiin myös voimakkain virtaama. Alhaisin virtaama puolestaan mitattiin syyskuussa, jolloin kiintoainepitoisuus virtaamaan verrattuna oli kohtalaisen korkea. Vaihtelut virtaamassa eri mittausajankohtina noudattavat eri vuodenajoille tyypillistä vaihtelua. Kun verrataan virtaamaa ja kiintoainepitoisuutta eri mittausajankohtina, voidaan todeta, etteivät tulokset kaikkien ajankohtien osalta noudata samaa kaavaa. Huhtikuun tulokset viittaavat siihen, että voimakkaan virtaaman myötä kiintoainetta on huuhtoutunut ojaveteen runsaammin. Samoin toukokuun tuloksissa vaikuttaisi siltä, että heikentyneen virtaaman myötä myös kiintoainehuuhtouma on ollut vähäisempi. Syyskuun erittäin vähäiseen virtaamaan verrattuna ojaveden korkea kiintoainepitoisuus voisi johtua näytteeseen mahdollisesti päätyneestä biomassasta. Lisäksi on mahdollista, että syyskuussa uoman pohjasta on saattanut irrota kiintoainetta näytteenoton yhteydessä, vaikka tätä pyrittiinkin välttämään.

Kuva 8. Kiintoainepitoisuuden ja virtaaman suhde Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä (mukailten Bergman, 2024, ss. 38–39).



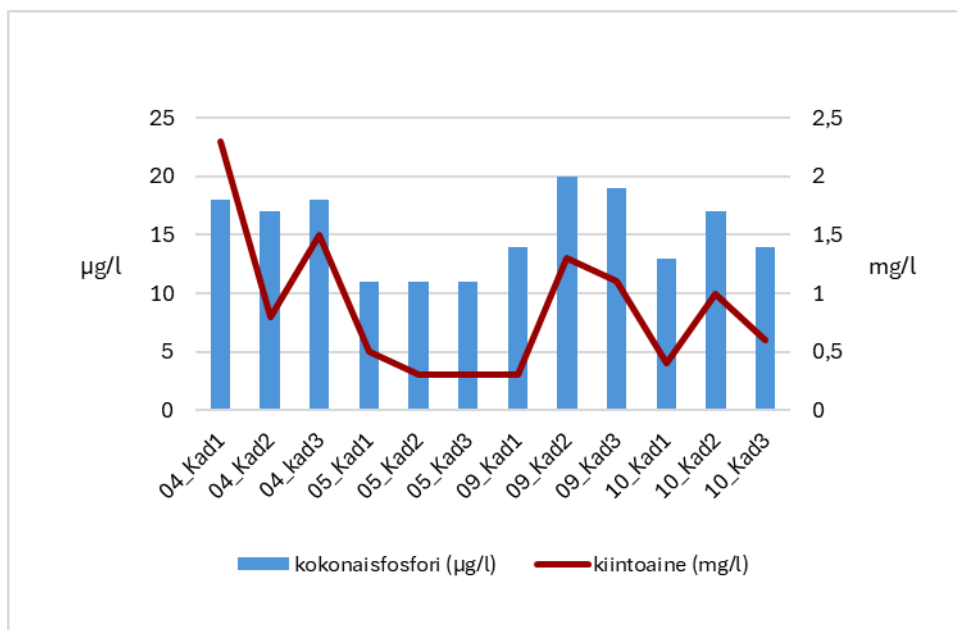
Kun tarkastellaan virtaaman voimakkuuden eroja Kadonneensuonojan mittauspisteiden välillä eri vuodenaikoina suoritetuissa mittauksissa, voidaan todeta, että vaihtelu oli suurinta huhtikuussa. Sen sijaan touko- ja lokakuussa mittauspisteiden väliset erot jäivät vähäisiksi. Syyskuun osalta vertailua ei voi tehdä, koska virtaama mitattiin vain yhdeltä pisteeltä. Ojaveden kiintoainepitoisuuksien osalta syyskuun ja lokakuun tulokset viittaisivat siihen, että biohiilisuodatin saattaa alentaa veden kiintoainepitoisuutta. Kun tarkastellaan kaikkia vuoden 2024 aikana saatuja kiintoainepitoisuustuloksia Kadonneensuonojalla, on tuloksissa sen verran epäsystemaattista vaihtelua, että laskeutusaltaan ja biohiilisuodattimen vaikutuksista ojaveden kiintoainepitoisuuksiin on haastava tehdä johtopäätöksiä.

Syyskuussa otetuissa vesinäytteissä kokonaisfosforipitoisuus Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä vaihteli 14–20 µg/l välillä. Lokakuun näytteissä fosforipitoisuudet puolestaan vaihtelivat 13–17 µg/l välillä. Kun verrataan syyskuun ja lokakuun tuloksia keskenään, voidaan todeta, että kokonaisfosforipitoisuudet ovat hieman laskeneet näytteenottokertojen välillä. Humusvaikutteisissa vesissä tyypillinen kokonaisfosforin pitoisuus asettuu välille 10–15 µg/l (Oravainen, 1999, s. 17). Syyskuun ja lokakuun tulosten osalta kokonaisfosforin pitoisuudet Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä ovat osittain hieman humusvaikutteisten vesien tavanomaisia pitoisuuksia suuremmat.

Kuvassa 9 esitetään kaikkien vuoden 2024 aikana otettujen vesinäytteiden kokonaisfosforipitoisuudet suhteutettuna kiintoaineen määrään Kadonneensuonojan

näytteenottopisteillä. Kuvaajaa tarkastelemalla voidaan todeta, että kokonaisfosforin ja kiintoaineen pitoisuudet näyttäisivät pääosin noudattavan samaa kaavaa. Alhaisimmat kokonaisfosforin pitoisuudet mitattiin toukokuussa, jolloin myös kiintoaineen määrä vedessä oli pienimmillään. Korkeimmillaan sekä kokonaisfosforin että kiintoaineen pitoisuudet olivat huhtikuussa ja syyskuussa. Tämän perusteella vaikuttaisi siltä, että fosfori on pitkälti sitoutuneena kiintoaineeseen. Kokonaisfosforin pitoisuus lievästi rehevissä vesissä asettuu 10–20 µg/l välille (Oravainen, 1999, s. 17). Kun tarkastellaan Kadonneensuonojan kokonaisfosforipitoisuuksia kaikkien vuodenaikojen osalta, voidaan todeta, että tulokset viittaavat lievästi rehevään veteen.

Kuva 9. Kokonaisfosforin ja kiintoaineen suhde Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 39).

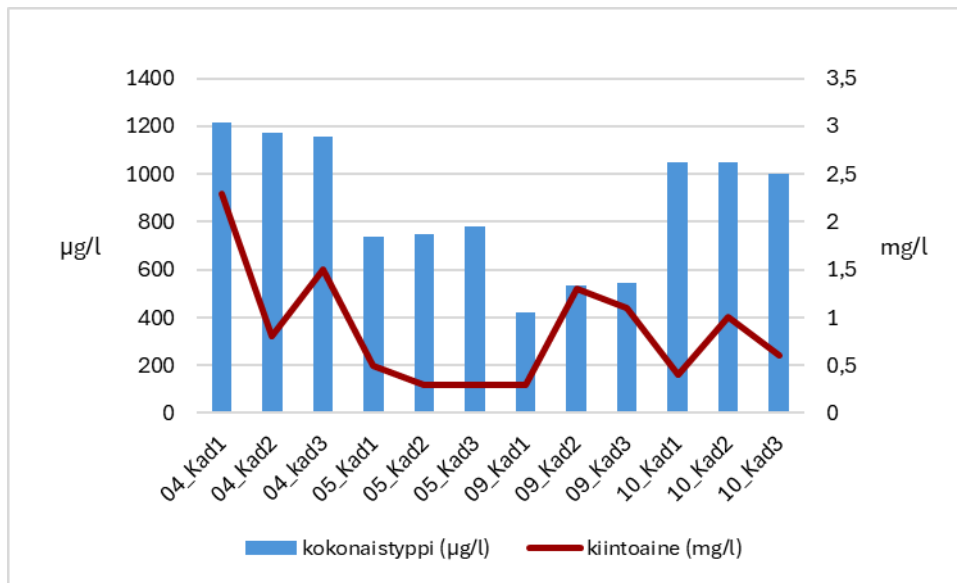


Vuoden 2024 aikana saatujen näytteenottotulosten perusteella näytteenottopisteiden välillä ei ole havaittavissa erityisen selkeää reduktiota ojaveden kokonaisfosforipitoisuuksissa. Huhti- ja toukokuun tuloksissa erot näytteenottopisteiden välillä ovat erittäin vähäiset. Sen sijaan syys- ja lokakuun tuloksissa näytteenottopisteiden välillä on enemmän vaihtelua. Syys- ja lokakuussa ensimmäisen näytteenottopisteen kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuudet ovat toista ja kolmatta näytteenottopistettä alhaisemmat. Toisen ja kolmannen näytteenottopisteen välillä sekä kiintoaine- että kokonaisfosforipitoisuus näyttää laskeneen, mikä voisi viitata siihen, että biohiilisuodatin sitoo osan ojaveden sisältämästä kiintoaineesta ja fosforista.

Syyskuun näytteenottotuloksissa kokonaistypen pitoisuudet Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä vaihtelivat 420–545 µg/l välillä ja lokakuun tuloksissa välillä 1001–1050 µg/l. Oravaisen (1999, s. 19) mukaan humusvaikutteisten vesien tyypipitoisuus asettuu tyypillisimmin välille 400–800 µg/l, mutta tyypipitoisuudet voivat kuitenkin erittäin ruskeissa vesissä luontaisesti ylittää 1000 µg/l pitoisuuden. Syyskuun vesinäytteistä määritetyt tyypipitoisuudet ovat humusvaikutteisille vesille ominaiset. Lokakuun vesinäytteissä kokonaistypen pitoisuudet ovat syyskuun mittaustuloksiin verrattuna huomattavasti suuremmat, mutta eivät kuitenkaan merkittävästi ylitä erittäin humusvaikutteisten vesien luontaisia pitoisuuksia.

