



Humusvesien puhdistus

Pentti Pirkonen | Veli Seppänen | Juha Heikkinen |
Tarja Stenman | Tiina Siimekselä |

Humusvesien puhdistus

Pentti Pirkonen

Veli Seppänen

Juha Heikkinen

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Tarja Stenman

Tiina Siimekselä

JAMK, Biotalousinstituutti



ISBN 978-951-38-8309-6 (nid.)
ISBN 978-951-38-8310-2 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

VTT Technology 223

ISSN-L 2242-1211
ISSN 2242-1211 (Painettu)
ISSN 2242-122X (Verkkójulkaisu)

Copyright © VTT 2015

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)
02044 VTT
Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

Teknologiska forskningscentralen VTT Ab
PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)
FI-02044 VTT
Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)
FI-02044 VTT, Finland
Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Esipuhe

Julkaisu liittyy EAKR-hankkeeseen HUMUSVESI, jonka tavoitteena oli kustannus-
tehokkaan puhdistusmenetelmän kehittäminen humuspitoisten vesien puhdistami-
seen sekä jatkuvatoimisen, ympärivuotisen etämonitoroitavan mittausmenetelmän
kehittäminen. Puhdistukseen käytettiin maaperästä lähtöisin olevia materiaaleja
sekä teollisuuden sivuvirtoja. Pääpaino oli Saarijärven vesistön valumavesissä.

Projekti toteutettiin yhteistyössä VTT:n, Jyväskylän ammattikorkeakoulun Biotalo-
usinstituutin (aik. luonnonvarainstituutti) (JAMK), Natural Resource Management Oy:n,
Keski-Suomen Metsäkeskuksen, Vapo Oy:n ja Turveruukki Oy:n kanssa. Hankkeen
ohjausryhmään kuuluivat:

Hilkka Laine, Keski-Suomen liitto

Jaakko Soikkeli (Ilkka Heikkilä 2012 ja Jari Marja-aho 2013–), Vapo Oy

Tarja Väyrynen (2012–2014), Miia Heikkinen (2014) ja Veijo Leiviskä (2014–2015),
Turveruukki Oy

Pekka Äänismaa (Tarja Stenman), JAMK

Juha Jämsen (Tero Ojarinta), Suomen metsäkeskus

Arja Koistinen (Päivi Saari 2012–2013), Keski-Suomen Ely-keskus

Jussi Kukkonen, Jyväskylän yliopisto

Seppo Heimala, NRM Oy

Sakari Laitinen, NRM Oy

Janne Poranen, VTT

Pentti Pirkonen, VTT

Sanna Idström, VTT

Hankkeen projektiryhmään kuuluivat:

Pentti Pirkonen, Juha Heikkinen, Veli Seppänen, Jorma Ihalainen ja Riitta Pönty-
nen VTT:ltä, Seppo Heimala ja Sakari Laitinen NRM Oy:stä, Tarja Stenman, Tiina
Siimekselä, Hannu Vilkkilä, Samuli Lahtela ja Tarmo Lampila JAMKista, Jaakko
Soikkeli, Anneli Wichmann ja Jari Marja-aho Vapo Oy:stä.

Jyväskylä 28.2.2015

Tekijät

6.2	Menetelmät ja laitteet.....	48
6.3	Tulokset konsentroitikokeista	49
6.4	Johtopäätökset konsentroitikokeista	53
7.	Kenttätutkimukset.....	54
7.1	Valumavesien puhdistus Pirtti-Peurusuolla	54
7.2	Koejärjestelyt ja mittaukset.....	54
7.2.1	PCC-kalkki pintavalutuskentällä.....	54
7.2.2	Kenttäpilotti 2: Suodatuskontti	57
7.3	Tulokset	60
7.3.1	Kenttäpilotti 1: PCC-kalkin puhdistusteho ojitetussa pintavalutuskentässä.....	60
7.3.2	Kenttäpilotti 2: Suodatuskontin puhdistusteho	63
7.4	Johtopäätökset kenttäpilottikokeista	63
7.4.1	Kenttäpilotti 1: PCC-kalkki ojitetussa pintavalutuskentässä.....	63
7.4.2	Kenttäpilotti 2: Suodatuskontti	65
8.	Humusvesien sähkökemiallinen mittausmenetelmä	66
8.1	Sähkökemiallinen mittausmenetelmä.....	66
8.2	Laboratoriokokeet.....	67
8.2.1	Materiaalit ja menetelmät	67
8.2.2	Laboratoriomittausten tulokset.....	68
8.3	Mittaukset kenttäolosuhteissa	69
8.3.1	Materiaalit ja menetelmät	69
8.3.2	Sähkökemiallisten humusmittausten tulokset	70
9.	Puhdistusmenetelmien tehon ja kustannusten arviointi	71
10.	Yhteenveto	76
11.	Projektissa syntyneet raportit ja julkaisut	79
	Kirjallisuus.....	81

