

Biohiilen testaus jätteidenkäsittelyalueen hule- ja suotovesien laadunhallinnassa

HULVATTU-hanke

Osaraportti, TP B

Josefiina Ruponen, Joni Niemi, Maritta Kymäläinen, Outi Tahvonen

Hämeen ammattikorkeakoulu Oy (HAMK)

Hämeenlinna 2023

Sisällys

1. Johdanto	1
1.1. Biohiili hulevesien suodatusratkaisuissa	1
1.2. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet	1
2. Toteutus	2
2.1. Karanojan jätteidenkäsittelyalueen tasausallas	2
2.2. Kenttämittakaavan suodatuskokeet.....	3
2.2.1. Konttisuodattimet	3
2.2.2. Kenttäkokeiden näytteenotto ja analyysit	5
2.3. Laboratoriomittakaavan suodatuskoe	6
3. Tulokset ja niiden tarkastelua	7
3.1. Kenttämittakaavan suodatuskokeet.....	7
3.1.1. Konttisuodattimien elinkaari	7
3.1.2. Vedenlaatu	9
3.1.3. Typpi	10
3.1.4. Fosfori	13
3.1.5. Kemiallinen hapenkulutus (COD) ja kiintoaine.....	16
3.1.6. Metallit	20
3.2. Laboratoriomittakaavan suodatuskoe	20
4. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	23
5. Kirjallisuus	24

1. Johdanto

1.1. Biohiili hulevesien suodatusratkaisuissa

Hulevesien aiheuttamat ongelmat mm. kaupunki-, taajama- ja teollisuusalueilla on herättänyt viime vuosina yhä enemmän keskustelua. Hulevedet voivat sisältää huomattavia määriä rehevöittäviä ravinteita, kiintoainesta, taudinaiheuttajia sekä erilaisia haitta-aineita. Siitä huolimatta monessa paikassa hulevedet ohjataan yhä käsittelemättöminä suoraan vesistöihin. Lisäksi kaupungistumiskehityksen ja ilmastomuutoksen myötä hulevesien aiheuttamat haasteet tulevat entisestään lisääntymään. Biohiili voisi olla yksi potentiaalinen lisä keinovalikoimaan, jolla ratkotaan hulevesihaasteita.

Biohiiltä on paljon testattu yleisesti Suomessa kaupunkien ja taajama-alueiden hulevesien käsittelyratkaisuissa. Sen tarkoituksena on lisätä suodattimen puhdistuskapasiteettia ja sitä kautta ehkäistä tehokkaammin hulevesien sisältämien ravinteiden ja haitta-aineiden kulkeutumista vesistöihin. Biohiiltä käytetään yleisesti kaupunkialueilla myös viheralueiden maanparannusaineena, kun esimerkiksi katujen varsille istutetaan kaupunkipuita. (Bioenergia, 2022)

Hulevesisuodatinten käytössä on esiintynyt monia haasteita, kuten suodatinten tukkeutumista suuren kiintoainekuorman vuoksi tai virtaamakapasiteetin riittämättömyyttä. Lisäksi biohiiltä sisältävien hulevesisuodatinten puhdistustulokset ovat olleet ristiriitaisia. Biohiilien laatuerot saattavat olla yksi syy tulosten vaihtelevuuteen. Biohiilessä ei nimittäin ole kyse yhdestä samasta materiaalista, vaan kunkin biohiilen ominaisuuksiin vaikuttaa käytetty raaka-aine, mahdolliset lisäaineet sekä valmistusprosessin olosuhteet. (Elo, 2020, ss. 10, 14)

Biohiiltä valmistetaan pyrolyysimenetelmällä kuumentamalla biopohjaista materiaalia korkeassa lämpötilassa hapettomissa olosuhteissa. Näin raaka-aineena käytetyn biomassan sisältämästä hiilestä merkittävä osa sitoutuu prosessissa hyvin pysyvään muotoon, mikä hillitsee ilmastomuutosta edistäviä hiilipäästöjä. (Bioenergia, 2022) Biohiili pystyy huokoisuutensa ansiosta pidättämään kokonsa suhteutettuna huomattavia määriä vettä, kiintoainetta, ravinteita sekä muita yhdisteitä, minkä vuoksi sen toimivuutta on paljon testattu hulevesien suodatusratkaisuissa. Vaikka tulokset ovat ristiriitaisia, biohiilellä on ehdottomasti potentiaalia olla osana hulevesiratkaisuja, mutta tutkimusta tarvitaan lisää. (Bioenergia, 2022)

1.2. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Jätteidenkäsittelyalueiden ja erityisesti vanhojen kaatopaikkojen suotovedet edustavat hulevesien likaisinta ääripäätä. Maailmalla ja etenkin Suomessa biohiilen käyttöä kaatopaikkojen suotovesien käsittelyssä on tutkittu vasta vähän. Osana Hämeen ammattikorkeakoulussa (HAMK) toteutettavaa hanketta, nimeltä Huleveden hallinta kaupunkivaluma-alueiden turvallisuuksunittelussa (HULVATTU 2021-2023), tutkittiin biohiilen potentiaalia jätteidenkäsittelyalueen hule- ja suotovesien käsittelyssä (HAMK, 2023). Hanketta rahoittaa Suomen ympäristöministeriö vesiensuojelun tehostamisohjelmasta.

Aiemmassa HAMKin hankkeessa (Biohiilestä bisnestä Hämeeseen, EAKR, 2018–2020) toteutettiin laboratoriotason suodatuskokeita, joissa testattiin kahden erilaisen biohiilen toimivuutta jätteidenkäsittelyalueen suotoveden suodattamisessa. Suotovenenä käytettiin paikallisen Hämeenlinnan Karanojan jätteidenkäsittelyalueen suotoaltaan vettä. Jätevesilietepohjaista ns. lietehiiltä sisältävä hiekkasuodatin osoittautui merkittävästi tehokkaammaksi kuin puupohjaista biohiiltä sisältävä hiekkasuodatin tai pelkkä hiekkasuodatin suotoveden käsittelyssä. Lietehiiltä sisältävällä

hiekkasuodattimella onnistuttiin saavuttamaan jopa n. 70 % kemiallisen hapen kulutuksen (COD) osalta sekä 50 % vähenemä typen osalta. COD kuvaa tässä tapauksessa liuenneen orgaanisen aineksen määrää. Kyseisessä hankkeessa testattiin suotoveden suodatusta myös pilot-mittakaavassa Karanojan jätteidenkäsittelyalueella. Tähän kenttämittakaavan kokeeseen oli käytettävissä vain puupohjaista biohiiltä. Kokeessa oli haasteita suodatinten tukkeutumisen kanssa, sillä suotovesiä keräävää allasta ruopattiin samoihin aikoihin. (Elo ym., 2021, ss. 43–49) Hulvattu-hankkeessa haluttiin lähteä testaamaan, toimisiko jätevesilietteestä ja puuraaka-aineesta valmistettu biohiili kenttäolosuhteissa yhtä tehokkaasti kuin mitä laboratoriotason suodatuskokeet olivat osoittaneet. Suomessa oli ensi kertaa saatavilla isompia eriä kuivatusta mädätetystä jätevesilietteestä ja puuaineksesta valmistettua lietebiohiiltä, kun Helsingin seudun ympäristöpalvelujen (HSY) Ämmäsuon ekoteollisuuskeskukseen valmistui lietebiohiiltä tuottava koetoimintalaitos v.2020.

Tutkimuskohde oli sama kuin edellisessä hankkeessa, eli hankkeen yhteistyökumppanin Kiertokapula Oy:n Hämeenlinnassa sijaitsevan Karanojan jätteidenkäsittelyalueen hule-, prosessi- ja suotovesiä keräävä tasausallas (Kiertokapula, 2021). Tasausaltaan vesimäärissä ja vedenlaadussa on suurta vaihtelua ja se kuvastaa kaupunkisuunnittelun mittakaavassa huleveden heikkolaatuisinta ääripäätä. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, parantaako lietebiohiilisyys perinteisen hiekkasuodattimen puhdistustehoa ja sitä kautta tasausaltaan vedenlaatua. Kokeissa käytetty lietebiohiili oli valmistettu HSY:n Ämmäsuon pyrolyysilaitoksessa, pyrolysoimalla (650 °C) mädätettyä jätevesilietettä ja puumateriaalia, kuiva-ainesuhteella 70/30. Tässä raportoitu Hulvattu-hankkeen kenttätutkimus koostui kahdesta eri kokeesta, joista ensimmäinen toteutettiin syksyllä 2021 ja toinen kesällä 2022. Lisäksi tasausaltaan vedellä toteutettiin laboratoriomittakaavan suodatuskoe syksyllä 2023.

2. Toteutus

2.1. Karanojan jätteidenkäsittelyalueen tasausallas

Tutkimuskohteena toimineeseen Karanojan jätteidenkäsittelyalueen tasausaltaaseen on ohjattu alueella syntyviä suoto-, prosessi- ja hulevesiä viemäriverkostoja pitkin altaan perustamisesta 2002 alkaen kesäkuuhun 2022 asti. Merkittävä osa altaaseen kulkeutuvista vesistä koostui jätetäyttöalueiden suotovesistä. Jätteidenkäsittelyalueelle valmistui toinen tasausallas 22.6.2022, minkä seurauksena aiemmin rakennettuun altaaseen on siitä lähtien ohjattu ainoastaan jätetäyttöalueiden suotovesiä.

Tutkimuskohteena toimineen vanhemman tasausaltaan syvyys on n. 2 m ja käyttötilavuus 1 850 m³ (Kuva 1). Tasausallas on tyhjennetty lietteistä edellisen kerran 2012. Seuraava tyhjennys aiotaan suorittaa keväällä 2023. Tasausaltaasta vedet johdetaan Hämeenlinnan Seudun Veden (HS-Vesi) verkostoa pitkin Hämeenlinnan Paroisten jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi. Vuonna 2021 puhdistamolle toimitettiin 79 692 m³ tasausaltaan jätevettä (Taulukko 1). Keskimäärin altaasta johdetaan vettä puhdistamolle vuositasolla n. 160 m³/vrk.

Alueella tapahtuvaa toimintaa ohjaavat Kiertokapula Oy:n Karanojan 15.12.2017 päivätty ympäristölupapäätös Nro 246/2017/1 (Dnro ESAVI/10840/2014) sekä 18.12.2020 päivätty ympäristölupapäätös Nro 473/2020 (Dnro ESAVI/11420/2019), mihin lukeutuu myös suotovesien määrän ja laadun seuranta (taulukko 1) (Kiertokapula 2021). Koetoiminta vaati viranomaisen luvan ja se toteutettiin koetoimintailmoituksen ja toiminnan muuttamisilmoituksen perusteella saatujen päätösten mukaisesti (päätökset nro 239/2021, dnro ESAVI/18457/2021 ja nro 324/2021, dnro ESAVI/31154/2021).



Kuva 1. Karanojan jätteenkäsittelyalueen vuonna 2002 rakennettu tasausallas. Taustalla näkyy jätetäyttöalueita, joilta kerätään vesiä tasausaltaaseen. Kuva: Josefiina Ruponen, 2022

Taulukko 1. Karanojan jätteidenkäsittelyalueen ympäristötarkkailun tuloksia vuosilta 2019–2021.

Karanojan jätteidenkäsittelyalue	2019	2020	2021
Kerätyn kaatopaikkakaasun määrä (milj. Nm ³)	0,4	2,2	2,3
Kaatopaikkakaasun metaanipitoisuus (%)	54	49	43
Jätevesi puhdistamolle (m ³)	57 235	76 596	79 692
Kiintoaine (mg/l)	40	35	25
Sähkönjohtavuus (mS/m)	383	520	610
pH	7,5	7,6	7,6
Biologinen hapenkulutus (BOD ₇) (mg/l)	13	40	41
Kokonaistyyppi (mg/l)	127	200	230
Ammoniumtyppi (mg/l)	120	118	126
Kokonaisfosfori (mg/l)	0,6	1,3	0,6
Sulfaatti (mg/l)	220	343	548
Kloridi (mg/l)	323	470	698

2.2. Kenttämittakaavan suodatuskokeet

2.2.1. Konttisuodattimet

Syksyllä 2021 toteutetussa kokeessa 1 testattiin kolmen eri suodattimen puhdistustehoa. Suodattimet rakennettiin muovisiin IBC-kontteihin (1 m³). Pohjalle lisättiin 0,2 m³ ratasepeliä (raekoko 60 mm) ja sen päälle 0,2 m³ sepeliä (raekoko 16 mm), minkä päälle täytettiin varsinainen suodatinkerros (0,6 m³).