Kuvassa 10 esitetään kokonaistypen ja kiintoaineen suhde kaikkina vuodenaikoina Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä vuonna 2024. Kuvan kaaviota tarkastelemalla voidaan todeta, että kokonaistyyppipitoisuudet olivat korkeimmillaan huhtikuun näytteenottotuloksissa. Tällöin pitoisuudet vaihtelivat välillä 1157–1218 µg/l (Bergman, 2024, s. 39). Alhaisimmat kokonaistypen pitoisuudet puolestaan mitattiin syyskuussa. Oravaisen (1999, s. 19) mukaan kokonaistypen pitoisuudet ovat useimmiten korkeimmillaan kevätylivaluman aikaan ja runsassateisina kausina. Eri vuodenaajoille tyypillisten olosuhteiden vaikutus typen huuhtoutumiseen todennäköisesti selittää näytteenottokertojen väliset eroavaisuudet Kadonneensuonojan tyypipitoisuuksissa. Tulosten perusteella ojaveden tyypipitoisuus ei vaikuta olevan riippuvainen kiintoaineen määrästä. Tämä voisi viitata siihen, että suurempi osa tpeestä on liukoisessa muodossa, eikä orgaaniseen ainekseen sitoutuneena.

Kuva 10. Kokonaistypen ja kiintoaineen suhde Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä (mukailten Bergman, 2024, s. 39).

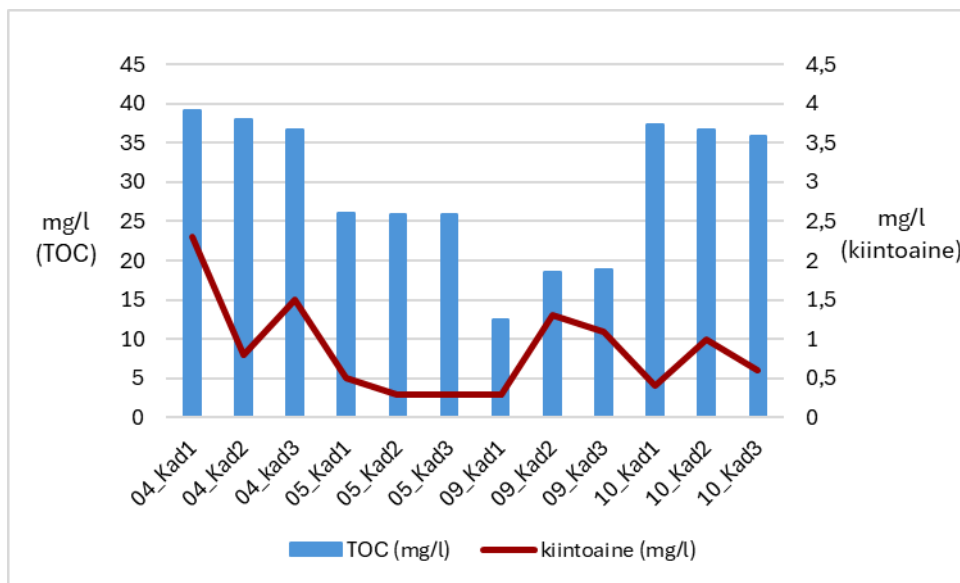


Kaiken kaikkiaan vuoden 2024 aikana saaduissa näytteenottotuloksissa erot kokonaistypen pitoisuuksissa Kadonneensuonojan näytteenottopisteiden välillä ovat kohtalaisen vähäiset. Huhtikuun ja lokakuun näytteenottokerroilla korkeimmat typpipitoisuudet mitattiin ensimmäisellä näytteenottopisteellä. Viimeisellä näytteenottopisteellä pitoisuudet ovat hieman ensimmäisen näytteenottopisteen pitoisuuksia alhaisemmat. Toukokuun ja syyskuun tuloksissa ojaveden typpipitoisuus puolestaan on viimeisellä näytteenottopisteellä korkeampi kuin ensimmäisellä pisteellä. Kun tarkastellaan kaikkia vuonna 2024 saatuja tuloksia, voidaan todeta, että typpipitoisuuksissa ei ole havaittavissa selkeää reduktiota näytteenottopisteiden välillä. Huhtikuun ja lokakuun tulosten perusteella laskeutusallas ja biohiilisuodatin ovat saattaneet alentaa veden typpipitoisuutta hieman, mutta merkittävää muutosta Kadonneensuonojan veden typpipitoisuudessa näytteenottopisteiden välillä ei kuitenkaan ole havaittavissa.

Syyskuun näytteenottotuloksissa orgaanisen kokonaishiilen pitoisuudet Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä vaihtelivat välillä 12,4–18,8 mg/l. Lokakuun näytteissä pitoisuudet puolestaan olivat 35,8–37,3 mg/l. Kadonneensuonojan valuma-alueen ominaisuudet huomioon ottaen TOC-pitoisuudet olivat erityisesti syyskuun vesinäytteissä suhteellisen alhaiset. Näytteenottokertojen välillä ojaveden TOC-pitoisuudet ovat selvästi kohonneet. Tämän perusteella on mahdollista, että lokakuussa Kadonneensuonojan valuma-alueelta humusta on huuhtoutunut ojaan esimerkiksi valunnan kasvun myötä.

Kuvassa 11 esitetään orgaanisen kokonaishiilen ja kiintoainepitoisuuksien suhde kaikilla Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä vuoden 2024 aikana otetuissa vesinäytteissä. TOC-pitoisuudet olivat korkeimmillaan huhtikuussa ja lokakuussa otetuissa vesinäytteissä ja matalimmillaan syyskuun näytteissä. Tämä viittaa mahdollisesti siihen, että runsaamman pintavalunnan myötä humuksen huuhtoutuminen on runsaampaa. Kuvaajan perusteella ojaveden kiintoainepitoisuudet eivät suoranaisesti näytä korreloivan TOC-pitoisuuksien kanssa. Näin ollen on mahdollista, että TOC-pitoisuus muodostuu suurimmaksi osin liuenneesta orgaanisesta hiilestä kiintoaineeseen sitoutuneen hiilen sijaan.

Kuva 11. Orgaanisen kokonaishiilen ja kiintoaineen suhde Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 39).



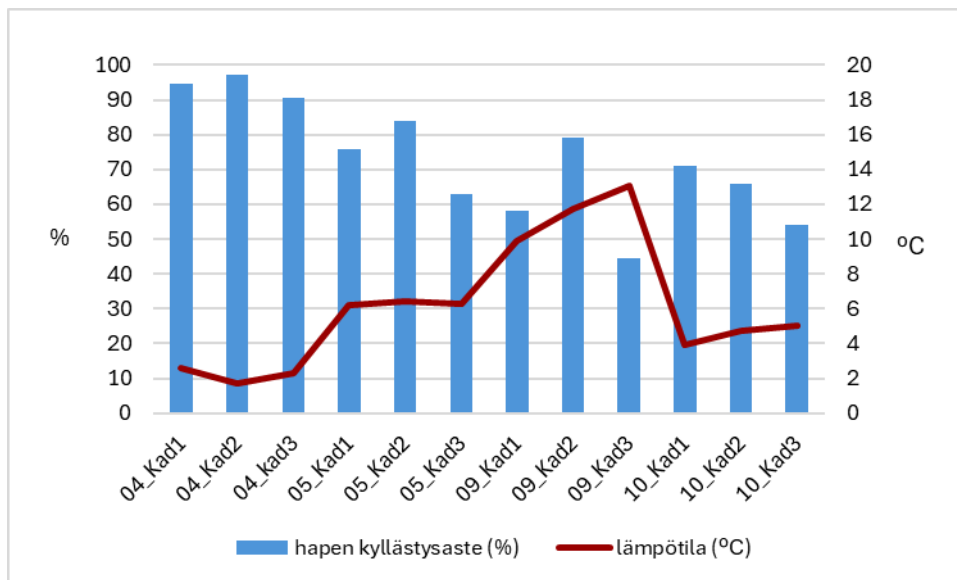
Kun tarkastellaan kaikkia vuoden 2024 aikana saatuja tuloksia orgaanisen kokonaishiilen osalta, voidaan todeta, ettei pitoisuuksissa ole näytteenottopisteiden välillä erityisen suuria eroja. Huhtikuun ja lokakuun tuloksissa orgaanisen kokonaishiilen pitoisuudet ovat ensimmäisellä näytteenottopisteellä suuremmat verrattuna viimeiseltä näytteenottopisteeltä mitattuihin pitoisuuksiin. Tämä saattaisi viitata siihen, että osa ojaveden sisältämästä humuksesta jää biohiilisuodattimeen.

Syyskuun mittaustuloksissa ojaveden lämpötila Kadonneensuonojan mittauspisteillä vaihteli 9,9–13,1 °C välillä. Veden happipitoisuus kyseisillä mittauspisteillä oli tällöin 4,61–8,46 mg/l ja hapen kyllästysaste 44,4–79 %. Lokakuun mittaustuloksissa ojaveden lämpötila puolestaan oli 3,5–5 °C, veden happipitoisuus vaihteli 6,82–9,23 mg/l välillä ja hapen kyllästysaste oli 54,1–71,1 %. Haakanan (2018, s. 87) mukaan hyvä hapen kyllästysaste

vedessä on 80–100 % välillä. Kyseiseen kyllästysasteeseen vertaamalla voidaan todeta, että syyskuussa Kadonneensuonojan mittauspisteillä 1 ja 3 sekä lokakuussa pisteellä 3 ojaveden happipitoisuudet olivat varsin alhaiset.