1. Johdanto

Vuosituohannen vaihteen jälkeen turvetuotannon vesistövaikutuksista on käyty laajaa yhteiskunnallista keskustelua erityisesti Keski-Suomen alueella. Yleinen suhtautuminen turvetuotantoon on muodostunut jopa hyvin kielteiseksi. Samalla alueella harjoitettava maa- ja metsätalous aiheuttavat vesistöihin samansuuntaisia vesistövaikutuksia, joskaan niihin ei ole kohdistettu yhtä suurta kritiikkiä kuin turvetuotannon vaikutuksiin. Kokonaiskuormitusta vesistövaikutuksista on vaikea arvioida tarkasti, koska turvetuotannon päästöjä seurataan paljon kattavammin kuin maa- ja metsätalouden huuhtoumia.

Valumavesissä on kiintoainetta, liuennaita orgaanisia ja epäorgaanisia aineita. Haasteen puhdistusjärjestelmille aiheuttavat suuret virtausmäärät keväällä ja suuret sateet. Lienee selvää, että lähitulevaisuudessa kaikkien maankäyttömuotojen vesienkäsittelymenetelmät on rakennettava sellaisiksi, että vastaanottavan vesistön veden laatu ei huonone. Viime vuosina aiheesta ovat tehneet runsaasti tutkimuksia sekä tutkimuslaitokset että eri maankäyttömuotoja edustavat tahot. Metsätalous on selvästi suurin turvemaiden käyttötapa.

Vallitsevan oikeuskäytännön perusteella turvetuotannon valumavesien perussuojelurakenteiden jälkeisen vesiensuojelun parasta tekniikkaa ovat ympärivuotinen pintavalutus, erikoistapauksissa kemikalointi ja näiden yhdistelmä sekä kasvillisuuskenttä/kosteikko vanhoilla soilla.

Metsätalouden vesistövaikutukset syntyvät ravinteista, kiintoaineesta ja humuksesta. Metsätaloudessa vesiensuojelumenetelmiä ovat suojakaistat, lietekuopat, perkauskatkot, laskeutusaltaat, pintavalutus sekä pohja- ja putkipadot riippuen maankäsittelytavasta. Uuden vesilain myötä on kunnostusojituksille tullut ilmoitusvelvollisuus 60 vrk ennen ojitusta ELY-keskuksiin. Päästöjen mittausveloitetta ei ole.

Maatalouden vesistövaikutuksissa korostuu ravinteiden osuus. Ympäristötuki ohjaa keskeisesti maatalouden vesiensuojelua edellyttäen esim. suojakaistoja. Myös nitraattiasetus (päivityksessä) ja eläinsuojien ympäristöluvut ovat tärkeitä maatalouden päästöjen vähentämisessä. Maataloudessakaan ei ole päästöjen mittausveloitteita.