Alempien kerrosten tarkoituksena oli parantaa suodatinkerroksen läpi kulkeutuvan veden johtavuutta pois suodattimesta. Sepelikerrokset huuhdeltiin vesijohtovedellä hienoaineksen poistamiseksi. Kahdessa suodattimista oli suodatushiekan lisäksi suodatinmateriaalina lietebiohiiltä ja yhdessä pelkkää suodatushiekkää. Suodatushiekan raekoko oli 1–3 mm. Toisessa lietebiohiiltä sisältävistä suodattimista lietebiohiilen osuus suodatinmateriaalikerroksen tilavuudesta oli 30 % (0,18 m³) ja toisessa 70 % (0,42 m³). Suodatushiekkä ja lietebiohiili sekoitettiin ja huuhdottiin ennen suodatinten täyttämistä ylimääräisen kiintoaineen vähentämiseksi. Jatkossa kyseisistä suodattimista käytetään tässä raportissa nimityksiä LBH30 (hiilen osuus 30 %) ja LBH70 (hiilen osuus 70 %) ja KHS (kontrollihiekkasuodatin). Jokainen kerros tasoitettiin huolellisesti suodattimeen lisäämisen jälkeen.

Esiselkeytyskonttina toimi IBC-kontti, johon lisättiin pohjasta avoin muovinen väliseinä. Kontin tarkoitus oli vähentää kiintoaineen pääsyä suodattimiin. Tasausaltaasta suodatettava vesi pumpattiin ensin esiselkeytyskonttiin, josta vesi jakautui kolmeen suodattimeen. Suodattimista poistuva vesi ohjautui hanoista ämpäreihin ja niistä edelleen letkuja pitkin tasausaltaaseen. Osa esiselkeytyskonttiin saapuvasta vedestä virtasi ohjatusti ylivuotona takaisin altaaseen. Pohjalle päätyvää kiintoainesta ohjattiin takaisin tasausaltaaseen suodattimen alareunassa sijaitsevan jatkuvasti avoimena olevan poistoletkun avulla. Suodatinten kautta kulkenut vesi johdettiin takaisin tasausaltaaseen. Raportin liitteessä 1 on esitetty koeasetelman prosessikaavio. Suodattimet sijoitettiin altaan reunalle suojakalvon päälle ylärinteeseen, jotta mahdolliset ylivuoto- tai vuotovedet valuvat takaisin altaaseen (Kuva 2).



Kuva 2. Koeasetelma rakennettiin suojamuovin päälle, jotta mahdolliset ylivuotovedet valuvat takaisin tasausaltaaseen. Kuva: Anu Koponen 2021

Esiselkeytyskonttiin sekä suodattimiin asennettiin pinnankorkeusanturit, joiden ansiosta sammutusautomaatiikka katkaisi vedentulon kaikkiin kontteihin, kun yhdessäkin kontissa vedenpinta nousi sen yläreunassa olevaan anturiin asti (Kuva X). Vedentulo jatkui automaattisesti vasta, kun vedenpinta ei missään konteista yltänyt enää anturiin. Kokeessa 1 syöttöpumppu sammutettiin kokonaan viikonloppujen ja lomien ajaksi. Liitteen 2 kaaviossa on esitetty vihreällä päivät, jolloin pumppu on ollut käytössä. Pumpun

ollessa käytössä vedentulo on kuitenkin saattanut olla aika ajoin katkoksissa suodatinten tukkeutumisen ja ylivuotoja estävän automatiikan vuoksi.

Samantyyppinen tutkimus (koe 2) toteutettiin seuraavan vuoden kesällä 2022. Koejärjestelyihin tehtiin joitakin muutoksia ensimmäisestä kokeesta saatujen kokemusten ja tulosten perusteella. Tällä kertaa syöttöpumppu oli myös viikonloppuisin päällä ja ainoa tauko (5 vrk) ajoittui juhannuksen tienoille. Lisäksi vedenpinnan nousuun liittyvä sammutusautomaatti katkaisi tässä kokeessa syötön vain niihin kontteihin, jossa vedenpinta oli liian korkea. Vedentulo muihin jatkui normaalisti. Kokeessa 1 käytetty LBH30-suodatin otettiin mukaan kesän 2022 kokeeseen. Ideana oli testata jo käytössä olleen ja reilu puoli vuotta levänneen suodattimen toimivuutta. Kokeeseen valittiin vähemmän lietebiohiiltä sisältävä suodatin, sillä alustavien tulosten perusteella LBH70 ei suodattanut merkittävästi tehokkaammin kuin LBH30. Kokeeseen 2 viitattaessa jo kerran käytössä ollutta suodatinta kutsutaan tekstissä nimellä VLBH30. Muut suodattimet rakennettiin alusta asti samalla periaatteella kuin kokeessa 1. Mukana olivat jälleen KHS ja LBH30 käyttämättömistä materiaaleista koottuna. Lisäksi haluttiin vertailla puupohjaista biohiiltä (Carbofex Ltd, 2022) sisältävää suodatinta lietebiohiiltä sisältäviin suodattimiin. Puupohjaisen biohiilen osuus suodatinkerroksesta oli 30 % (lopun hiekkaa). Siitä käytetään tässä raportissa lyhennettä BH30.



Kuva 3. Suodattimiin asennettu pinnankorkeusanturi lietebiohiili-hiekkasuodattimen oikeassa yläreunassa. Kuva: Anu Koponen 2021

2.2.2. Kenttäkokeiden näytteenotto ja analyysit

Molemmissa tasausaltaalla toteutetuissa kokeissa esiselkeytyskonttiin ja suodatettua vettä vastaanottaviin ämpäreihin asennettiin jatkuvatoimiset mittausanturit, jotka siirsivät tulokset reaaliajassa

verkkopalvelimelle. Antureilla mitattiin veden lämpötilaa, pH-arvoa, sähkönjohtokykyä sekä hapetus-pelkistyspotentiaalia (redox). Kokeessa 2 oli lisäksi anturit, jotka mittasivat suodatinkohtaisesti, milloin vedensyöttö oli katkolla. Sähkönjohtokyky, pH ja sameus mitattiin kokeessa 1 myös manuaalisesti kenttämittarilla näytteenoton yhteydessä ja kokeessa 2 puolestaan tuoreista näytteistä laboratoriossa sameutta lukuun ottamatta.

Näytteet otettiin esiselkeytyskontista (tuleva vesi) sekä suodatinten poistoputkista. Kahdeksan viikkoa kestäneen koejakson aikana (8.9.-5.11.2021) otettiin näytteitä pääasiassa 3–4 kertaa viikossa (yhteensä 29 näytteenottokertaa). Kaikkia näytteitä ei analysoitu. Aluksi näytteistä valittiin analysoitavaksi joka näytteenottoviikolta yksi näytesarja. Muut näytteet säilytettiin pakastettuna täydennysanalysointia varten. Ensimmäisen analyysikierron tulosten perusteella tehtiin tarvittaessa muistakin näytteenottokertoista analyysijä. Valituista näytteistä analysoitiin HAMKin laboratoriossa Kjeldahl-menetelmällä kokonaistyyppi (N-tot) ja ammoniumtyppi ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) sekä Hach pikamenetelmillä LCK349, LCK339 ja LCI400 kokonaisfosfori (P-tot), nitraattityppi ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ja kemiallinen hapenkulutus (COD, *engl. chemical oxygen demand*). Näytteet suodatettiin 0,8/0,2 μm huokoskoon ruiskusuodattimella ennen Hach analyysijä. Typpianalyysissä käytettiin suodattamattomia näytteitä. Kokeessa 1 suurin osa sameusmittauksista jäi alle määritysrajan, joten vuoden 2022 näytteistä päädyttiin määrittämään sameuden sijasta kiintoaine (TSS, total suspended solids). Lisäksi yhdestä näytteenottokerrasta teetettiin Eurofins laboratoriossa seuraavat metallianalyysit: arseeni, elohopea, kadmium, kromi, kupari, lyijy, nikkeli, sinkki ja vanadiini. Kiertokapula Oy:n suosituksesta valittiin kyseinen analyysivalikoima metalleja, jotka ovat pidemmän ajan seurannan perusteella mahdollisen ympäristöhaitan kannalta kiinnostavimmat.

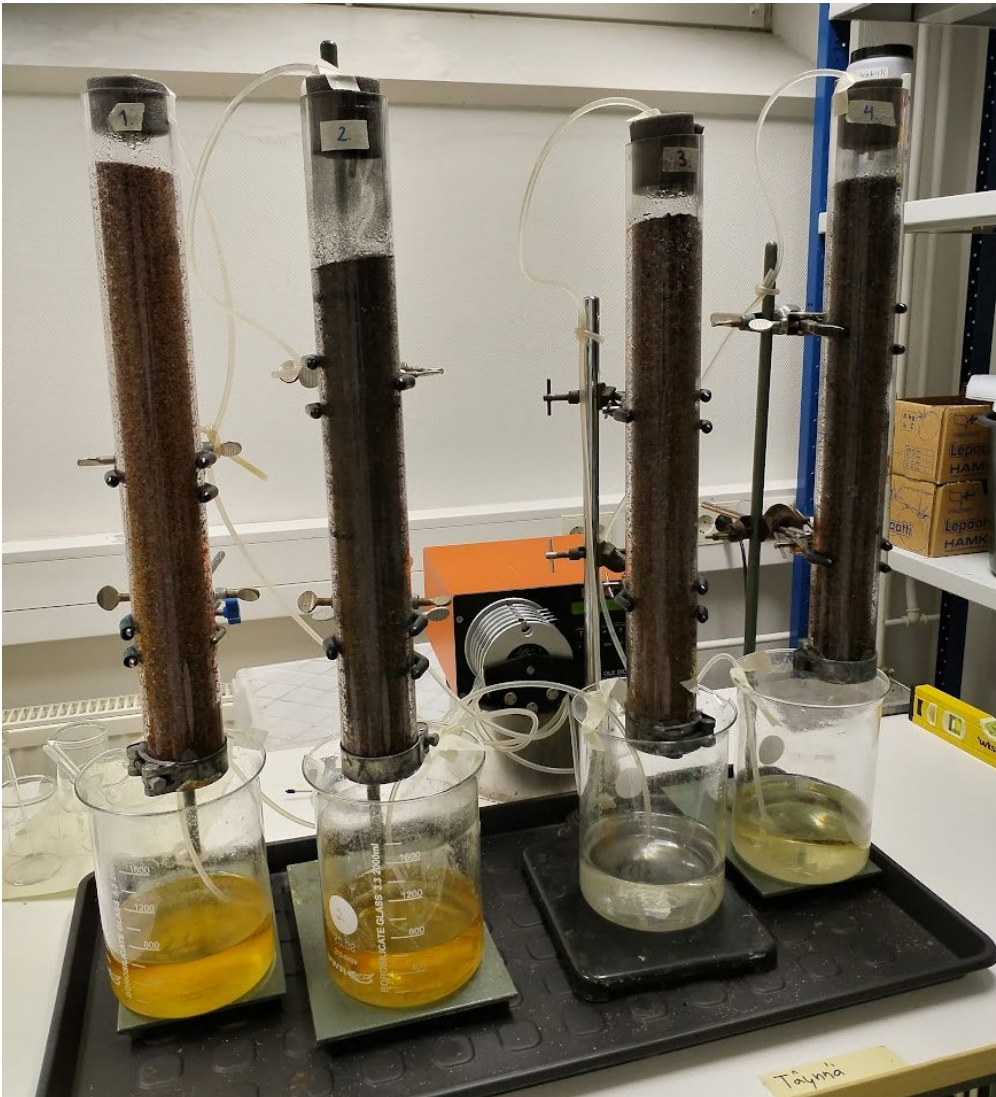
Kokeen 2 näytteenottojaksolla (10.6.-29.7.2022) näytteitä otettiin noin kolmesti viikossa, yhteensä 19 kertaa 8 viikon aikana (1 väliviikko juhannuksen tienoilla). Näytteenottoprosessi oli sama kuin kokeessa 1. Laboratoriossa näytteistä analysoitiin muuten samat parametrit kuin edeltävänä syksynä, mutta kokonaistyyppi ja nitraattityppi päätettiin jättää pois edellisen kesän tulosten perusteella. Kokonaistypestä suurin osa on ammoniumtyypimuodossa ja nitraattipitoisuudet olivat vastaavasti hyvin alhaisia sekä ennen suodatinta että sen jälkeen. Täten katsottiin, että tyyppien jakeista ammoniumtyppi edustaa riittävästi tyyppien vähenemistä. Yhdestä kokeen 2 näytteenottokerran vesinäytteistä ja kokeen jälkeen otetuista suodatinmateriaalinäytteistä teetettiin Eurofins laboratoriossa samat metallianalyysit kuin kokeessa 1. Kaikki laboratorioanalyysit tehtiin molempien vuosien osalta pakastetuista näytteistä.