Kuvassa 12 esitetään ojaveden lämpötilan ja hapen kyllästysasteen suhde Kadonneensuonojan mittauspisteillä. Ojaveden lämpötila oli alhaisimmillaan huhtikuun mittaustuloksissa ja korkeimmillaan syyskuun mittaustuloksissa. Veden lämpötilaan vaikuttaa oleellisesti ilman lämpötila, joten muutokset Kadonneensuonojan veden lämpötilassa noudattavat vuodenajoille tyypillistä vaihtelua. Korkeimmat hapen kyllästysasteet mitattiin huhtikuussa ja alhaisimmat arvot puolestaan saatiin syyskuussa. Niin ikään korkeimmat happipitoisuudet mitattiin huhtikuussa, jolloin ne vaihtelivat näytteenottopisteillä 12,12–13,24 mg/l välillä (Bergman, 2024, s. 38). Alhaisin happipitoisuus sen sijaan mitattiin syyskuussa Kadonneensuonojan mittauspisteeltä 3, jolloin veteen liunneen hapen määrä kyseisellä pisteellä oli vain 4,61 mg/l. Happipitoisuudet noudattavat pitkälti ojaveden lämpötilan vaihtelua niin, että kylmässä vedessä happipitoisuus oli suurempi verrattuna lämpimämpään veteen.

Kuva 12. Ojaveden lämpötilan ja hapen kyllästysasteen suhde Kadonneensuonojan mittauspisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 38).



Kun tarkastellaan ojavedestä mitattuja hapen kyllästysasteita koko vuoden 2024 ajalta, voidaan todeta, että mittaustuloksissa on suhteellisen suurta vaihtelua sekä mittausajankohtien että -pisteiden välillä. Eri vuodenaikoina suoritettujen mittausten välisiin eroihin vaikuttavat mahdollisesti erot ojaveden virtaamassa, sillä vuolaasti virtaavaan veteen

sekoittuu ilmasta happea useimmiten varsin tehokkaasti. Virtaama Kadonneensuonojassa vuoden 2024 aikana oli suurimmillaan huhtikuun mittauksissa, jolloin mitattiin myös suurimmat happipitoisuudet ja pienimmillään syyskuun mittauksissa, jolloin taas mitattiin pienimmät happipitoisuudet. Vaihtelut virtaaman voimakkuudessa voivat selittää myös mittauspisteiden välisiä eroavaisuuksia happipitoisuuksissa. Mittaustuloksia tarkastelemalla vaikuttaisi siltä, että kaikkina mittausajankohtina lokakuuta lukuun ottamatta hapen kyllästysaste oli korkeimmillaan Kadonneensuonojan mittauspisteellä numero 2. Tämä voi selittyä sillä, että mittauspisteen lähetyvillä on ojarumpu, josta purkautuessaan veteen todennäköisesti sekoittuu happea.

Syyskuussa otetuissa vesinäytteissä Kadonneensuonojan mittauspisteiden veden pH-arvot olivat välillä 7,3–7,54. Mittauslaitteen toimintaan liittyvien epävarmuustekijöiden vuoksi syyskuussa saatuihin tuloksiin ei välttämättä voi täysin luottaa. Oravaisen (1999, s. 12) mukaan kesäaikaan levätuotanto voi kuitenkin nostaa veden pH-tasoa jonkin verran. Näin ollen on myös mahdollista, että lievään emäksisyyteen viittaavat arvot johtuisivat kohonneesta levätuotannosta. Lokakuussa ojaveden pH samaisilla mittauspisteillä puolestaan oli 6,5 tai hieman alle YSI Professional Plus -mittalaitteen perusteella, ja laboratoriossa tehdyn määrittelyn perusteella puolestaan hieman yli 6,5. Kadonneensuonojan mittauspisteiden osalta maastossa tehty pH-arvon määrittelyt eivät eroa merkittävästi laboratoriossa tehdyistä määrittelyistä. Lokakuun näytteiden pH-arvot ovat Suomen lievästi happamille vesille erittäin tyypilliset.

Huhtikuussa Kadonneensuonojan mittauspisteillä ojaveden pH-arvo vaihteli 6,01–6,46 välillä ja toukokuussa arvot samaisilla mittauspisteillä olivat 6,36–6,7 (Bergman, 2024, s. 38). Syyskuun tuloksia lukuun ottamatta Kadonneensuonojan mittauspisteiltä mitatuissa pH-arvoissa ei ole havaittavissa erityisen merkittävää vaihtelua eri vuodenaikojen välillä. Kun otetaan huomioon, että Kadonneensuonojan valuma-alueesta merkittävä osa muodostuu suosta, ovat ojaveden lievään happamuuteen viittaavat pH-arvot kohteelle varsin ominaisia.

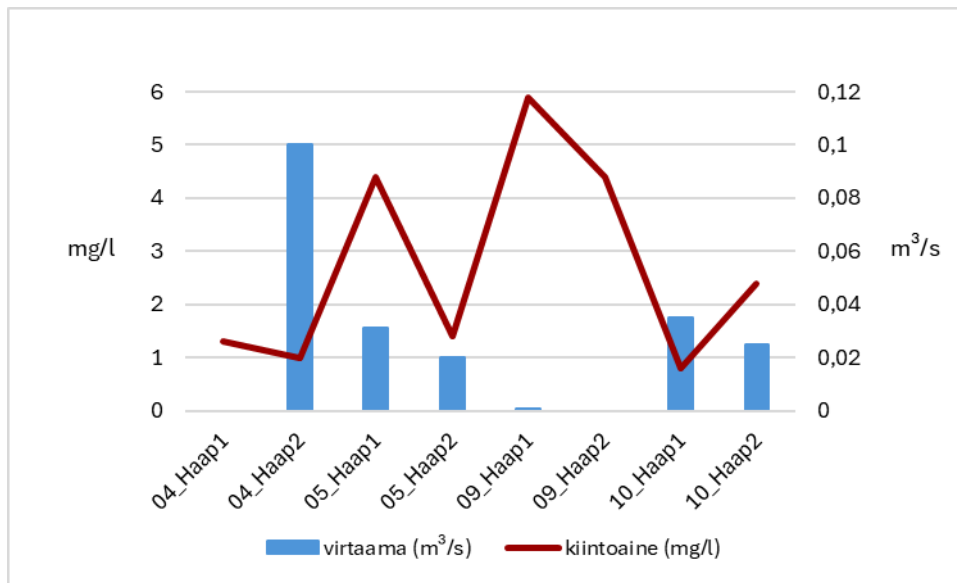
Kadonneensuonojan mittauspisteillä veden sähkönjohtavuus vaihteli syyskuun mittauksissa välillä 3,6–3,9 mS/m ja lokakuun mittauksissa välillä 2,9–3 mS/m. Huhtikuun mittauksissa arvot asettuivat välille 2,29–2,8 mS/m ja toukokuun mittauksissa välille 2,8–2,9 mS/m (Bergman, 2024, s. 38). Kun tarkastellaan kaikkia vuoden 2024 aikana mitattuja arvoja, voidaan todeta, ettei sähkönjohtavuudessa ole merkittävää vaihtelua. Oravaisen (1999, s. 10) mukaan tyypilliset sähkönjohtavuuden arvot Suomessa ovat 5–10 mS/m. Tämän perusteella voidaan todeta, että Kadonneensuonojalta mitatut arvot ovat varsin alhaiset, mikä viittaa siihen, että veteen on liuennut vain vähän suoloja.

7.2 Haapasuonojan tulokset

Haapasuonojan näytteenottopisteellä 1 veden kiintoainepitoisuus oli syyskuussa otetussa vesinäytteessä 5,9 mg/l ja näytteenottopisteellä 2 puolestaan 4,4 mg/l. Lokakuun vesinäytteissä vastaavien näytteenottopisteiden kiintoainepitoisuudet olivat 0,8 ja 2,4 mg/l. Kun verrataan syyskuun ja lokakuun näytteiden tuloksia keskenään, voidaan todeta, että kiintoainepitoisuudet ovat laskeneet näytteenottokertojen välillä Haapasuonojan molemmilla näytteenottopisteillä. Haapasuonojan ensimmäisellä mittauspisteellä virtaama oli syyskuun mittauskerralla 0,001 m³/s ja lokakuun mittauskerralla 0,035 m³/s. Toiselta Haapasuonojan mittauspisteeltä virtaamaa ei syyskuussa pystynyt mittaamaan, mutta se oli silmämääräisesti arvioituna erittäin vähäinen. Lokakuussa virtaama Haapasuonojan toisella mittauspisteellä oli 0,025 m³/s. Syyskuun mittaustuloksiin verrattuna virtaama Haapasuonojassa oli lokakuussa selvästi voimakkaampi.

Haapasuonojan mittaus- ja näytteenottopisteiden virtaaman voimakkuus ja ojaveden kiintoainepitoisuudet vuonna 2024 esitetään kuvassa 13. Kuvaajan perusteella ojaveden virtaama Haapasuonojassa oli voimakkaimmillaan huhtikuussa ja heikoimmillaan syyskuussa. Virtaaman voimakkuuden vaihtelu eri mittausajankohtina Haapasuonojan mittauspisteillä noudattaa vuodenajoille tyypillistä vaihtelua. Kuvaajan perusteella korkeimmat kiintoainepitoisuudet vuonna 2024 ajoittuivat syyskuulle ja matalimmat puolestaan huhti- ja lokakuulle. Tämä viittaisi siihen, ettei virtaaman voimakkuudella ollut erityisen merkittävää vaikutusta Haapasuonojan näytteenottopisteiltä mitattuihin kiintoainepitoisuuksiin. Virtaamaan verrattuna korkeita kiintoainepitoisuuksia voi selittää erityisesti syyskuun tulosten osalta näytteeseen mahdollisesti päätynyt biomassa tai näytteenoton yhteydessä uoman pohjasta irronnut kiintoaine. Toisaalta suurempi ojassa virtaavan veden määrä saattaa laimentaa veden kiintoainepitoisuutta, mikä voisi osaltaan selittää pitoisuuksien vaihtelua.

Kuva 13. Kiintoainepitoisuuden ja virtaaman suhde Haapasuonojan mittaus- ja näytteenottopisteillä (mukaiillen Bergman, 2024, s. 38).



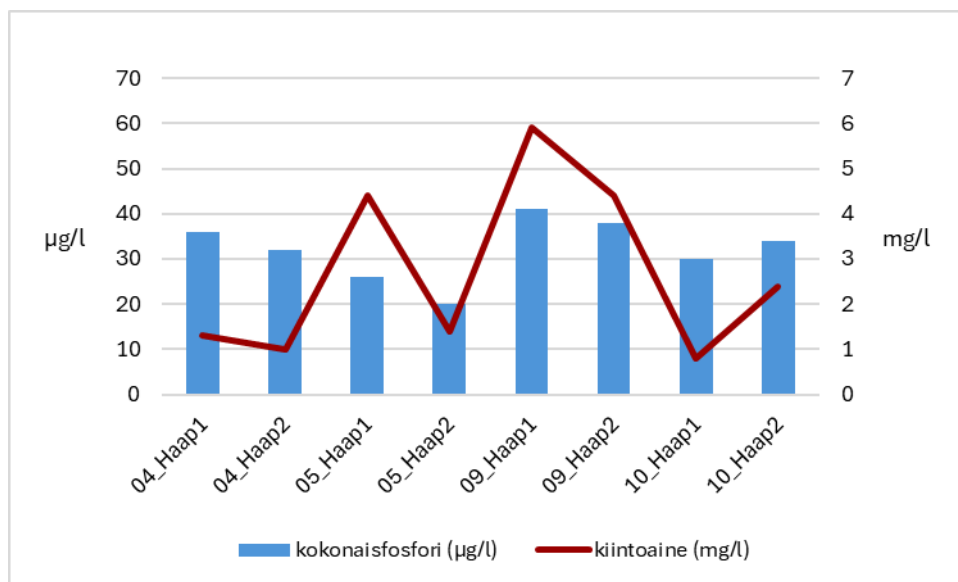
Kun tarkastellaan Haapasuonojan virtaaman voimakkuutta touko- ja lokakuussa, vaikuttaisi siltä, että laskeutusallas ja rankanippu hidastavat ojaveden virtaamaa, sillä virtaama jälkimmäisellä Haapasuonojan mittauspisteellä on ensimmäiseen pisteeseen verrattuna alhaisempi. Lokakuun kiintoainepitoisuuksia koskevia tuloksia lukuun ottamatta tulokset viittaavat siihen, että kiintoaineen määrä ojavedessä laskee näytteenottopisteiden välillä. On siis mahdollista, että ojaveden mukana kulkeutuva kiintoaine pysähtyy laskeutusaltaan ja rankanipun muodostamaan rakennelmaan.

Syyskuussa otetuissa vesinäytteissä Haapasuonojan näytteenottopisteillä veden kokonaisfosforipitoisuudet vaihtelivat 38–40 µg/l välillä ja lokakuun näytteissä 30–34 µg/l välillä. Kuten Kadonneensuonojan näytteenottotuloksissa, myös Haapasuonojan tuloksissa kokonaisfosforipitoisuudet ovat laskeneet näytteenottokertojen välillä. Oravaisen (1999, s. 17) mukaan vedet, joissa kokonaisfosforin pitoisuudet ylittävät 20 µg/l, luokitellaan reheviksi. Näin ollen sekä syys- että lokakuun kokonaisfosforipitoisuudet Haapasuonojan näytteenottopisteillä viittaavat veden rehevyyteen.

Kuvassa 14 esitetään kokonaisfosforin ja kiintoaineen suhde Haapasuonojan näytteenottopisteillä kaikkien vuonna 2024 otettujen vesinäytteiden osalta. Kuvaajaa tarkastelemalla voidaan todeta, että fosfori- ja kiintoainepitoisuudet näyttävät pääosin korreloivan keskenään. Tämä viittaisi siihen, että merkittävä osa fosforista on todennäköisesti sitoutuneena kiintoaineeseen. Korkeimmat fosforipitoisuudet mitattiin

syyskuussa, jolloin myös kiintoaineen pitoisuudet olivat selkeästi korkeimmillaan. Alhaisimmat fosforipitoisuudet puolestaan mitattiin toukokuussa. Haakanan (2018, s. 89) mukaan hyvin humuspitoisissa vesistöissä kokonaisfosforipitoisuudet voivat vaihdella 20–45 µg/l välillä. Tämän perusteella on mahdollista, että suhteellisen korkeisiin kokonaisfosforin pitoisuuksiin voisi vaikuttaa Haapasuonojan latva-alueelta peräisin oleva humuskuormitus. Sekä Haakanan (2018, s. 89) että Oravaisen (1999, s. 17) mukaan välille 20–50 µg/l asettuvat fosforipitoisuudet kertovat veden rehevyydestä. Näin ollen kaikki vuonna 2024 Haapasuonojalta mitatut kokonaisfosforipitoisuudet viittaavat ojaveden rehevyyteen. Humuskuormituksen lisäksi toinen mahdollinen fosforin lähde on ojan valuma-alueella harjoitettava maatalous.

Kuva 14. Kokonaisfosforin ja kiintoaineen suhde Haapasuonojan näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 38).



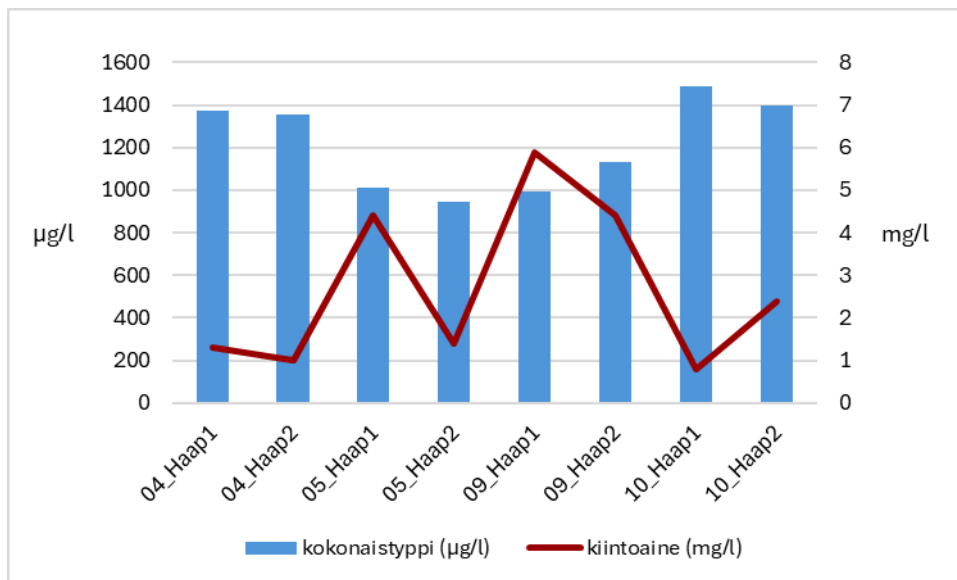
Haapasuonojan kokonaisfosforipitoisuuksia koskevia tuloksia tarkasteltaessa, voidaan huomata, että lokakuun tuloksia lukuun ottamatta fosfori- ja kiintoainepitoisuudet ovat ensimmäisellä näytteenottopisteellä korkeammat verrattuna toiseen näytteenottopisteeseen. Tämän perusteella vaikuttaa siltä, että osa laskeutusaltaan ja rankanippusuodattimen läpi virtaavan veden sisältämästä kiintoaineesta ja siihen sitoutuneesta fosforista mahdollisesti laskeutuu altaan pohjalle. Lisäksi fosforia saattaa sitoutua rankanipun biofilmiin.

Syyskuussa otetuissa vesinäytteissä Haapasuonojan kokonaistypen pitoisuudet vaihtelivat välillä 996–1130 µg/l ja lokakuun näytteissä välillä 1397–1489 µg/l. Oravaisen (1999, s. 19) mukaan erittäin humuspitoisissa vesissä 1000 µg/l ylittävät kokonaistypen pitoisuudet ovat

tavanomaisia. Haakanan (2018, s. 89) mukaan peltovaltaisilla alueilla joki- ja ojavesien typpipitoisuudet voivat vaihdella 2000–6000 µg/l välillä. Kun otetaan huomioon, että Haapasuonojan valuma-alueella on sekä maatalouskäytössä olevia alueita että mahdollista humuskuormitusta aiheuttavia suoalueita, ovat syys- ja lokakuun vesinäytteiden typpipitoisuudet todennäköisesti Haapasuonojalle tavanomaisia.