2.3. Laboratoriomittakaavan suodatuskoe

Kenttämittakaavan kokeiden tulosten perusteella päädyttiin testaamaan suodatinmateriaalien käyttäytymistä toteuttamalla koe tasausaltaan suotovedellä laboratorio-olosuhteissa. Laboratoriossa toteutetuissa suodatuskokeissa testattiin HSY:n valmistamaa lietebiohiiltä, HS-Veden lietemädätteestä valmistettua lietehiiltä sekä Carbofex Oy:n puupohjaista biohiiltä. Kontrollina käytettiin suodatushiekkaa (n. 1–3 mm). Suodattimina toimivat suodatinmateriaaleilla täytetyt polykarbonaattiputket (korkeus 470 mm, halkaisija 50 mm), joiden alaosassa oli muoviverkkoa. Suodatushiekkä ja käytetyt hiilet pestiin ionivaihdetulla vedellä 0,4 μm seulassa ja kuivattiin vuorokauden ajan 55–90 °C uunissa. Näistä sekoitettiin suodatusmassat tilavuussuhteessa 3:7 (biohiili:hiekka). Suljetun kierron systeemissä suodatettava neste ohjattiin 2000 ml dekantterilasista säädettävän letkupumpun avulla suodatinputken yläosaan, josta suodattunut vesi virtasi takaisin dekantterilasiin (Kuva 4). Virtaussuunta oli suodattimissa ylhäältä alas ja nopeus 10 ml/min.

Suotovettä kierrätettiin suodattimissa 14 vuorokauden ajan. Koe toteutettiin pimeässä leväkasvun ehkäisemiseksi. Suodatettavasta vedestä otettiin näyte ennen koetta. Kokeen aikana ensimmäiset näytteet otettiin, kun koko suodatettava vesimäärä oli kerran virrannut suodattimien läpi sekä 1, 3, 6, 9 ja 14 vuorokauden kuluttua kokeen aloittamisesta. Näytteistä mitattiin pH ja sähkönjohtokyky sekä analysoitiin ammoniumtyppi ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), fosfaattifosfori ($\text{PO}_4^-\text{-P}$) ja kemiallinen hapenkulutus (COD) HAMKin

laboratoriossa. Fosfaattifosfori ja COD analysoitiin suodatetuista näytteistä (suodattimen huokoskoko 0,8/0,2 μm). Kaikki mittaukset ja analyysit tehtiin pakastetuista näytteistä.



Kuva 4. Laboratoriossa toteutettujen suodatuskokeiden koeasetelma. Kuva: Josefiina Ruponen 2022

3. Tulokset ja niiden tarkastelua

3.1. Kenttämittakaavan suodatuskokeet

3.1.1. Konttisuodattimien elinkaari

Koe 1 voidaan jakaa suodattimien vedenläpäisykyvyn perusteella kolmeen vaiheeseen, jotka ovat 1) alkuvaihe, 2) keskivaihe ja 3) hidastumisvaihe. Hidastumisvaihe päättyy lopulta suodattimen täydelliseen tukkeutumiseen, mitä ei kuitenkaan saavutettu kokeessa 1. Vaiheiden ominaispiirteet on kuvattu taulukossa 2. Alkuvaiheessa syöttöveden virtausnopeudeksi asetettiin 20 l/min. Suodatinten alkaessa tukkeutua suotoveden sisältämän kiintoainekuorman vuoksi, virtausnopeus laskettiin 11 litraan minuutissa, jolloin siirryttiin keskivaiheeseen. Keskivaiheessa osaan suodattimista muodostui ilmatasku, joka häyttasi

veden virtausta. Tasku puhkaistiin, jolloin veden kulku parani joksikin aikaa. Hidastumisvaihe alkoi, kun kiintoaineesta johtuva tukkeutuminen oli edennyt ja virtaus laskettiin 5 litraan minuutissa. Hidastumisvaiheessa virtausnopeutta yritettiin nostaa 11 litraan minuutissa, mutta tukkeutumisen vuoksi virtausnopeus palautettiin kolmen vuorokauden syötön jälkeen aiemmalle tasolle. Kokeen tarkoituksena oli tukkia suodattimet, jotta nähdään, miten suodattimet käyttäytyvät myös elinkaarensa loppuvaiheessa.

Taulukko 2. Kokeen 1 eri vaiheet ja niiden ominaispiirteet.

	Alkuvaihe	Keskivaihe	Hidastumisvaihe
<i>Virtausnopeus (L/min)</i>	20	11	5-11
<i>Kesto (vrk)</i>	8	13	12
<i>Virtaama (m³)</i>	124	171	110
<i>Vuorokausivirtaama ka. (m³)</i>	15,5	13,2	9,2
<i>Kumulatiivinen virtaama (kokeen alusta, m³)</i>	124	295	405
<i>Kuvaus</i>	Vesi virtaa hyvin suodatinten läpi	Syöttöpumpun virtausnopeutta hidastettu alkavan tukkeutumisen vuoksi	Tukkeutuminen edennyt, virtausta hidastettu nopeuteen 5 L/min, nostettu takaisin nopeuteen 11 L/min ja hidastettu taas 5 litraan minuutissa

Myös koe 2 jaettiin suodattimien läpäisykyvyn perusteella kolmeen vaiheeseen, jotka ovat 1) alkuvaihe, 2) keskivaihe ja 3) hidastumisvaihe. Vaiheiden ominaispiirteet on kuvattu taulukossa 3. Alkuvaihe kesti 5 vuorokautta (syöttöveden virtausnopeus 9 l/min), minkä jälkeen siirryttiin keskivaiheeseen, kun virtausta piti laskea alkavan tukkeutumisen vuoksi nopeuteen 3 l/min. Keskivaiheen kesto oli vain 3 vrk, sillä suodatinten tukkeutuminen eteni nopeasti ja virtausta pienennettiin nopeuteen noin 1 l/m. Hidastumisvaihe oli puolestaan pitkä ja kesti 33 vrk. Alhaisen virtausnopeuden vuoksi virtaamamittari ei enää hidastumisvaiheessa pystynyt rekisteröimään virtaamamääriä, vaan virtaamat arvioitiin mittaamalla virtausnopeus suodattimista poistuvasta vedestä. Taulukon arvo muodostuu eri suodatinten virtausnopeuksien keskiarvoista sekä näiden keskiarvosta, josta on vähennetty 15 %. Vähennys perustuu jatkuvan mittauksen tuloksiin, joiden mukaan suodattimiin BH30 ja VLBH30 menevä vesi oli katkaistuna keskimäärin 15 % ajasta. Kahden muun suodattimen vedensyöttöä rekisteröivät anturit eivät olleet toimineet kunnolla kokeen aikana.

Kokeeseen 1 verrattuna kokeen 2 virtausnopeudet sekä virtaamat jäivät huomattavasti pienemmiksi (Taulukot 2 ja 3). Kesäaikaan toteutetun kokeen ongelmana oli runsas leväkasvu, niin tasausaltaassa, esiselkeytyskontissa kuin suodattimissakin. Suodatinten pinnalle muodostui useaan otteeseen kova kalvo levän ja muun kiintoaineen sekoituksesta, joka läpäisi heikosti vettä. Kalvot puhkaistiin aika ajoin. Levästä johtuva runsaampi kiintoaineen määrä tukki suodattimet myös sisältä nopeammin verrattuna syksyllä

toteutettuun kokeeseen 1, jolloin levää esiintyi huomattavasti vähemmän. Kokeen lopussa suodattimet BH30 sekä VLBH30 olivat täysin tukossa, eikä niistä saanut enää näytettä poistuvasta vedestä.

Taulukko 3. Kokeen 2 eri vaiheet ja niiden ominaispiirteet.

	Alkuvaihe	Keskivaihe	Hidastumisvaihe
<i>Virtausnopeus (L/min)</i>	9	3	1
<i>Kesto (vrk)</i>	5	9	33
<i>Virtaama ka. (m³)</i>	27	20	26*
<i>Vuorokausivirtaama ka. (m³)</i>	7	2	0,8*
<i>Kumulatiivinen virtaama (kokeen alusta, m³)</i>	27	47	73*
<i>Kuvaus</i>	Vesi virtaa hyvin suodatinten läpi	Syöttöpumpun virtausnopeutta hidastettu alkavan tukkeutumisen vuoksi	Tukkeutuminen edennyt, virtausta hidastettu entisestään

*Arvio

3.1.2. Vedenlaatu

Taulukossa 4 on esitetty tasausaltaasta pumpatun suotoveden (syöttövesi) sekä suodatettujen vesien laatutekijöiden pitoisuusvaihtelut kokeiden 1 ja 2 aikana. Suluissa on mitattujen tulosten määrä kunkin laatutekijän osalta. Jatkuvatoimisten anturien mittaustulokset noudattelivat näytteenottojen yhteydessä saatuja tuloksia, eikä niissä esiintynyt mitään poikkeavaa. Osa antureista ei toiminut kunnolla kokeen aikana, mikä on ymmärrettävää ottaen huomioon suotoveden väkevyyden. Esimerkiksi vedensyötön sammutusautomaatiikan toimintaa rekisteröivät anturit olivat epäkunnossa suodattimissa LBH30 ja KHS. Itse sammutusautomaatiikka toimi, mutta ei saatu tietoa, koska vesi on ollut katkolla. Kokeen 1 sameustuloksia on vähemmän kuin muita tuloksia, koska useat tulokset jäivät alle käytetyn mittalaitteen määrittämissä rajat. Tämän vuoksi kokeessa 2 päätettiin analysoida sameuden sijasta kiintoaine (TSS). Tasausaltaan vedessä oli molemmissa kokeissa korkeat ammoniumtyyppipitoisuudet (120-294 mg/l), mikä on tyypillistä vanhojen kaatopaikkatäyttöjen suotovesille. Suurin osa kokonaistypestä on yleensä ammoniumtyyppimuodossa, kuten tässäkin tapauksessa. Vastaavasti nitraattityypin pitoisuudet olivat tasausaltaan vedessä hyvin matalia (1,7-2,6 mg/l). Sen vuoksi nitraattityyppiä ei analysoitu enää kokeessa 2. Luonnonvesissä ammoniumtyyppiä on yleensä alle 0,010-0,030 mg/l. Myös suotoveden kokonaisfosforipitoisuudet (0,2-1,6 mg/l) olivat moninkertaisia verrattuna luonnonvesiin. Vesistöt, joissa on fosforia 0,05-0,1 mg/l, luokitellaan esimerkiksi erittäin reheviksi. (Oravainen 1999, s. 17, 21) COD-pitoisuus vaihteli selvästi molempien kokeiden aikana.

Tasausaltaan vesi on hyvin väkevää, joten sitä ei voi johtaa suoraan vesistöön, vaan se pitää ohjata HS-Veden jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi. Kiertokapula Oy ja HS-Vesi ovat määrittäneet keskinäisessä sopimuksessaan raja-arvot eri vedenlaatutekijöiden osalta, joita tasausaltaasta pumpattava vesi ei saa ylittää. Taulukossa 4 esitetyt syöttöveden analyysitulosten keskiarvot olivat molemmissa kokeissa pääosin

yhteneväisiä Kiertokapula Oy:n raportoiman tarkkailun kanssa. Ammoniumtyppi- ja kiintoainetulokset olivat tässä tutkimuksessa keskimäärin jonkin verran korkeampia. Tämä saattaa selittyä sillä, että tasausaltaan vedenlaadussa on paljon vaihtelua. Lisäksi tässä tutkimuksessa tehtiin intensiivistä näytteenottoa lyhyellä ajanjaksolla tiettyinä vuodenaikana. Yrityksen tekemä ja raportoima ympäristötarkkailu puolestaan ajoittuu laajemmalle ajanjaksolle, ja näytteitä otetaan harvemmin.