Kaikki Haapasuonojasta vuonna 2024 mitatut typpipitoisuudet esitetään kuvassa 15 suhteutettuna ojaveden kiintoainepitoisuuksiin. Korkeimmat typpipitoisuudet mitattiin lokakuussa ja huhtikuussa, kun taas matalimmillaan pitoisuudet olivat toukokuussa ja syyskuussa. Kun vertaillaan Haapasuonojan näytteenottopisteiltä eri vuodenaikoina mitattuja typpipitoisuuksia, voidaan todeta, että vuodenaikojen välillä on jonkin verran eroja. Kuten Kadonneensuonojalla, mahdollinen syy myös Haapasuonojan typpipitoisuuksien vuodenaikojen välisille eroavaisuuksille on valuntaolosuhteiden vaihtelun vaikutus typpihuuhtoumaan. Kuvaajan perusteella vaikuttaa siltä, ettei ojaveden typpipitoisuus suoranaisesti korreloi kiintoainepitoisuuden kanssa, joten on mahdollista, että typpi on lähtökohtaisesti liukoisessa muodossa.

Kuva 15. Kokonaistypen ja kiintoaineen suhde Haapasuonojan näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 38).



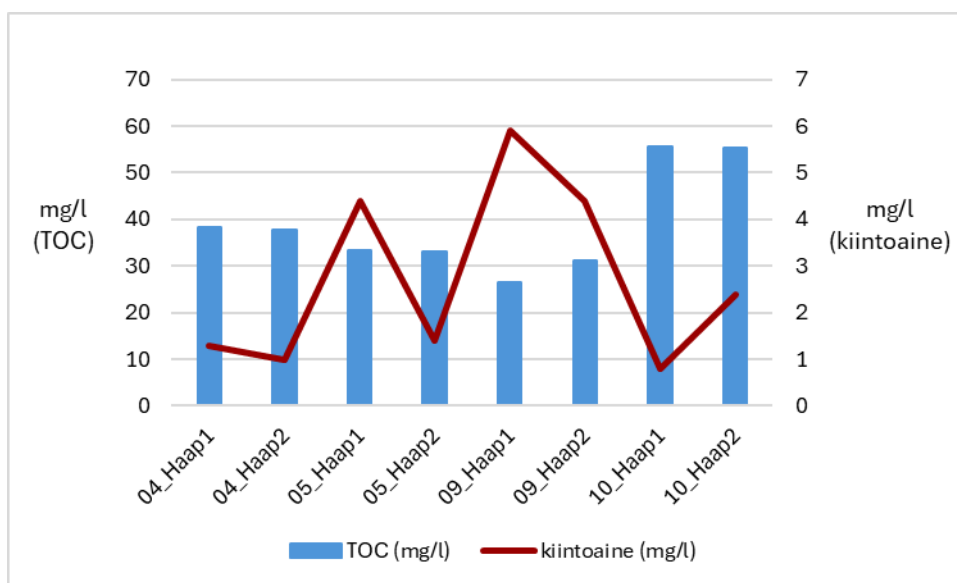
Kun tarkastellaan kaikkia vuoden 2024 näytteenottotuloksia kokonaistypen pitoisuuksien osalta, voidaan todeta, että näytteenottopisteiden väliset erot typpipitoisuuksissa ovat suhteellisen vähäiset. Syyskuun tuloksia lukuun ottamatta typpipitoisuudet ovat ensimmäisellä näytteenottopisteellä hieman korkeammat verrattuna toisen

näytteenottopisteen pitoisuuksiin. Tämän perusteella on mahdollista, että pienehkö osa ojaveden sisältämästä tyyppisestä sitoutuu rankanippusuodattimen biofilmiin.

Haapasuonojan näytteenottopisteillä syyskuun vesinäytteenottotuloksissa orgaanisen kokonaishiilen pitoisuudet vaihtelivat välillä 26,6–31,1 mg/l. Lokakuussa TOC-pitoisuudet sen sijaan olivat 55,4–55,7 mg/l. Kuten Kadonneensuonojan näytteenottopisteillä, myös Haapasuonojan näytteenottopisteillä TOC-pitoisuudet ovat selvästi kasvaneet näytteenotokertojen välillä. Tämä voi mahdollisesti selittyä pintavalunnan kasvulla, jonka myötä ojan valuma-alueelta huuhtoutuvan humuksen määrä on suurempi.

Kuvassa 16 esitetään orgaanisen kokonaishiilen ja kiintoainepitoisuuksien suhde Haapasuonojan näytteenottopisteillä vuoden 2024 aikana otetuissa vesinäytteissä. Kuvaajaa tarkastelemalla voidaan todeta, että korkeimmat TOC-pitoisuudet mitattiin lokakuussa ja matalimmat puolestaan syyskuussa. Huhtikuun ja toukokuun pitoisuuksien välinen ero on kohtalaisen vähäinen. Valuntaolosuhteiden vaihtelu todennäköisesti osittain selittää eri vuodenaikoina otettujen näytteiden välisiä eroavaisuuksia. Kun tarkastellaan ojaveden kiintoainepitoisuuksia suhteessa TOC-pitoisuuksiin, voidaan todeta, etteivät pitoisuudet näytä korreloivan toistensa kanssa. Tämän perusteella on mahdollista, että suurempi osa TOC-pitoisuudesta muodostuu liuenneesta orgaanisesta hiilestä.

Kuva 16. Orgaanisen kokonaishiilen ja kiintoaineen suhde Haapasuonojan näytteenottopisteillä (mukaihen Bergman, 2024, s. 38).

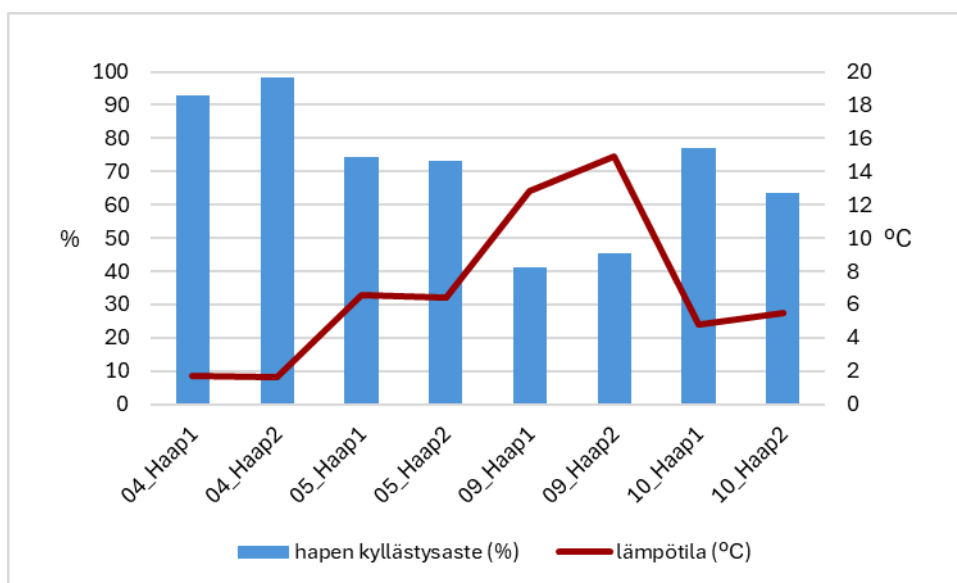


Kun vertaillaan Haapasuonojan näytteenottopisteiden välisiä orgaanisen kokonaishiilen pitoisuuksia, eroavaisuudet vaikuttaisivat olevan varsin vähäisiä. Syyskuun tuloksia lukuun ottamatta muina vuodenaikoina TOC-pitoisuudet ovat hieman laskeneet ensimmäisen ja toisen näytteenottopisteen välillä. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, ettei rankanippusuodattimen vaikutus TOC-pitoisuuksiin näytä olevan erityisen merkittävä.

Syyskuun mittaustuloksissa ojaveden lämpötila Haapasuonojan mittauspisteillä oli 12,8–14,9 °C ja lokakuun mittaustuloksissa 4,8–5,5 °C. Syyskuun mittaustuloksissa Haapasuonojan mittauspisteiden happipitoisuus vaihteli välillä 4,29–4,54 mg/l. Tällöin hapen kyllästysaste oli 41,2–45,5 %. Lokakuun mittaustuloksissa happipitoisuus sen sijaan oli 7,94–9,77 mg/l ja hapen kyllästysaste 63,7–76,9 %. Hapen kyllästysaste ja sen myötä myös ojaveden happipitoisuus olivat syyskuun mittaustuloksissa varsin alhaiset, kun otetaan huomioon, että hyvässä happitilanteessa kyllästysaste on 80–100 %.

Kuvassa 17 esitetään kaikkien vuoden 2024 aikana saatujen lämpötilatulosten suhde hapen kyllästysasteeseen Haapasuonojan mittauspisteillä. Ojaveden lämpötila oli matalimmillaan huhtikuussa ja korkeimmillaan syyskuussa. Lämpötilan vaihtelu noudattaa vuodenajoille tyypillistä vaihtelua. Korkeimmat hapen kyllästysasteet mitattiin huhtikuussa, jolloin ojaveden happipitoisuus Haapasuonojan ensimmäisellä mittauspisteellä oli Bergmanin (2024, s. 38) mukaan 12,71 mg/l ja toisella mittauspisteellä 13,37 mg/l. Mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että ojaveden happipitoisuus riippuu pitkälti veden lämpötilasta. Kuvaajaa tarkastelemalla vaikuttaisi siltä, että myös hapen kyllästysaste noudattelee samaa kaavaa.

Kuva 17. Ojaveden lämpötilan ja hapen kyllästysasteen suhde Haapasuonojan näytteenottopisteillä (mukaillen Bergman, 2024, s. 37).