Taulukko 4. Syöttöveden ja suodatettujen vesien vedenlaatutekijöiden pitoisuusvaihtelut kokeissa 1 ja 2. Suodatinkäsittelyjen selitteet: LBH70 = lietebiohiili:hiekka 7:3, LBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7, VLBH30 = ”vanha” lietebiohiili:hiekka 3:7 (ollut jo mukana kokeessa 1), BH30 = biohiili:hiekka 3:7, KHS = kontrollihiekkasuodatin. Suluissa analysoitujen näytteiden lukumäärä.

KOE 1	pH	Sähkön- johtokyky mS/cm	Sameus FAU	N-tot mg/L	NH ₄ ⁺ -N mg/L	NO ₃ ⁻ -N mg/L	P-tot mg/L	COD mg/L
Syöttö vesi	6,91- 8,59 (15)	1,75-5,95 (15)	41-128 (7)	127-265 (10)	120-294 (17)	1,7-2,6 (14)	0,206-1,295 (16)	1,4-515,0 (14)
LBH70	7,07- 8,62 (15)	1,76-5,95 (15)	41-95 (2)	127-265 (10)	110-307 (17)	1,5-4,2 (14)	0,214-0,953 (16)	2,4-510 (14)
LBH30	7,17- 8,74 (16)	1,58-5,91 (15)	102 (1)	129-257 (10)	110-307 (17)	1,6-2,9 (14)	0,219-1,032 (16)	3,4-513 (14)
KHS	6,74- 8,63 (15)	1,62-5,85 (15)	104 (1)	128-267 (10)	111-305 (17)	0,5-2,9 (14)	0,211-1,135 (16)	4,4-508 (14)

KOE 2	pH	Sähkön- johtokyky mS/cm	Kiintoaine mg/l	NH ₄ ⁺ -N mg/L	P-tot mg/L	COD mg/L
Syöttö vesi	7,19-7,95 (19)	4,40-5,58 (19)	0,16-373 (15)	171-294 (19)	0,703-1,628 (19)	315-505 (19)
VLBH30	7,26-8,14 (18)	3,44-5,67 (18)	0,17-381 (14)	185-285 (18)	0,317-1,490 (18)	340-475 (18)
LBH30	7,31-8,22 (19)	4,36-5,43 (19)	0,20-323 (15)	149-279 (19)	0,469-1,700 (19)	324-501 (19)
BH30	7,34-8,30 (18)	4,34-5,60 (18)	61-345 (14)	150-277 (18)	0,495-1,708 (18)	335-479 (18)
KHS	7,29-8,28 (19)	4,49-5,60 (19)	34-284 (15)	156-283 (19)	0,490-2,140 (19)	340-486 (14)

3.1.3. Typpi

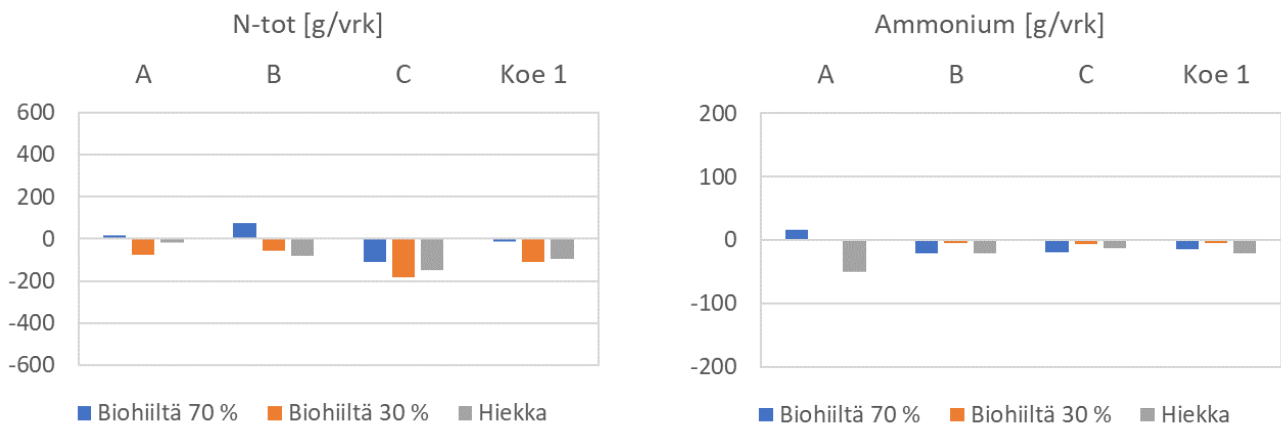
Kokeen 1 tulosten perusteella kokonaistyyppiä ja ammoniumtyppiä ajoittain pidättyi ja ajoittain vapautui. Kokeen 2 ammoniumtulokset olivat samansuuntaisia. Pidättyneet ja vapautuneet määrät olivat kuitenkin pääasiassa suhteellisen pieniä verrattuna kuormitusmääriin. Poikkeuksena oli kokeen 1 viimeinen näytteenottokerta, jonka tulosten perusteella tyyppiä/ammoniumtyppiä oli n. 20-30 % enemmän suodattimista poistuvissa vesissä. Syynä saattaa olla esimerkiksi syöttöveden nopeahko typpipitoisuuden muutos, mikä on mahdollista. Suodattimen alaosassa on voinut olla typpipitoisempaa vettä, ja

näytteenottohetkellä mitattu tuleva syöttövesi on voinut ollut aiempaa laimeampaa. Tämä on mahdollista, sillä suodattimen vedenvaihtumiseen kuluu tietty aika. Eri käsittelyjen ja vaiheiden välillä ei ollut juurikaan merkittävää eroa paitsi kokeessa 2 heinäkuussa. Silloin lähes parin viikon ajan LBH30-suodatin vaikutti toimivan muita paremmin. Ennen tuota ajanjaksoa suodatin oli ollut tukossa ja vedensyöttö kyseiseen suodattimeen katkolla 9 vrk, minkä seurauksena typen biologiselle poistolle on voinut muodostua otollisemmat olosuhteet. Lisäksi levät ovat mahdollisesti runsastuneet ja sitoneet ammoniumia. Laskuissa on käytetty kokeiden 1 ja 2 ja niiden eri vaiheiden keskimääräisiä vuorokausivirtaamia. (Taulukot 5 ja 6, Kuvat 5 ja 6)

Typen poistaminen vesistä onnistuu parhaiten mikrobiologisten prosessien avulla, mutta sopivan mikrobiston kehittyminen vaatii aikaa ja tietynlaiset olosuhteet, mitä tässä kokeessa ei ollut mahdollista optimoida. Biologista typenpoistoa ei ole yksinkertaista toteuttaa, sillä esimerkiksi tuoreessa Suomessa toteutetussa tutkimuksessa Ristiinan vanhan kaatopaikan suotovesistä ei onnistuttu poistamaan juurikaan ammoniumia, vaikka prosessi pyrittiin rakentamaan typenpoiston mikrobiologisille prosesseille suotuisaksi (Mykkänen ym. 2021, ss. 112–113).

Taulukko 5. Kokonaistypen (N-TOT) ja ammoniumtypen (NH₄-N) määrälliset (g/vrk) ja prosentuaaliset vähenemät eri suodatinkäsittelyissä (LBH70 = lietebiohiili:hiekka 7:3, LBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7, KHS = kontrollihiekkasuodatin).

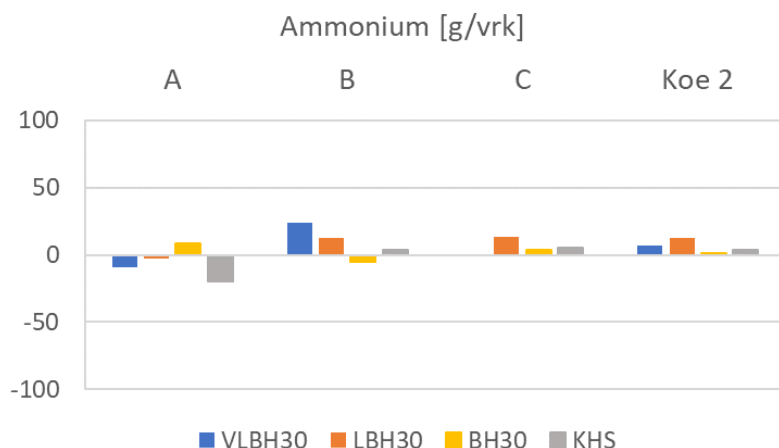
		N-TOT						NH ₄ -N					
		LBH70		LBH30		KHS		LBH70		LBH30		KHS	
		g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%
Alkuvaihe	13.9.2021	-31	-1 %	-126	-5 %	-174	-7 %	25	1 %	0	0 %	-99	-3 %
	17.9.2021	60	2 %	-27	-1 %	137	4 %	8	0,2 %	0	0 %	0	0 %
	Keskiarvo	15	0,5 %	-76	-3 %	-19	-1 %	17	1 %	0	0 %	-50	-2 %
Keskivaihe	29.9.2021	308	10 %	308	-4 %	-117	-3 %	-321	-9 %	-7	-0,2 %	-65	-2 %
	1.10.2021	-286	-10 %	-435	-15 %	-226	-8 %	-167	-4 %	-174	-4 %	-141	-4 %
	4.10.2021	2	0,1 %	108	3 %	-22	-1 %	53	2 %	7	0,2 %	-13	-0,4 %
	8.10.2021	273	10 %	222	8 %	7	0,2 %	79	3 %	0	0 %	40	1 %
	12.10.2021							36	1 %	17	1 %	15	1 %
	14.10.2021							199	7 %	20	1 %	9	0,3 %
	15.10.2021							-21	-1 %	108	4 %	6	0,2 %
	Keskiarvo	74	4 %	-55	-3 %	-81	-5 %	-20	-0,6 %	-4	-0,1 %	-21	-0,5 %
Hidastumisvaihe	20.10.2021	-93	-6 %	-183	-11 %	-176	-11 %	8	1 %	-75	5 %	20	1 %
	22.10.2021	0	0,04 %	-19	-2 %	-14	-1 %	90	8 %	87	8 %	82	7 %
	26.10.2021							-86	-5 %	-89	-6 %	-103	-7 %
	28.10.2021							15	1 %	80	6 %	42	3 %
	29.10.2021							166	9 %	329	18 %	357	19 %
	2.11.2021	-93	-5 %	-143	-7 %	19	1 %	4	0,2 %	37	2 %	-9	-1 %
	5.11.2021	-243	-17 %	-390	-27 %	-428	-30 %	-330	-28 %	-415	-36 %	-474	-41 %
	Keskiarvo	-108	-13 %	-184	-22 %	-150	-18 %	-19	-1 %	-6	-0,4 %	-12	-1 %
Koe 1	Keskiarvo	-10	-1 %	-111	-7 %	-96	-6 %	-15	-1 %	-5	-0,2 %	-21	-1 %



Kuva 5. Kokonaistypen (N-tot) ja ammoniumtypen vähenemät (g/vrk) kokeen 1 eri suodatinkäsittelyissä kuvattuna eri kokeen 1 vaiheissa (A = alkuvaihe, B = keskivaihe, C = hidastumisvaihe) sekä koko kokeen 1 aikana.

Taulukko 6. Ammoniumtypen (NH₄-N) määrälliset (g/vrk) ja prosentuaaliset vähenemät eri suodatinkäsittelyissä (VLBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7 (ollut kokeessa 1), LBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7, BH30 = biohiili:hiekka 3:7, KHS = kontrollihiekkasuodatin).

		NH ₄ -N							
		VLBH30		LBH30		BH30		KHS	
		g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%
AV	10.6.22	-9	-1 %	-3	-0,2 %	9	1 %	-20	-2 %
Keskivaihe	13.6.22	29	6 %	8	2 %	-4	-1 %	9	2 %
	15.6.22	3	1 %	5	1 %	-19	-4 %	15	3 %
	17.6.22	96	19 %	27	5 %	5	1 %	-12	-2 %
	20.6.22	-3	-1 %	7	2 %	-2	-0,4 %	4	1 %
	22.6.22	-7	-2 %	15	4 %	-7	-2 %		
	Keskim.	24	5 %	12	3 %	-6	-1 %	4	1 %
Hidastumisvaihe	29.6.22	7	6 %	7	6 %	-1	-1 %	9	8 %
	1.7.22	-3	-3 %	-2	-1 %	-2	-1 %	-2	-2 %
	4.7.22	-7	-6 %	-6	-5 %	-4	-3 %	-2	-2 %
	6.7.22	-3	-3 %	-0,5	-0,4 %	7	6 %	-2	-2 %
	8.7.22	-1	-1 %	28	25 %	-20	-18 %	15	14 %
	11.7.22	6	5 %	44	32 %	14	10 %	24	18 %
	13.7.22	4	3 %	28	24 %	10	9 %	2	2 %
	15.7.22	8	7 %	20	18 %	12	11 %	5	5 %
	18.7.22	4	4 %	11	12 %	1	2 %	-1	-1 %
	20.7.22	-0,5	-0,4 %	33	27 %	14	12 %	12	10 %
	25.7.22	-7	-9 %	10	13 %	10	12 %	7	9 %
	27.7.22			2	2 %	3	2 %	2	2 %
	29.7.22	5	4 %	3	3 %			4	4 %
	Keskim.	1	1 %	14	12 %	4	3 %	6	5 %
Koe 2	Keskim.	7	3 %	12	5 %	1	1 %	4	1 %



Kuva 6. Ammoniumtyypen vähenemät (g/vrk) kokeen 2 eri suodatinkäsittelyissä kuvattuna eri kokeen 1 vaiheissa (A = alkuvaihe, B = keskivaihe, C = hidastumisvaihe) sekä koko kokeen 2 aikana. Alkuvaiheesta ei ole lainkaan kiintotuloksia.

3.1.4. Fosfori

Kokeessa 1 veden kokonaisfosforin vähenemät olivat käsittelystä riippuen keskimäärin 15-18 %. Vaikuttaa siltä, että lietebiohiiltä sisältävät suodattimet onnistuivat poistamaan hieman tehokkaammin fosforia kuin pelkkää hiekkaa sisältävä suodatin. Lietebiohiilen määrällä ei ollut juurikaan merkitystä fosforinpoiston kannalta. Alkuvaiheessa lietebiohiili-hiekkasuodattimet poistivat fosforia selvästi tehokkaammin kuin kontrollihiekkasuodatin. Keskivaiheessa käsittelyiden väliset erot fosforin poistotehokkuudessa tasaantuivat ja hidastumisvaiheessa kontrollihiekkasuodatin poisti puolestaan fosforia lietebiohiili-hiekkasuodattimia paremmin. Hidastumisvaiheessa kolmessa seitsemästä näytteenottokerrasta lietebiohiili-hiekkasuodattimista poistuvassa vedessä oli selkeästi enemmän fosforia kuin niihin tulevassa vedessä. (Taulukko 7, Kuva 7) Kontrollihiekkasuodatin sen sijaan toimi kahdella näistä kerroista normaalisti. Viimeisellä näytteenottokerralla kaikki suodattimet poistivat yli puolet niihin menevästä fosforista, vaikka kuormitus oli keskitasoa. (Taulukko 7)

Lietebiohiili sisältää runsaasti fosforia, mutta HAMKissa hiljattain toteutetussa tutkimuksessa todettiin, että liukoisuus veteen oli erittäin pientä. Sen sijaan lietebiohiilen fosforista noin viidesosa liukeni muurahaishappoon ja jopa 70 % ammoniumsitraattiin. Tuloksia ei ole vielä julkaistu. Näyttää siltä, että suotovesikokeessa fosforin liukeneminen lietebiohiilestä on ollut mahdollista johtuen tietyistä olosuhteista. Suotoveden kemiallinen koostumus on saattanut aikaansaada fosforin liukenemista tai suodattimissa on voinut syntyä hidastumisvaiheessa ajoittain hapettomat olosuhteet, mikä edistää rautaan sitoutuneen fosforin vapautumista. Fosfori on lietebiohiilessä sitoutunut rautaan, sillä HSY:n jätevedenpuhdistusprosessissa käytetään fosforin saostamiseen rautasuolaa eli ferrosulfaattia. Fosforin liukenemisen syytä olisi hyvä selvittää lisää.

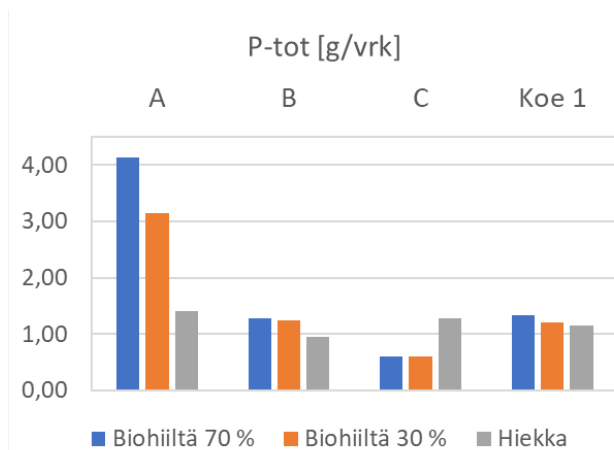
Kokeessa 2 fosforin poistotehokkuus vedestä oli keskimäärin 4-6 % eri käsittelyissä, mikä on vähemmän kuin kokeessa 1. Kokeesta 1 poiketen kokeen 2 alku- ja keskivaiheessa suodatinten fosforinpoistotehokkuus on ollut selvästi heikompa verrattuna kokeen 1 vastaaviin vaiheisiin. (Taulukot 7 ja 8, Kuvat 7 ja 8) Kahdella näytteenottokerralla keskivaiheen aikana fosforia oli enemmän lähes kaikissa suodattimista poistuvissa vesissä kuin syöttövedessä. Tämä saattaa johtua leväsolujen hajoamisesta suodattimessa ja fosforin vapautumisesta. Sen sijaan kokeen 2 hidastumisvaiheessa fosforin prosentuaalinen väheneminen on ollut samaa tasoa kuin kokeen 1 hidastumisvaiheessa. (Taulukot 7 ja 8) Syynä ovat luultavasti hidas

virtausnopeus (1 l/min) sekä suodattimiin mahdollisesti vakiintunut leväkasvu. Kokonaisfosfori analysoitiin suodatetuista näytteistä, joten se on käytännössä lähes kokonaan liukoista fosfaattifosforia, mikä on leville käyttökelpoinen muoto. Runsaan levämassan on osoitettu poistavan erittäin tehokkaasti fosfaattia hypereutrofisessa altaassa (Ruponen 2018).

Kokeessa 2 kaikki kolme lietebiohiiltä ja biohiiltä sisältävistä suodattimista poistivat fosforia keskimäärin tehokkaammin kuin kontrollihiekkasuodatin. LBH30 oli hiilisuoattimista tehokkain. Sama suodatin oli myös pisimmän aikaa tukossa. Vaikuttaa myös siltä, että suodattimiin muodostunut levä- ja muu biomi on voinut kompensoida mahdollista fosforin vapautumista lietehiilisuodattimista. Kesä on todennäköisesti mahdollistanut hyvät olosuhteet mikrobiomin kehittymiselle. Erityisesti hidastumisvaiheen puolen välin jälkeen kokeen 2 loppupuolella fosforin poistuminen on ollut tehokkainta kaikissa suodattimissa. Muutama poikkeusta lukuun ottamatta hiiltä sisältävien suodatinten fosforinpoistotehokkuus oli kokeessa 1 ja kokeen 2 hidastumisvaiheessa suhteellisen hyvä, kun otetaan huomioon suodatinten vastaanottama fosforikuorma. Käsittelemättömän suotoveden keskimääräinen fosforipitoisuus oli kokeiden aikana 0,9 mg/l, mikä on korkea pitoisuus luonnonvesiin verrattuna. Jätevedenpuhdistamoa se ei kuitenkaan kuormita merkittävästi fosforin osalta, sillä käsittelemättömän yhdyskuntajäteveden keskimääräinen fosforipitoisuus on noin 8 mg/l (Säylä 2015, 17).

Taulukko 7. Kokonaisfosforin (P-TOT) määrälliset (g/vrk) ja prosentuaaliset vähenemät kokeen 1 suodatinkäsittelyissä (LBH70 = lietebiohiili:hiekka 7:3, LBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7, KHS = kontrollihiekkasuodatin).

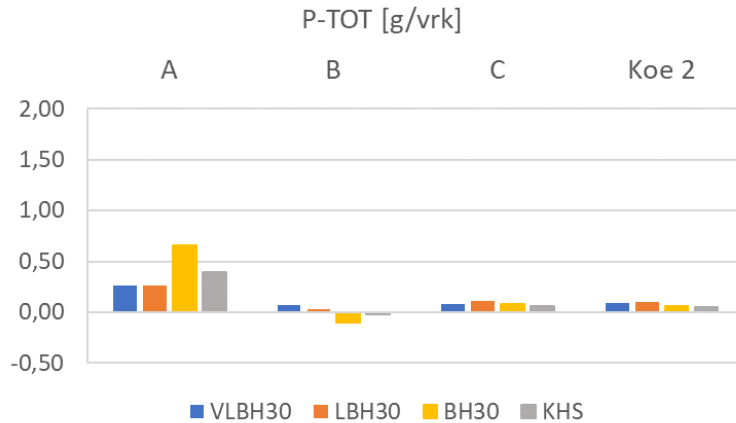
		P-TOT					
		LBH70		LBH30		KHS	
		g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%
Alkuvaihe	13.9.2021	5,3	26 %	0,04	20 %	2,5	12 %
	17.9.2021	2,9	18 %	2,2	14 %	0,3	2 %
	Keskiarvo	4,1	23 %	3,2	17 %	1,4	8 %
Keskivaihe	29.9.2021	0,6	7 %	0,4	5 %	1,0	11 %
	1.10.2021	1,6	19 %	0,7	8 %	1,0	11 %
	4.10.2021	3,8	31 %	3,7	30 %	3,1	25 %
	8.10.2021	0,2	3 %	0,4	6 %	0,4	5 %
	12.10.2021	0,3	4 %	0,4	5 %	0,1	1 %
	14.10.2021	1,4	20 %	1,8	25 %	0,8	11 %
	15.10.2021	1,1	14 %	1,4	18 %	0,4	5 %
	Keskiarvo	1,3	15 %	1,2	15 %	1,0	11 %
Hidastumisvaihe	20.10.2021	2,6	42 %	2,7	44 %	2,7	44 %
	22.10.2021	0,1	6 %	0,1	6 %	0,1	2 %
	26.10.2021	-0,2	-10 %	-0,2	-9 %	-0,1	-3 %
	28.10.2021	0,2	9 %	0,1	5 %	0,1	4 %
	29.10.2021	-0,3	-15 %	-0,4	-18 %	0,1	7 %
	2.11.2021	-2,2	-37 %	-2,0	-33 %	1,9	31 %
	5.11.2021	4,1	58 %	3,9	55 %	4,2	60 %
	Keskiarvo	0,6	15 %	0,6	15 %	1,3	33 %
Koe 1	Keskiarvo	1,3	18 %	1,2	16 %	1,2	15 %



Kuva 7. Kokonaisfosfori (P-tot) vähenemät (g/vrk) kokeen 1 eri suodatinkäsittelyissä kuvattuna eri kokeen 1 vaiheissa (A = alkuvaihe, B = keskivaihe, C = hidastumisvaihe) sekä koko kokeen 1 aikana. Alkuvaiheesta ei ole COD tuloksia.