Kun tarkastellaan kaikkia vuoden 2024 aikana saatuja Haapasuonojan hapen kyllästysastetta koskevia mittaustuloksia, voidaan todeta, että kyllästysasteessa esiintyy suhteellisen suurta vaihtelua. Kuten Kadonneensuonojan tuloksissa, myös Haapasuonojan tulosten vaihtelua voisi selittää virtaamaolosuhteiden vaihtelu. Syyskuun alhaisia tuloksia selittää mahdollisesti erittäin vähäinen virtaama, jonka myötä ojaveteen ei todennäköisesti pääse sekoittumaan happea ilmasta yhtä tehokkaasti kuin voimakkaamman virtaaman olosuhteissa. Päinvastoin huhtikuussa voimakkaampi virtaama mahdollisesti vaikutti ojaveden happipitoisuuteen sitä kohottavasti.

Haapasuonojan näytteenottopisteillä ojaveden pH-arvo oli syyskuussa tehdyissä mittauksissa 6,83–7,05. Lokakuussa YSI Professional Plus -mittalaitteella tehdyissä määrittelyissä pH oli 6,51–7,38, kun taas lokakuun näytteistä tehtyjen laboratoriomääritysten mukaan ojaveden pH oli molemmilla Haapasuonojan näytteenottopisteillä 5,27. Tässä tapauksessa laboratoriossa tehdyt määrittelyt ovat lähtökohtaisesti luotettavammat kuin maastossa tehdyt määrittelyt. Laboratoriossa määritetty pH-arvo viittaa Haapasuonojassa virtaavan veden happamoitumiseen. Tähän voi ainakin osittain vaikuttaa se, että osa Haapasuonojan kautta virtaavasta vedestä on peräisin suoalueelta, jolloin veden sisältämä humus voi laskea sen pH-tasoa.

Huhtikuussa Haapasuonojan toisella mittauspisteellä veden pH-taso oli 5,74 ja toisella mittauspisteellä 7,01. Toukokuussa vastaavilla pisteillä pH-arvot olivat 6,20 ja 7,12. (Bergman, 2024, s. 37) Kun vertaillaan kaikkia Haapasuonojan mittauspisteiltä vuoden 2024 aikana saatuja pH-tuloksia, voidaan todeta, että niissä on jonkin verran vaihtelua. Useampi mittaustulos kuitenkin viittaa veden happamoitumiseen. Oravaisen mukaan (1999, s. 13) veden happamoitumisen vaikutukset vesieliöstöön alkavat näkyä, kun pH laskee alle tason 6,0. Näin ollen voi olla mahdollista, että hapan vesi vaikuttaa negatiivisesti Haapasuonojan vesieliöihin sekä mahdollisesti myös esimerkiksi Onkilammin ja Renkajoen vesieliöihin, sillä Haapasuonojan kautta vesi virtaa kyseisiin vesistöihin.

Haapasuonojan mittauspisteillä ojaveden sähkönjohtokyky oli syyskuun mittaustuloksissa ensimmäisellä mittauspisteellä 2,8 mS/m ja toisella pisteellä 2,5 mS/m. Lokakuun mittaustuloksissa sähkönjohtokyky samaisilla mittauspisteillä oli 2,0 mS/m ja 4,0 mS/m. Huhtikuussa arvot olivat 1,6–1,7 mS/m ja toukokuussa molemmilla mittauspisteillä 1,8 mS/m (Bergman, 2024, s. 38). Haapasuonojalla sähkönjohtokyky on pääosin ollut Kadonneensuonojaan verrattuna vieläkin alhaisempi, joten veteen liuenneiden suolojen määrä on varsin vähäinen. Syyskuussa sähkönjohtavuus oli Haapasuonojan toisella

mittauspisteellä jonkin verran korkeampi muihin mittaustuloksiin verrattuna. Mahdollinen selittävä tekijä tälle voisi olla orgaanisen aineksen hajoamisesta vapautuvat suolat.

8 Johtopäätökset ja jatkotoimenpide-ehdotukset

Vuonna 2024 saatujen mittaus- ja näytteenottotulosten perusteella sekä Kadonneensuonojan että Haapasuonojan vedenlaatu vaikutti olevan pääosin kohteille tyypillinen, kun otetaan huomioon ojien valuma-alueiden ominaisuudet. Mittaus- ja näytteenottoajankohtien väliset eroavaisuudet tuloksissa selittyvät todennäköisesti pitkälti valunta- ja virtaamaolosuhteiden luontaisella vuodenaikaisvaihtelulla, joka vaikuttaa kiintoaineen, fosforin, typen ja orgaanisen kokonaishiilen huuhtoumiin.

Kadonneensuonojan biohiilisuodattimen yhteydessä sijaitsevilta mittaus- ja vesinäytteenottopisteiltä saaduissa tuloksissa kiintoaine-, ravinne- ja hiilipitoisuuksien erot pisteiden välillä jäivät kokonaisuudessaan varsin vähäisiksi. Kiintoainepitoisuuksien osalta pisteiden ja näytteenottokertojen välillä oli eniten vaihtelua. Pitoisuuksien muutokset eivät kuitenkaan noudattaneet systemaattista kaavaa, joten on haastavaa arvioida, miten laskeutusallas ja biohiilisuodatin mahdollisesti vaikuttivat ojaveden mukana kulkeutuvan kiintoaineen määrään. Fosforin osalta syyskuun ja lokakuun mittaustulokset voisivat viitata siihen, että osa fosforista mahdollisesti jää biohiilisuodattimeen. Orgaanisen kokonaishiilen osalta huhtikuun ja lokakuun tuloksissa on havaittavissa selkeä reduktiokehitys, joka voisi viitata siihen, että laskeutusallas ja biohiilisuodatin vähentävät ojaveden mukana kulkeutuvan humuksen määrää. Typpipitoisuuksissa näytteenottopisteiden välillä ei ollut havaittavissa merkittävää vaihtelua.

Haapasuonojan rankanippusuodattimen yhteydessä sijaitsevilta mittaus- ja näytteenottopisteiltä saaduissa tuloksissa lähes kaikilla mittaus- ja näytteenottokerroilla ojaveden kiintoaine-, ravinne ja hiilipitoisuudet laskivat pisteiden välillä. Tämän perusteella vaikuttaisi siltä, että laskeutusallas ja altaaseen upotettu rankanippu hidastivat veden virtaamaa, jolloin kiintoaine on todennäköisesti vajonnut altaan pohjalle. Fosforin ja typen pitoisuudet näyttivät suurimmalla osalla näytteenottokerroista laskeneen, kun verrattiin ensimmäisen näytteenottopisteen tuloksia toisen pisteen tuloksiin. Orgaanisen kokonaishiilen pitoisuuksien osalta reduktiot olivat varsin vähäisiä. Tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että osa fosforista ja tpeestä mahdollisesti sitoutuu rankanipun biofilmiin tai painuu kiintoaineeseen sitoutuneena laskeutusaltaan pohjalle.

Vuoden 2024 mittaus- ja näytteenottotulokset viittaavat siihen, että rankanippusuodattimen puhdistusteho on kiintoaineen, fosforin ja typen osalta biohiilisuodatinta parempi. Tulosten perusteella vaikuttaisi kuitenkin siltä, että biohiilisuodatin kykenisi sitomaan ojavedestä orgaanista kokonaishiiltä hieman rankanippusuodatinta tehokkaammin. Yksi mahdollinen selitys biohiilisuodattimen heikommalle puhdistusteholle voisi olla ojaveden liian alhainen ravinnepitoisuus. Mosquieran ym. (2024, s. 8) toteuttamassa tutkimuksessa nimittäin havaittiin, että biohiilen kyky sitoa liuennutta orgaanista hiiltä ja ravinteista erityisesti typpeä oli heikompi, kun veden ravinnepitoisuus oli vähäisempi. Samassa tutkimuksessa myös arveltiin, että turvemaiden valumavesien laadussa esiintyy vuodenajoista riippuvien erilaisten olosuhteiden takia suurta vaihtelua, mikä saattaa heikentää biohiilen puhdistuskykyä (Mosquiera ym., 2024, s. 2). Kyseisessä tutkimuksessa tehdyt havainnot voisivat olla mahdollisia Kadonneensuonajan biohiilisuodattimen alhaista puhdistustehoa selittäviä tekijöitä, kun otetaan huomioon, että ojan vesi on pitkälti peräisin suoalueelta, eivätkä ojaveden ravinnepitoisuudet vuonna 2024 otetuissa vesinäytteissä olleet erityisen korkeat.

Vuoden 2024 aikana saatujen vesinäytteenotto- ja mittaustulosten perusteella, rankanippusuodatusmenetelmän laajempi hyödyntäminen voisi muualla Renkajärven alueella olla perustellumpaa verrattuna biohiilisuodattimeen. Rankaniput soveltuvat lähtökohtaisesti tehostamaan jotakin muuta vesiensuojelumenetelmää, kuten laskeutusallasta. Näin ollen niiden hyödyntäminen Renkajärven alueella olisi verrattain helppoa, koska laskeutusaltaita on jo alueella olemassa. Lisäksi karkealla tasolla arvioituna rankanippusuodattimen rakentamiseen liittyvät kustannukset ovat biohiilisuodattimen kustannuksia matalammat, mikä osaltaan voi oleellisesti vaikuttaa siihen, millaisia vesiensuojelumenetelmiä Renkajärven alueella päädytään jatkossa hyödyntämään. Toimeksiantajan edustaja Tuija Engbom (henkilökohtainen tiedonanto, 20.11.2024) totesi sähköpostiviestissään, että rankanippusuodattimen rakentamisen kustannukset muodostuvat lähtökohtaisesti rankojen korjuukustannuksista, nippujen sidonnasta, kohteeseen kuljettamisesta ja altaaseen upottamisesta. Lisäksi Engbom totesi, että rangat pystytään usein hankkimaan kohteen lähetyviltä maanomistajien metsistä. Biohiilisuodattimen kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä puolestaan ovat Engbomin mukaan esimerkiksi suodattimen suunnittelu, työmaasuunnittelu, työnjohto, suodattimen materiaalit ja itse rakentaminen.