Taulukko 8. Kokonaisfosforin (P-TOT) määrälliset (g/vrk) ja prosentuaaliset vähenemät kokeen 2 suodatinkäsittelyissä (VLBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7 (ollut jo mukana kokeessa 1), LBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7, BH30 = biohiili:hiekka 3:7, KHS = kontrollihiekkasuodatin)

		P-TOT							
		VLBH30		LBH30		BH30		KHS	
		g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%
AV	10.6.22	0,26	3 %	0,26	3 %	0,66	8 %	0,39	5 %
Keskivaihe	13.6.22	0,14	5 %	0,14	5 %	0,16	6 %	0,16	6 %
	15.6.22	0,00	0 %	0,18	6 %	0,00	0 %	0,01	0,3 %
	17.6.22	0,02	1 %	-0,57	-20 %	-0,59	-20 %	-0,47	-16 %
	20.6.22	0,18	7 %	0,28	11 %	0,02	1 %	0,37	15 %
	22.6.22	-0,01	-0,4 %	0,10	5 %	-0,12	-6 %	-0,16	-8 %
	Keskim.	0,07	3 %	0,03	1 %	-0,10	-4 %	-0,02	-1 %
Hidastumisvaihe	29.6.22	0,10	14 %	0,11	16 %	0,07	10 %	0,06	9 %
	1.7.22	0,09	14 %	0,09	15 %	0,09	15 %	0,19	30 %
	4.7.22	-0,02	-3 %	0,01	1 %	0,03	4 %	-0,34	-51 %
	6.7.22	0,30	39 %	0,12	15 %	0,31	41 %	0,08	11 %
	8.7.22	-0,005	-1 %	-0,04	-6 %	-0,07	-11 %	0,14	22 %
	11.7.22	-0,13	-23 %	0,18	33 %	-0,06	-10 %	-0,07	-13 %
	13.7.22	0,15	28 %	0,18	32 %	0,14	25 %	0,09	16 %
	15.7.22	0,05	11 %	0,21	47 %	0,10	22 %	0,11	23 %
	18.7.22	0,14	30 %	0,12	27 %	0,13	28 %	0,10	21 %
	20.7.22	0,09	18 %	0,15	29 %	0,14	28 %	0,18	35 %
	25.7.22	0,18	55 %	0,11	33 %	0,10	30 %	0,10	30 %
	27.7.22			0,08	22 %	0,03	7 %	0,04	10 %
	29.7.22	0,05	11 %	0,11	24 %			0,06	13 %
	Keskim.	0,08	15 %	0,11	20 %	0,08	16 %	0,06	10 %
Koe 2	Keskim.	0,09	6 %	0,10	6 %	0,06	4 %	0,05	4 %



Kuva 8. Kokonaisfosforin (P-TOT) vähenemät (g/vrk) kokeen 2 eri suodatinkäsittelyissä kuvattuna eri kokeen 1 vaiheissa (A = alkuvaihe, B = keskivaihe, C = hidastumisvaihe) sekä koko kokeen 2 aikana.

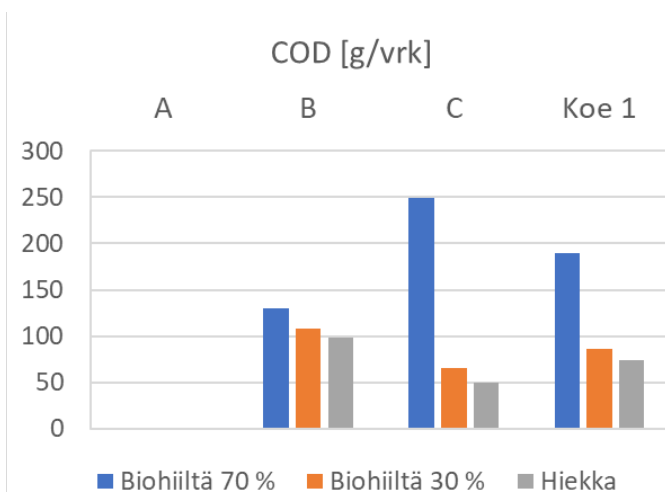
3.1.5. Kemiallinen hapenkulutus (COD) ja kiintoaine

Liuenneen orgaanisen aineksen määrää kuvaavan COD:n vähenemät olivat kokeessa 1 ja 2 hieman suurempia lietebiohiili-hiekkasuodattimissa verrattuna kontrollihiekkasuodattimeen. Vähemmän biohiiltä sisältävän suodattimen keskimääräinen ero kontrollihiekkasuodattimeen oli pienehkö. Kokeen 1 hidastumisvaiheessa biohiiltä sisältävä suodatin onnistui hidastumisvaiheessa vähentämään COD-tulosten perusteella orgaanisen aineksen määrää selvästi pelkkää hiekkasuodatinta tehokkaammin. (Taulukot 9 ja 10, Kuvat 9 ja 10) Kokeen 2 hidastumisvaiheessa hiiltä sisältävät suodattimet vaikuttavat poistaneen keskimäärin hieman tehokkaammin orgaanista ainesta verrattuna kontrollihiekkasuodattimeen. VLBH30 toimi tämän osalta vähän paremmin kuin muut hiilisuodattimet.

Muutamalla näytteenottokerralla molemmissa kokeissa kaikkien suodatinten poistuvassa vedessä COD oli suurempi kuin tulevassa vedessä. COD-tulosten perusteella suodattimiin tulevan liuenneen orgaanisen aineksen määrät sekä suodatinten poistotehokkuudet vaihtelivat selvästi kokeiden 1 ja 2 aikana. (Taulukot 9 ja 10) Tasaosaltaan veden orgaanisen aineksen määriin voivat vaikuttaa esimerkiksi jätteidenkäsittelyalueelta huuhtoutuvan kiintoaineksen, orgaanisesta materiaalista peräisin olevien liukoisten yhdisteiden sekä altaassa kasvavien levien määrät. Alueelta kulkeutuvan orgaanisen aineksen määrään voi sitä kautta vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi sadanta. Syksyllä toteutetun kokeen aikana levien määrät eivät ainakaan silmämääräisesti olleet suuria, kun taas sadanta on voinut olla kesäaikaan verrattuna suurempi. Syksyllä toteutetun kokeen 1 selvästi suuremmat COD-määrät syöttövedessä viittaavat siihen. Kokeessa 2 LBH30 vähensi parhaiten kiintoainetta, kun taas VLBH30 ja BH30 -suodattimista poistuvassa vedessä oli keskimäärin enemmän kiintoainetta kuin tulevassa vedessä (Taulukko 11, Kuva 11).

Taulukko 9. Liuenneen orgaanisen aineen määrää kuvaavan kemiallisen hapenkulutuksen (COD) määrälliset (g/vrk) ja prosentuaaliset vähenemät eri suodatinkäsittelyissä (LBH70 = lietebiohiili:hiekka 7:3, LBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7, KHS = kontrollihiekkasuodatin). Alkuvaiheesta ei ole COD tuloksia.

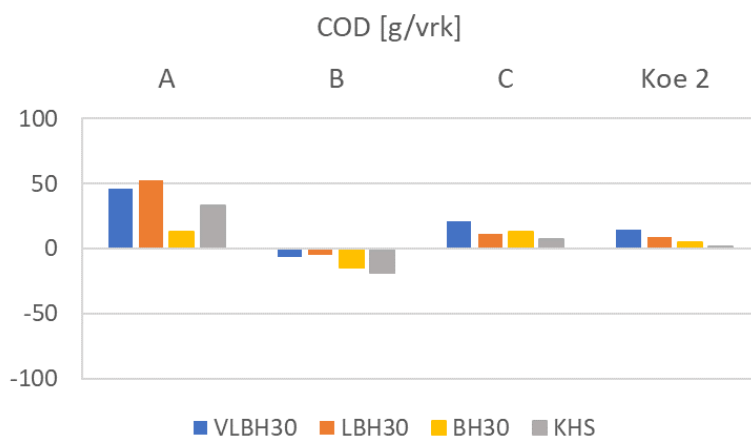
		COD					
		LBH70		LBH30		KHS	
		g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%
Alkuvaihe	13.9.2021						
	17.9.2021						
	Keskiarvo						
Keskivaihe	29.9.2021	53	1 %	106	2 %	79	1 %
	1.10.2021	66	1 %	26	0,4 %	92	1 %
	4.10.2021	-13	-62 %	-26	-127 %	-40	-191 %
	8.10.2021	-13	-68 %	-26	-138 %	-39	-207 %
	12.10.2021	198	3 %	106	2 %	26	0,4 %
	14.10.2021	303	5 %	277	4 %	303	5 %
	15.10.2021	316	5 %	290	5 %	264	4 %
	Keskiarvo	130	3 %	107	2 %	98	2 %
Hidastumisvaihe	20.10.2021	1000	28 %	73	2 %	101	3 %
	22.10.2021	101	4 %	138	5 %	128	5 %
	26.10.2021	165	5 %	193	5 %	128	4 %
	28.10.2021	165	6 %	174	6 %	183	6 %
	29.10.2021	220	7 %	147	4 %	101	3 %
	2.11.2021	-688	-24 %	-715	-25 %	-734	-26 %
	5.11.2021	780	21 %	449	12 %	440	12 %
	Keskiarvo	249	8 %	66	2 %	50	2 %
Koe 1	Keskiarvo	189	6 %	86	3 %	74	2 %



Kuva 9. Kemiallisen hapenkulutuksen (COD) vähenemät (g/vrk) kokeen 1 eri suodatinkäsittelyissä kuvattuna eri kokeen 1 vaiheissa (A = alkuvaihe, B = keskivaihe, C = hidastumisvaihe) sekä koko kokeen 1 aikana. Alkuvaiheesta ei ole COD tuloksia.

Taulukko 10. Liuenneen orgaanisen aineen määrää kuvaavan kemiallisen hapenkulutuksen (COD) määrälliset (g/vrk) ja prosentuaaliset vähenemät eri suodatinkäsittelyjen (VLBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7 (ollut jo mukana kokeessa 1), LBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7, BH30 = biohiili:hiekka 3:7, KHS = kontrollihiekkasuodatin) jälkeen.

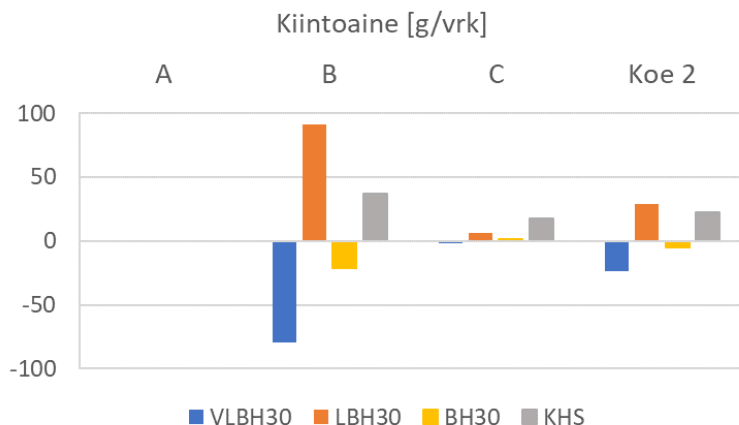
		COD							
		VLBH30		LBH30		BH30		KHS	
		g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%
AV	10.6.22	46	2 %	53	2 %	13	0,5 %	33	1 %
Keskivaihe	13.6.22	35	4 %	37	4 %	28	3 %	61	7 %
	15.6.22	26	3 %	49	5 %	28	3 %	37	4 %
	17.6.22	22	2 %	-37	-4 %	2	0,2 %	-18	-2 %
	20.6.22	22	3 %	14	2 %	22	3 %	8	1 %
	22.6.22	-138	-22 %	-89	-14 %	-154	-24 %	-179	-28 %
	Keskim.	-7	-1 %	-5	-1 %	-15	-2 %	-18	-2 %
Hidastumisvaihe	29.6.22	17	8 %	16	7 %	18	8 %	11	5 %
	1.7.22	9	4 %	9	4 %	7	3 %	4	2 %
	4.7.22	11	5 %	11	5 %	11	5 %	10	4 %
	6.7.22	73	33 %	21	9 %	42	19 %	5	2 %
	8.7.22	13	6 %	-4	-2 %	7	3 %	5	2 %
	11.7.22	22	9 %	12	5 %	20	9 %	9	4 %
	13.7.22	9	4 %	8	4 %	9	4 %	8	4 %
	15.7.22	14	8 %	16	9 %	15	8 %	14	7 %
	18.7.22	10	5 %	13	6 %	1	0,5 %	3	1 %
	20.7.22	3	2 %	6	3 %	6	3 %	-1	-0,5 %
	25.7.22	57	34 %	17	10 %	12	7 %	9	6 %
	27.7.22			9	5 %	5	3 %	5	3 %
	29.7.22	13	7 %	13	6 %			8	4 %
	Keskim.	21	10 %	11	5 %	13	6 %	7	3 %
Koe 2	Keskim.	15	3 %	9	2 %	5	1 %	2	0,3 %



Kuva 10. Kemiallisen hapenkulutuksen (COD) sekä kiintoaineen vähenemät (g/vrk) kokeen 2 eri suodatinkäsittelyissä kuvattuna eri kokeen 1 vaiheissa (A = alkuvaihe, B = keskivaihe, C = hidastumisvaihe) sekä koko kokeen 2 aikana. Alkuvaiheesta ei ole lainkaan kiintotuloksia.