On hyvä ottaa huomioon, että mittaus- ja näytteenottotuloksia Kadonneensuon- ja Haapasuonojista on toistaiseksi ainoastaan vuodelta 2024. Tuloksiin vaikuttaa todennäköisesti oleellisesti vuotuiset vaihtelut esimerkiksi sääolosuhteissa, valunnassa ja virtaamassa. Ainoastaan yhden vuoden olosuhteet kattavien tulosten pohjalta

suodatusmenetelmien puhdistustehon kokonaisvaltainen arviointi on vielä haastavaa, sillä esimerkiksi vesinäytteenottoon voi aina liittyä epävarmuustekijöitä, jotka vaikuttavat näytteenottotulosten luotettavuuteen. Näin ollen voisi olla syytä jatkaa ojavesien laadun tutkimista ainakin muutaman vuoden ajan, jotta saataisi kattavampaa tietoa suodatusmenetelmien toimivuudesta erilaisissa olosuhteissa.

Erityisesti biohiilisuodattimen osalta tuloksissa oli suhteellisen paljon vaihtelua, joten kyseisen suodatusmenetelmän toimivuuden tarkempaa arvioimista voisi oleellisesti helpottaa, jos vedenlaatutietoja olisi saatavilla useammalta vuodelta. Toisaalta vedenlaadun tutkimisen jatkaminen voisi olla perusteltua myös siksi, että sekä biohiili- että rankanippusuodatusmenetelmien toimivuuden kehittymisestä saataisi lisää arvokasta tietoa. Tällaista pidemmän ajanjakson kattavaa tutkimustietoa vastaavanlaisista suodatinratkaisuista Renkajärven kaltaisissa kohteissa ei oletettavasti vielä ole liiemmästi saatavilla.

Yksi mahdollinen jatkotutkimuksen aihe voisi olla syvempi perehtyminen biohiilen ja biofilmin toimintaan, sillä sekä tässä että Bergmanin työssä toimintamekanismeja käsiteltiin suhteellisen yleisellä tasolla. Molempien suodatusmenetelmien toimintamekanismeihin vaikuttavia tekijöitä on useita, joten niiden pohtiminen suhteessa biohiili- ja rankanippusuodattimien yhteydestä saatuihin vesinäytteenotto- ja mittaustuloksiin voisi toimia apuna suodatusmenetelmien puhdistustehon tarkemmassa arvioinnissa. Erityisesti tämä voisi olla perusteltua, jos ojavesien laadun seuranta jatketaan ja tulokset viittaavat siihen, että suodattimien puhdistusteho on odotettua heikompi.

9 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön aiheen parissa työskentely oli kaiken kaikkiaan innostavaa, koska vesiensuojelu kiinnostaa minua erityisesti. Koen, että aiemmasta aihepiiriin liittyvästä osaamisestani oli merkittävää hyötyä, sillä se loi hyvän pohjan aiheeseen syventymiselle ja helpotti lähdemateriaalin etsimistä. Biohiilen ja rankanippujen hyödyntäminen vesiensuojelussa olivat minulle entuudestaan melko vieraita menetelmiä, joten oli mielekästä päästä syventämään vesiensuojeluun liittyvää osaamista itselle uuden aiheen parissa. Lisäksi oli mielekästä perehtyä biohiili- ja rankanippusuodatusmenetelmien vaikutuksiin ja tuottaa niiden toimivuudesta tietoa, jota ei ainakaan toistaiseksi ole liiemmästi saatavilla.

Vesiensuojelu aiheena on varsin laaja kokonaisuus, joten tietoperustan rajaaminen tuntui alkuun haastavalta. Tietoperustan rakenteen ja sisällön suunnittelussa haasteita aiheutti myös tämän opinnäytetyön ja Bergmanin samaa aihetta käsittelevän opinnäytetyön tietoperustaosoiden väistämättömät samankaltaisuudet. Työn toimeksiantajan toiveena oli, että tässä työssä olisi perehdytty syvemmin biohiili- ja rankanippusuodattimien toimintamekanismeihin. Tämä osoittautui kuitenkin odotettua haastavammaksi toimintamekanismien monimutkaisuuden vuoksi. Lisäksi koin, että syvälinen perehtyminen aiheeseen olisi vaatinut fysikaalisiin ja kemiallisiin ilmiöihin liittyvää osaamista, jota minulla ei loppujen lopuksi ollut. Näin ollen päädyin käsittelemään suodattimien toimintamekanismeja oman osaamiseni rajoissa ja ehdottamaan, että mekanismien perusteellisempi tarkastelu voisi olla mahdollisen jatkotutkimuksen aihe.

Maastomittaus- ja vesinäytteenottotulosten tulkintaa ja analysointia vaikeutti se, ettei ojavesien laadulle ole yksiselitteisiä raja-arvoja. Tämä on toki ymmärrettävää, sillä ojavesien laadussa esiintyy todennäköisesti suurta vaihtelua riippuen valuma-alueen ominaisuuksista. Niinpä tämän työn tulosten tulkinta vaati perustavanlaatuisia pohdintaa ja kykyä huomioida useita mahdollisia tekijöitä, jotka saattoivat vaikuttaa saatuihin tuloksiin. Toisaalta tämä haastoi sopivasti ja mahdollisti sen, että pääsin soveltamaan osaamistani laajasti. Perustavanlaatuisesta pohdinnasta huolimatta kaikille tuloksiin liittyville seikoille en kuitenkaan välttämättä onnistunut löytämään mahdollisia selittäviä tekijöitä.

Koen, että on myös hyvä ottaa huomioon tulosten luotettavuus, johon voi vaikuttaa vähäinen kokemukseni koskien maastomittausten ja vesinäytteenoton käytännön toteutusta. Tämän vähäisen kokemuksen myötä on siis täysin mahdollista, etten ole osannut huomioida kaikkia maastomittauksiin ja näytteenottoon vaikuttavia tekijöitä itse mittauksen ja näytteenoton aikana. Tämä työ oli kuitenkin hyvä mahdollisuus kartuttaa kyseistä käytännön kokemusta. Lisäksi koen, että työn aikana vesiensuojeluun liittyvä substanssiosaamiseni karttui huomattavasti.

Lähteet

- Arampatzi, S., Giannoglou, G. & Diza, E. (2.6.2011). *Biofilm formation: A complicated microbiological process*. <https://ejournals.lib.auth.gr/aumi/article/view/4691>
- Aroviita, J., Mitikka, S. & Vienonen, S. (2019). *Pintavesien tilan luokittelu ja arviointiperusteet vesienhoidon kolmannella kaudella*. Suomen ympäristökeskus. <https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Pintavesien%20tilan%20luokittelu%20ja%20arviointiperusteet%20vesienhoidon%20kolmannella%20kaudella.pdf>
- Bergman, M. (2024). *Biohiili- ja rankanippusuodatuksen vaikutus oja- ja purovesien laatuun Renkajärven alueella*. [opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024090724851>
- Bioenergia ry. (11.11.2022). *Biohiili*. <https://www.bioenergia.fi/biohiili/#info>
- Carbons Finland Oy. (n.d.). Biohiili [kuva]. <https://carbons.fi/biohiili/>
- Colls, M., Arroita, M., Larrañaga, A., Pacheco, J., Solagaistua, L. & Elozegi, A. (14.8.2023). *The nutrient uptake bioassay (NUB): A method to estimate the nutrient uptake capacity of biofilms for the functional assessment of river ecosystems*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110776>
- Dai, Y., Wang, W., Lu, L., Yan, L. & Yu, D. (2020). *Utilization of biochar for the removal of nitrogen and phosphorus*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120573>
- Elo, A. (2020). *Biohiili valumavesien suodatuksessa*. <https://www.vanajavesi.fi/2020/wp-content/uploads/2019/03/Biohiili-valumavesien-suodatuksessa-Hamk.pdf>
- Freixa, A., Ortiz-Rivero, J. & Sabater, S. (20.2.2023). *Artificial substrata to assess ecological and ecotoxicological responses in river biofilms: Use and recommendations*. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102089>
- Haakana, H. (2018). *Vesistöopas*. Suomen luonnonsuojeluliitto. https://www.sll.fi/app/uploads/2018/08/vesisto_opas_netti_2018.pdf
- Ilmatieteen laitos. (n.d.). *Havaintojen lataus*. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>
- Joensuu, S., Kauppila, M., Lindén, M. & Tenhola, T. (2019). *Metsänhoidon suositukset vesiensuojeluun, työopas*. <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon-suositukset-vesiensuojeluun-TAPIO-2019.pdf>
- Järviwiki. (27.3.2011). *Renkajärvi*. <https://www.jarviwiki.fi/wiki/Renkaj%C3%A4rvi>
- Kangasluoma, M. & Kainua, K. (18.4.2012). *Turvetuotannon humuskuormitus ja humus vesistöissä*. https://turveinfo.fi/wp-content/uploads/2017/01/Humusesitys_180412.pdf
- Kettunen, I., Mäkelä, A. & Heinonen, P. (2008). *Vesistötietoa näyttöjenottajille*. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/38813>