Taulukko 11. Kiintoaineen määrälliset (g/vrk) ja prosentuaaliset vähenemät eri suodatinkäsittelyissä (VLBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7 (ollut jo mukana kokeessa 1), LBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7, BH30 = biohiili:hiekka 3:7, KHS = kontrollihiekkasuodatin).

		KIINTOAINE							
		VLBH30		LBH30		BH30		KHS	
		g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%	g/vrk	%
AV	10.6.22								
Keskivaihe	13.6.22	-118	-37 %	-12	-4 %	-88	-28 %	-85	-27 %
	15.6.22	-172	-34 %	-31	-6 %	-122	-24 %	16	3 %
	17.6.22	-14	-2 %	372	49 %	163	21 %	181	24 %
	20.6.22	-14	-3 %	37	8 %	-38	-9 %	38	9 %
	22.6.22								
	Keskim.	-79	-20 %	91	23 %	-21	-5 %	37	9 %
Hidastumisvaihe	29.6.22								
	1.7.22	-14	-9 %	28	17 %	5	3 %	54	33 %
	4.7.22	20	15 %	6	5 %	-32	-24 %	9	7 %
	6.7.22	-46	-38 %	-29	-24 %	16	13 %	27	22 %
	8.7.22	38	25 %	56	37 %	-6	-4 %	45	30 %
	11.7.22	11	29 %	9	24 %	8	23 %	4	11 %
	13.7.22	8	7 %	-20	-16 %	23	18 %	4	3 %
	15.7.22	-1	-1 %	9	8 %	14	13 %	-6	-5 %
	18.7.22								
	20.7.22	-24	-26 %	10	11 %	1	1 %	1	1 %
	25.7.22	-8	-42 %	5	26 %	-11	-59 %	2	11 %
	27.7.22			-0,3	-0,2 %	-7	-5 %	51	36 %
	29.7.22	-0,003	-4 %	-0,02	-23 %			-0,01	-14 %
	Keskim.	-2	-2 %	7	8 %	1	2 %	18	21 %
Koe 2	Keskim.	-24	-15 %	29	18 %	-5	-3 %	23	14 %



Kuva 11. Kiintoaineen vähenemät (g/vrk) kokeen 2 eri suodatinkäsittelyissä kuvattuna eri kokeen 1 vaiheissa (A = alkuvaihe, B = keskivaihe, C = hidastumisvaihe) sekä koko kokeen 2 aikana. Alkuvaiheesta ei ole lainkaan kiintotuloksia.

3.1.6. Metallit

Kokeen 1 aikana 14.10.2021 (keskivaihe) sekä kokeen 2 aikana 25.7.2022 (hidastumisvaihe) otetuista vesinäytteistä analysoitiin seuraavat metallit: arseeni, elohopea, kadmium, kromi, kupari, lyijy, nikkeli, sinkki ja vanadiini. Tulokset on esitetty alla olevissa taulukoissa. Suodatuksilla ei ollut mainittavaa vaikutusta mitattuihin raskasmetallipitoisuuksiin.

KOE 1 (14.10.2021)	Syöttövesi	LBH30	LBH70	KHS
Arseeni (As) - (µg/l)	52	37	39	42
Elohopea (Hg) - (µg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Kadmium (Cd) - (µg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Kromi (Cr) - (µg/l)	24	21	22	23
Kupari (Cu) - (µg/l)	<3,0	4,4	3,9	<3,0
Lyijy (Pb) - (µg/l)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Nikkeli (Ni) - (µg/l)	14	14	14	14
Sinkki (Zn) - (µg/l)	18	20	17	14
Vanadiini (V) - (µg/l)	13	12	12	12
Typpihappohajotus	Tehty	Tehty	Tehty	Tehty

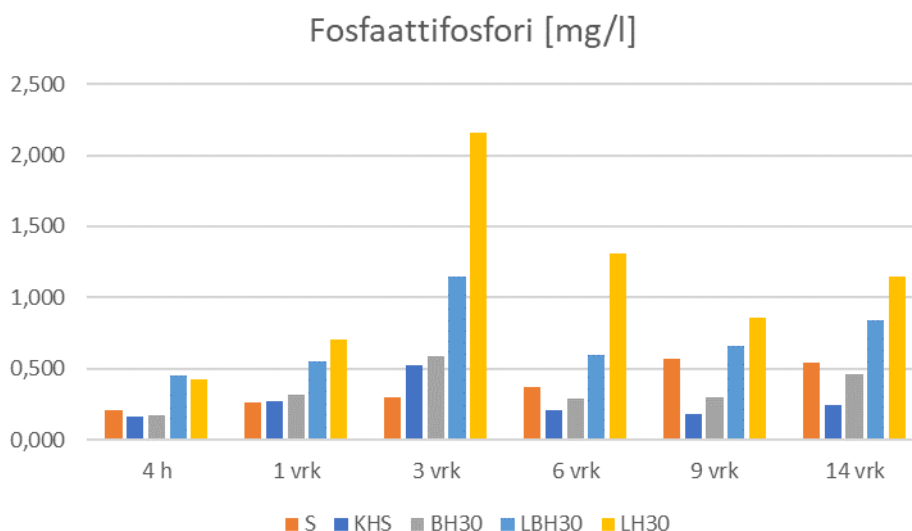
KOE 2 (25.7.2022)	Syöttövesi	LBH30	BH30	KHS
Arseeni (As) - (µg/l)	42	44	180	48
Elohopea (Hg) - (µg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Kadmium (Cd) - (µg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Kromi (Cr) - (µg/l)	17	16	21	16
Kupari (Cu) - (µg/l)	4	5,2	<3,0	<3,0
Lyijy (Pb) - (µg/l)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Nikkeli (Ni) - (µg/l)	13	12	11	11
Sinkki (Zn) - (µg/l)	15	16	10	8,5
Vanadiini (V) - (µg/l)	10	10	15	11
Typpihappohajotus	Tehty	Tehty	Tehty	Tehty

3.2. Laboriomittakaavan suodatuskoe

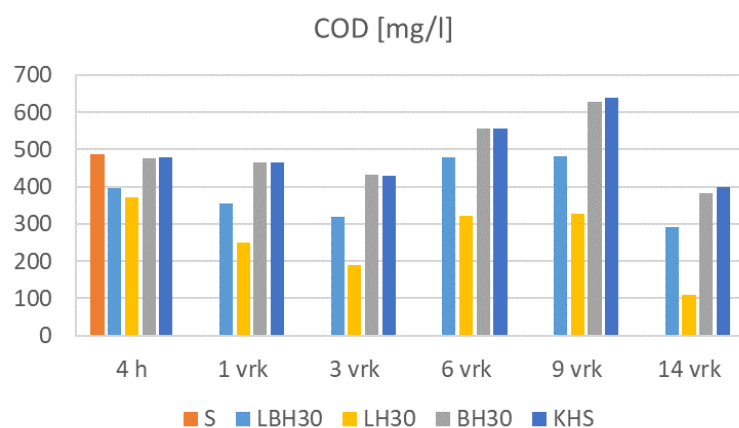
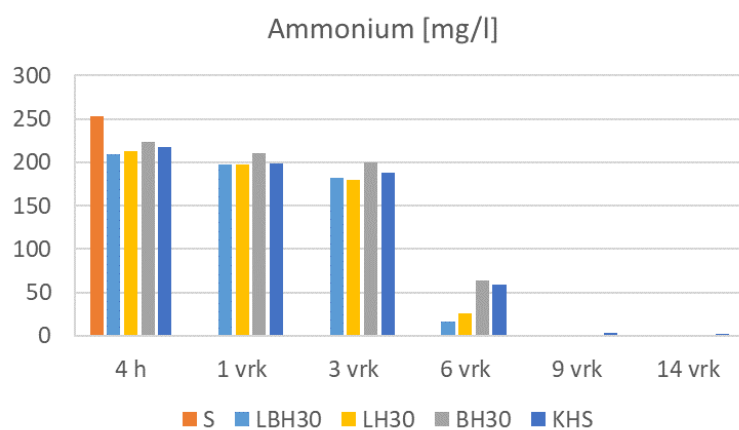
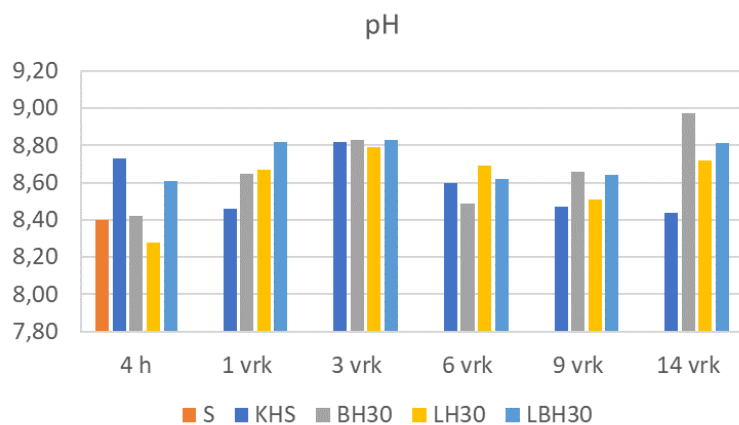
Kuvissa 12 ja 13 on esitetty laboriomittakaavan suodatuskokeen tulokset vesistä analysoituina pitoisuuksina tai arvoina kokeen eri vaiheissa. Taulukossa 12 on puolestaan vastaavat prosentuaaliset vähenemät. Kuuden koevuorokauden jälkeen ammoniumtypen poistoteho parani huomattavasti ja kokeen lopussa lähes 100 % ammoniumtypestä oli jäänyt suodattimiin ja/tai poistunut systeemistä.

Poistotehokkuudessa suodatintyyppien välillä ei ollut muuten eroa paitsi 6 vuorokauden kohdalla LH30 ja LBH30 suodattimissa tulos oli selvästi parempi. Lämpötila ja pH vaikuttavat, kuinka suuri osa liuoksen ammoniumtypestä on ammoniummuodossa, ja kuinka suuri osuus herkästi haihtuvassa ammoniakkimuodossa. Huoneenlämmössä, jossa koe suoritettiin, kokeessa mitatuilla pH-arvoilla (8,3-9,0) ammoniakkin osuus ammoniumtypestä voi olla noin 10-40 %. Toisin sanoen mitä emäksisempi pH, sitä suurempi osuus ammoniumtypestä muuttuu ammoniakiksi (Ervasti ym. 2018) Suotoveden jo valmiiksi hieman emäksinen pH nousi kokeen aikana käsittelystä riippuen keskimäärin 0,16-0,32 yksikköä. Tämä on saattanut edistää typen poistumista, varsinkin kun ilmalle altis suodatusysteemi, jossa vesi kiertää, voi edesauttaa haihtumista. Suodatinmateriaalien tyypipitoisuuksia ei analysoitu. Fosfaattifosforia oli alkua ja yhtä näytettä lukuun ottamatta lähes poikkeuksetta enemmän suodatetussa vedessä verrattuna alkuperäiseen syöttövedeen. Vertailuksi, työssä analysoitiin myös eri astiassa seisovasta syöttövedestä samat laatutekijät kuin varsinaisista näytteistäkin ja kävi ilmi, että liukoisen fosfaattifosforin pitoisuus kasvoi ajan kuluessa. Sen sijaan ammoniumtypen pitoisuus seisovassa syöttövedessä ei vähentynyt. Toisin sanoen biologisen hajotustoiminnan ja/tai muiden kemiallisten reaktioiden seurauksena liukenematonta fosforia muuttui liukoiseen fosfaattimuotoon vuorokausien kuluessa. Tämä selittää osaltaan, miksi kaikkien suodattimien poistovedessä oli jatkuvasti enemmän fosfaattifosforia verrattuna alkuperäiseen syöttövedeen. Kuitenkin suodattimissa LH20 ja LBH30 oli selvästi enemmän fosfaattifosforia poistuvassa vedessä verrattuna kahteen muuhun. (Taulukko 12, Kuva 12) Tämä viittaisi jälleen kerran siihen, että lieteraaka-ainetta sisältävät biohiilet vapauttaisivat/liukoistaisivat tietyissä oloissa fosforia.

Kenttäolosuhteissa toteutettuihin kokeisiin verrattuna typenpoistumat olivat lähes päinvastaisia, kun taas fosforia ei pidähtynyt lietepohjaista biohiiltä sisältäviin suodattimiin lainkaan. Tulokset osoittavat, kuinka paljon olosuhteet monimutkaistuvat, kun koe siirretään ulkoilmaan isompaan mittakaavaan, vaikka teoriassa laboratoriokoe pyrittiin järjestämään vastaaviin mittasuhteisiin kuin isomman mittakaavan kokeessa. Laboratoriossa toteutettu koe tosin erosi kenttämittakaavan kokeesta sen suhteen, että sama vesi kiersi useampaan kertaan suljetussa systeemissä, jolloin suodatin ei vastaanota jatkuvasti uusia ravinteita.



Kuva 12. Laboratoriomittakaavan suodatuskokeessa veden fosfaattifosforin pitoisuudet eri suodatusaikojen jälkeen. S = syöttövesi, suodatinkäsittelyt: LBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7, BH30 = lietehiili:hiekka 3:7, KHS = kontrollihiekkasuodatin



Kuva 13. Laboratoriomittakaavan suodatuskokeessa veden pH-arvo, ammoniumtyppi- ja kemiallisen hapenkulutuksen (COD) pitoisuudet eri suodatusaikojen jälkeen. S = syöttövesi, suodatinkäsittelyt: LBH30 = lietebiohiili:hiekka 3:7, LH30 = lieteihiili:hiekka 3:7, KHS = kontrollihiekkasuodatin

Taulukko 12. Ammoniumtypen (NH₄-N), fosfaattifosforin (PO₄-P) sekä kemiallisen hapenkulutuksen (COD) määrien prosentuaaliset vähenemät laboratoriomittakaavan suodatuskokeessa eri käsittelyaikojen jälkeen.

Aika kokeen alusta	Suodattimen tyyppi	NH ₄ -N %	PO ₄ -P %	COD %
4 h	Kontrolli, KHS	14	22	1
	Biohiiltä (puu) 30 %, BH30	12	17	2
	Lietehiiltä (liete) 30 %, LH30	16	-105	24
	Lietebiohiiltä (liete+puu) 30 %, LBH30	17	-120	19
1 vrk	Kontrolli, KHS	21	-33	4
	Biohiiltä (puu) 30 %, BH30	17	-51	5
	Lietehiiltä (liete) 30 %, LH30	22	-241	49
	Lietebiohiiltä (liete+puu) 30 %, LBH30	22	-167	27
3 vrk	Kontrolli, KHS	26	-154	12
	Biohiiltä (puu) 30 %, BH30	21	-184	11
	Lietehiiltä (liete) 30 %, LH30	29	-949	61
	Lietebiohiiltä (liete+puu) 30 %, LBH30	28	-458	35
6 vrk	Kontrolli, KHS	77	-2	-14
	Biohiiltä (puu) 30 %, BH30	75	-41	-14
	Lietehiiltä (liete) 30 %, LH30	90	-536	34
	Lietebiohiiltä (liete+puu) 30 %, LBH30	93	-190	2
9 vrk	Kontrolli, KHS	98,6	12	-31
	Biohiiltä (puu) 30 %, BH30	99,6	-43	-29
	Lietehiiltä (liete) 30 %, LH30	99,9	-315	33
	Lietebiohiiltä (liete+puu) 30 %, LBH30	99,8	-218	1
14 vrk	Kontrolli, KHS	99,2	-17	18
	Biohiiltä (puu) 30 %, BH30	99,7	-123	22
	Lietehiiltä (liete) 30 %, LH30	99,9	-458	77
	Lietebiohiiltä (liete+puu) 30 %, LBH30	99,8	-310	40

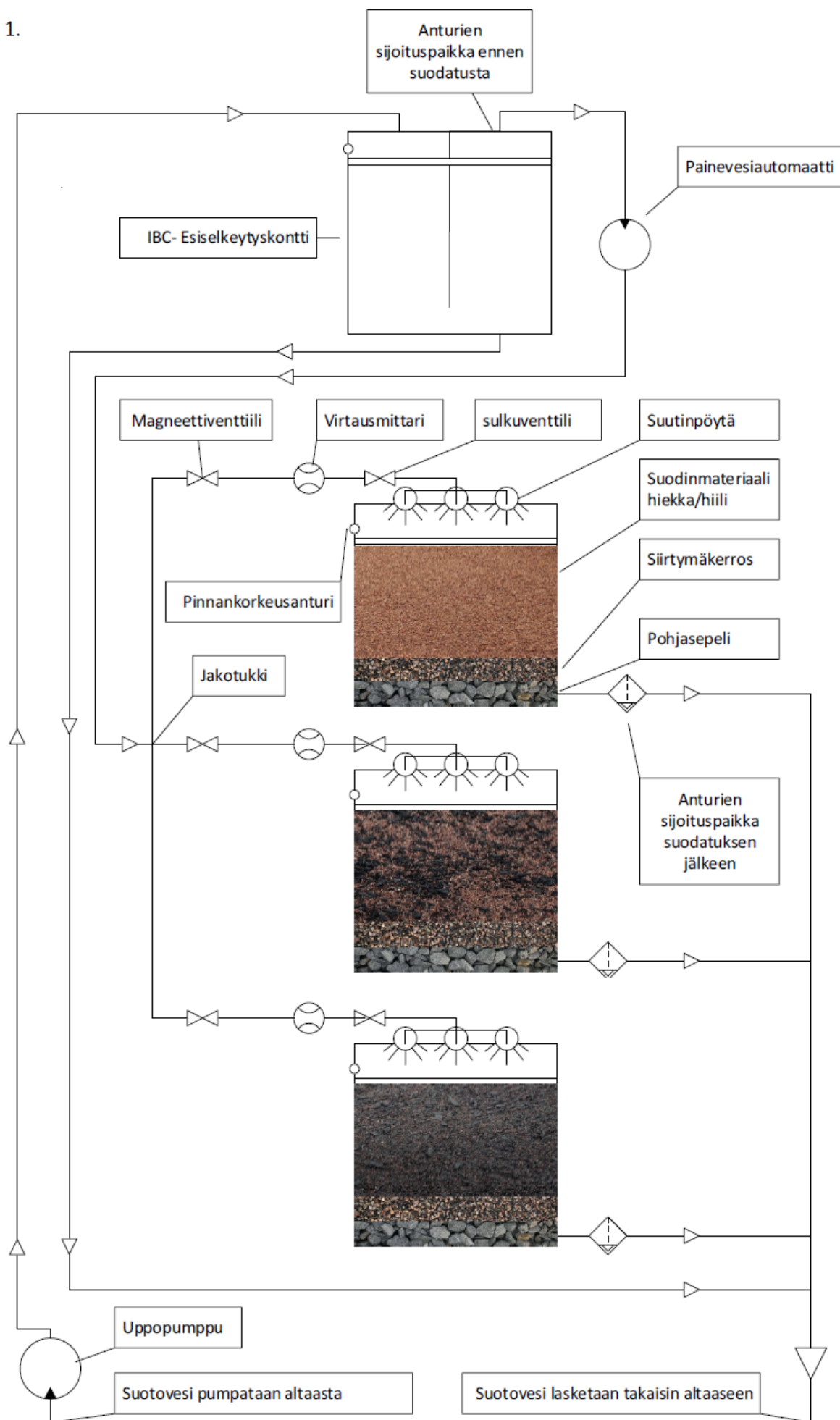
4. Yhteenveto ja johtopäätökset

Jätteidenkäsittelyalueiden suotovesien käsittelyssä lietebiohiilen käytöllä hiekkasuodattimien tehostajana on potentiaalia. Kenttämittakaavan kokeissa lietebiohiiltä sisältävät suodattimet onnistuivat poistamaan keskimäärin 6-18 % suodattimiin tulevasta liukoisesta fosforikuormasta. Sen sijaan erityisesti laboratoriotason kokeissa lietebiohiili-hiekkasuodattimet näyttivät ajoittain vapauttavan fosforia. Vaikka suotovesialtaalla tehdyissä kokeissa typen pidäytyminen jäi keskimäärin vähäiseksi, laboratoriomittakaavassa onnistuttiin poistamaan tyyppi suotovedestä lähes täydellisesti. Tämä viittaa siihen, että vastaava saattaisi olla mahdollista myös kenttäolosuhteissa. Suodatinten toimivuuteen vaikuttavat prosessit ovat kuitenkin monimutkaisia ja ei-toivottujen yhdisteiden poistotehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä on useita. Lisäksi eri tekijöiden keskinäisiä syy-seuraussuhteita ei välttämättä täysin tunneta ja kaikkia tekijöitä voi olla käytännössä epärealistista mitata. Tarvitaan kuitenkin lisää tutkimusta, jotta saataisiin selkeämpi käsitys siitä, miksi typen, fosforin ja orgaanisen aineksen poistaminen käsiteltävästä vedestä välillä onnistuu ja välillä ei.

5. Kirjallisuus

- Berninger, K., Pihl, T., Kasanen, P., Mikkola, A., Tynkkynen, O. & Vahala, R. (2017). *Jätevesien fosfori hyötykäyttöön – teknologioita ja ohjauskeinoja*. Valtioneuvosto. 62/2017.
http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80670/62_Jatevesienfosforihyotykayttoon_30082017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bioenergia ry. (18.12.2022). *Biohiili*. <https://www.bioenergia.fi/biohiili/>
- Carbofex Ltd. (21.12.2022). *About our biochar*. <https://www.carbofex.fi/>
- Elo, A. (3.12.2020). *Biohiili valumavesien suodatuksessa* [esitysmateriaali]. Vanajavesikeskus.
<https://www.vanajavesi.fi/2020/wp-content/uploads/2019/03/Biohiili-valumavesien-suodatuksessa-Hamk.pdf>
- Elo, A., Nummela, J. & Kymäläinen, M. (2021). *Biohiili kiertotalousratkaisuna Kanta-Hämeessä*. Hämeen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-835-0>
- Ervasti, S., Winquist, E., Rasi & S. (2018). *Typen talteenotto lantaperäisestä nesteestä – tekninen toteutettavuus ja prosessin kannattavuusarvio*. Luonnonvarakeskus.
https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/541453/lukeluobio_4_2018.pdf?sequence=1
- Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY. (2022). *Lietehiilihanke*. <https://www.hsy.fi/lietehiilihanke/>
- HAMK. (2023). *Hulvattu*. <https://www.hamk.fi/projektit/hulvattu/>
- Kiertokapula. (2021). *Karanojan jätteidenkäsittelyalue, Hömeenlinna*.
<https://vuosikatsaus.kiertokapula.fi/2021-2/ymparistokatsaus/karanojan-jatteidenkasittelyalue-hameenlinna/>
- Mykkänen, A., Hämäläinen, L. & Saarelainen, J. Ristiinan vanhan kaatopaikan suotovesien biosuodatuslaitteisto – Huky-hankkeen tulokset vuosina 2019 ja 2020. Teoksessa A. Mykkänen (toim.), *Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö* (ss. 112–113). Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.
- Ympäristölupapäätös Nro 246/2017/1 Dnro ESAVI/10840/2014.
<https://ylupa.avi.fi/api/v1/documents/attachment/8932883>
- Ympäristölupapäätös Nro 473/2020 Dnro ESAVI/11420/2019.
<https://ylupa.avi.fi/api/v1/documents/attachment/8932883>

Liite 1.



Liite 2.

KOE 1		
09/2021	8	A L K U V A I H E
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	
	16	
	17	
	18	
	19	
	20	
	21	
	22	
	23	
	24	
	25	
	26	
	27	
	28	
10/2021	29	K E S K I V A I H E
	30	
	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	
	16	
	17	
	18	
	19	
11/2021	20	H I D A S T U M I S V A I H E
	21	
	22	
	23	
	24	
	25	
	26	
	27	
	28	
	29	
	30	
	31	
	1	
	2	
	3	
	4	
	5	

KOE 2		
06/2022	8	A V
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	K E S K I V
	14	
	15	
	16	
	17	
	18	
	19	
	20	
	21	
07/2022	22	
	23	
	24	
	25	
	26	
	27	
	28	
	29	
	30	
	1	H I D A S T U M I S V A I H E
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	
	16	
	17	
	18	
	19	
	20	
	21	
	22	
	23	
	24	
	25	
	26	
	27	
	28	
	29	