- Kulmala, A. (15.7.2024). *Maatalouden vesiensuojelu*. Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto. <https://www.mtk.fi/-/maatalouden-vesiensuojelu>
- Kurrer, C. & Petit, A. (2024). *Vesien suojelu ja hoito*. Euroopan parlamentti. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/74/vesien-suojelu-ja-hoito>
- Marjakangas, A. (2011). *Ilmastonmuutos lähiluonnossamme*. Mediapinta.
- MML. (n.d.). *Maastokarttarasteri 1:10 000* [kartta]. https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/tiedostopalvelu/maastokartta_rasteri?lang=fi
- MML. (2024). *Maastokarttarasteri 1:100 000* [kartta]. https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/tiedostopalvelu/maastokartta_rasteri?lang=fi
- Mosquera, V., Gundale, M., Palviainen, M., Laurén, A., Laudon, H. & Hasselquist, E. (8.1.2024). *Biochar as a potential tool to mitigate nutrient exports from managed boreal forest: A laboratory and field experiment*. <https://doi.org/10.1111/gcbb.13131>
- Mäkelä, H., Horppila, P., Hulkko, H., Kaskenpää, M., Kolari, M., Laine, E., Leino, J., Pudas, E. & Siiro, P. (2022). *Vesien tila hyväksi yhdessä. Hämeen vesienhoidon toimenpideohjelma vuosille 2022–2027*. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-398-008-2>
- Oravainen, R. (1999). *Vesistötulosten tulkinta -opasvihkonen*. <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf>
- Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (2016). *Maan vesi ja ravinnetalous*. https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2022/05/web_maanvesijaravinnetalous_B5_2016.pdf
- Paikkatietoikkuna. (n.d.). *Maaperä 1:20 000*. <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>
- Renkajärven suojeluyhdistys ry. (2022). *Renkajärveläiset ja yhteistyökumppanimme*. <https://bin.yhdistysavain.fi/1583364/bVoG2BW3S192FTpu7UJI0Y0Yw8/ReSu%202022.pdf>
- Räike, A. (n.d.). *Suomen vesistöjen tummuminen*. <https://www.yhteinenahtarinjarvi.fi/templates/yhteinenahtarinjarvi/images/Raike.pdf>
- Sabater, S., Guasch, H., Romaní, A. & Muñoz, I. (2002). The effect of biological factors on the efficiency of river biofilms in improving water quality. Teoksessa K. Martens (toim.), *Hydrobiologia* 469 (ss. 149–156). Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1023/A:1015549404082>
- Sarvilinna, A. & Sammalkorpi, I. (2010). *Rehevöityneen järven kunnostus ja hoito*. Suomen ympäristökeskus.
- Suomen metsäkeskus. (n.d.-b). *Metsänkäyttöilmoitukset*. <https://metsakeskus.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=e8c03f73165b44aa8edb276e11ca2d2c>

- Suomen metsäkeskus. (n.d.-a). *Puumateriaalin lisääminen laskeutusaltaisiin. Toimintamalli suometsien hoitoon.* <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/hanke-puumavesi-puumateriaalin-lisaaminen-laskeutusaltaaseen.pdf>
- Suomen Vesiensuojelun Keskusliitto Ry. (n.d.). *Vesistötieto.* <https://vesiensuojelu.fi/vesiensuojelu/vesistotieto/>
- Suomen ympäristökeskus. (n.d.-a). *Ilmastonmuutoksen vaikutus veden laatuun.* Ilmasto-opas. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/ilmastonmuutoksen-vaikutus-veden-laatuun>
- Suomen ympäristökeskus. (n.d.-b). *VALUE – Valuma-alueen rajaustyökalu KM10.* <https://paikkatieto.ymparisto.fi/value?runWorkflow=CatchmentFromId&jarviUomId=2005072524142>
- Suomen ympäristökeskus. (2.12.2019). *Mistä rehevöityminen johtuu?* <https://www.vesi.fi/vesitieto/mista-rehevoityminen-johtuu/>
- Suomen ympäristökeskus. (10.3.2021). Uppopuun pinnalla kasvavan päällyskasvuston koostumus [kuva]. <https://www.syke.fi/hankkeet/puumavesi>
- Suomen ympäristökeskus. (23.5.2022b). *Humuskuormitus ja vesien tummuminen.* <https://www.vesi.fi/vesitieto/humuskuormitus-ja-vesien-tummuminen/>
- Suomen ympäristökeskus. (12.9.2022c). *Pintavesien luokittelun periaatteet.* <https://www.vesi.fi/vesitieto/pintavesien-luokittelun-periaatteet/>
- Suomen ympäristökeskus. (24.10.2022a). *Maatalouden vesiensuojelu.* <https://www.vesi.fi/vesitieto/maatalouden-vesiensuojelu/>
- Suomen ympäristökeskus. (21.2.2024b). *Sisävesien ekologinen tila enimmäkseen hyvä.* <https://www.ymparisto.fi/fi/ympariston-tila/vesi/sisavesien-ekologinen-tila>
- Suomen ympäristökeskus. (19.4.2024a). *Suuri ravinnekuormitus ruokkii rehevöitymistä.* <https://www.ymparisto.fi/fi/ympariston-tila/vesi/rehevoittava-kuormitus>
- Suomen ympäristökeskus. (12.11.2024c). *Vesien- ja merenhoidon suunnitelmat.* <https://www.ymparisto.fi/fi/luonto-vesistot-ja-meri/vedet-ja-vesistot/vesien-ja-merensuojelu/vesien-ja-merenhoidon-suunnitelmat>
- Tattari, S., Puustinen, M., Koskiahho, J., Röman, E. & Riihimäki, J. (2015). *Vesistöjen ravinnekuormituksen lähteet ja vähentämismahdollisuudet.* Suomen ympäristökeskus. <https://core.ac.uk/download/pdf/33739285.pdf>
- Vesi.fi. (n.d.-c). *Kokonaisfosfori.* <https://www.vesi.fi/sanasto/kokonaisfosfori/>
- Vesi.fi. (n.d.-d). *Kokonaistyyppi.* <https://www.vesi.fi/sanasto/kokonaistyyppi/>
- Vesi.fi. (n.d.-e). *Orgaaninen hiili.* <https://www.vesi.fi/sanasto/orgaaninen-hiili/>
- Vesi.fi. (n.d.-b). *Ulkoisen kuormituksen vähentäminen.* <https://vesi.fi/aineistopankki/ulkoisen-kuormituksen-vahentaminen/>
- Vesi.fi. (n.d.-a). *Valuma-alue.* <https://www.vesi.fi/sanasto/valuma-alue/>

- Vuori, K., Leppänen, M., Koljonen, S., Jämsén, J., Vaso, A., Keskinen, E., Hämäläinen, H., Nieminen, M., Huotari, E. & Soimasuo, J. (2021). *Puupohjaisilla uusilla materiaaleilla tehoa metsätalouden vesiensuojeluun ja vesistökuunnostuksiin. PuuMaVesi-hankkeen loppuraportti*. <https://www.syke.fi/download/noname/%7B4D2E4C08-E611-47D7-8444-4C984F32EB57%7D/165953>
- Weber, K. & Quicker, P. (2018). Properties of biochar. Teoksessa B. Nimmo (toim.), *Fuel* (ss. 240–261). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.12.054>
- Westberg, V., Bonde, A., Koivisto, A., Mäkinen, M., Puro, H., Siiro, P. & Teppo, A. (2021). *Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueen vesienhoitosuunnitelma vuosille 2022–2027. Osa 1: Vesienhoitoaluekohtaiset tiedot*. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/184724/Raportteja%2015%202022.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Ympäristöministeriö. (n.d.-a). *Vesien- ja merenhoito Suomessa*. <https://ym.fi/vesien-ja-merenhoito-suomessa>
- Ympäristöministeriö. (n.d.-b). *Vesien- ja merensuojelun lainsäädäntö*. <https://ym.fi/-/vesien-ja-merensuojelun-lainsaadanto-2022->

Liite 1. Aineistonhallintasuunnitelma

OPINNÄYTETYÖN AINEISTONHALLINTASUUNNITELMA

Tämä aineistonhallintasuunnitelma koskee ”Biohiili- ja rankanippusuodatusmenetelmien vaikutukset Renkajärven alueen ojavesien laatuun kesä- ja syysaikaan” -opinnäytetyön tutkimusaineistoa.

1 Tutkimusaineiston tallennus ja säilytys

Opinnäytetyön tutkimusaineistoa ovat tutkimuskohteilla tehtävät mittaukset ja Helsingin yliopiston Lammin biologisen aseman toimesta tehtävät vesinäytteiden analyysitulokset. Lisäksi tutkimusaineisto koostuu tutkimuskohteilla tehtävästä havainnoinnista ja opinnäytetyön tekijän sekä toimeksiantajan ottamista valokuvista.

Tutkimusaineistoa säilytetään opinnäytetyöprosessin aikana opinnäytetyön tekijän oman tietokoneen kovalevyllä sekä pilvipalvelussa, johon pääsee vain opinnäytetyön tekijän henkilökohtaisella käyttäjätunnuksella. Näin ollen aineistoa pääsee käsittelemään ainoastaan opinnäytetyön tekijä. Tutkimusaineistosta luodaan varmuuskopiot säännöllisesti.

2 Henkilötietojen ja arkaluonteisten tietojen käsittely

Opinnäytetyössä ei käsitellä henkilötietoja eikä arkaluonteisia tietoja.

3 Opinnäytetyöaineiston omistajuus

Opinnäytetyöaineiston omistaa opinnäytetyön tekijä ja työn toimeksiantaja.

4 Opinnäytetyöaineiston jatkokäyttö työn valmistumisen jälkeen

Opinnäytetyön tutkimusaineistoa ei jatkokäytetä. Opinnäytetyön valmistumisen jälkeen opinnäytetyön tekijä säilyttää aineistoa tietokoneensa kovalevyllä vuoden ajan työn hyväksymispäivästä alkaen. Tämän jälkeen aineisto hävitetään.