Turvetuotantoalueelta tulevien valumavesien puhdistuksessa pyritään saavuttamaan ympäristöluvan mukaiset päästöarvot. Puhdistettavaan vesiin eivät kuulu eristysojista tulevat vedet. Pintavalutusenttien reduktio-vaatimuksia (koko vuoden keskiarvo) on tullut muutaman viime vuoden aikana: kiintoaine 50 %, P 50 %, ja N 20–30 %. Joissakin tapauksissa on annettu myös pitoisuusrajoja (mg/l) lähtevälle vedelle. Kemikalointiasemille voidaan lisäksi vaatia COD_{Mn}:lle reduktio 50–75 %. Vesistön

seurantaa tehdään myös tuotantoalueen ylä- ja alapuolisessa vesistössä. HUMUSVESI-hankkeessa pyrittiin saavuttamaan taulukossa 1 mainitut valumaveden puhdistusreduktiot, mutta jos suodoksen pitoisuus alittaa alla mainitun pitoisuuden reduktio voi olla alhaisempi. Virtaama perustuu jatkuvatoimiseen mittaukseen. Pitoisuuden mittauksista jatkuvatoimisia mittauksia ovat pH, kiintoaineen mittausta laskettuna sameuden mittauksesta, kokonaistyyppi ja liukoinen fosfori, joka ei kulje kiintoaineen mukana. Värin mittausta perustuu käsinäytteenoton näytteistä laboratorioissa suoritettavaan mittaukseen standardin SFS-EN ISO 7887:1995 mukaan. Puhdistustavoite pitäisi arvioida vastaanottavan vesistön pitoisuuksien perusteella.

Taulukko 1. HUMUSVESI-projektissa tavoiteltava puhdistusreduktio tai pitoisuus (toinen tavoitteista riittää).

	Reduktio	Pitoisuus
Kiintoaine (1,2 µm suod-in)	50 %	alle 8 mg/l
COD _{Mn}	50 %	alle 50 mg/l
Väri	50 %	alle 250 mg Pt/l
Kok P	50 %	alle 40 µg/l
Koko N	20 %	alle 1000 µg/l
pH		4–10
Ammoniumtyppi	tarkkailtava	tarkkailtava
Fosfaattifosfori (suod)	tarkkailtava	tarkkailtava
Rauta	tarkkailtava	tarkkailtava

Luonnontilaisten pintavesien pH-arvo on yleensä lievästi hapan, pH 6–7. pH-arvoissa tapahtuu kuitenkin vuotuista ja vuorokautista vaihtelua. Suomen sisävesien keskimääräinen happamuus on virtaavien vesien havaintopaikoilla pH 6,6 ja järvisyvänteiden havaintopaikoilla pH 6,9 (pintavesi, kesällä). Vesien eliöstö sopeutunut elämään lähinnä pH-alueella 6–8 (www.ymparisto.fi).

Suomessa humuksen antama ruskea väri on luonteenomainen piirre suurimmalle osalle vesistöistä. Suomen vesistöjen keskimääräinen värin arvo on 51 mg Pt/l. Veden väri 6,6 mg Pt/l vastaa suunnilleen määrää 1 mg/l humusta (www.ymparisto.fi).

Fosfori on toisen pääkasviravinteen typen ohella vesien tuotannon ja rehevöitymisen kannalta tärkein ravinne. Luonnonoloissa fosfori on lähtöisin fosforipitoisista kivilajeista, mistä se lähtee rapautumisen seurauksena liikkeelle. Luonnonhuhutoman lisäksi fosforia kulkeutuu vesiin runsaasti ihmisen toiminnan seurauksena, mikä onkin tärkein syy vesien rehevöitymiseen. Typpi esiintyy vedessä liuenneina, liukenemattomina tai kolloidisina orgaanisina yhdisteinä tai liuenneina epäorgaanisina yhdisteinä: ammoniumina, ammoniakkinä, nitraattina, nitriittinä ja vapaana typpinä. Leville käyttökelpoisia ovat epäorgaaniset typpiyhdisteet, tärkeimpinä ja yleisimpinä nitraatti ja ammonium. Kokonaistyyppellä tarkoitetaan veden sisältämän typen kokonaismäärää (www.ymparisto.fi).

Keskeinen osassa kehitettävää puhdistusmenetelmää olivat hienojakoiset luonnon mineraalit, joilla on runsaasti pintavarausta. Ensimmäisessä vaiheessa lähdettiin tutki-
maan savimineraaleja alkuperäisen Seppo Heimalan idean pohjalta, mutta myöhem-
min tutkimukset kattoivat laajan joukon muita luonnon mineraaleja ja teollisuuden
sivuvirta-aineita.

Puhdistusmenetelmän ohella kehitettiin humusvesien sähkökemiallisiin muutoksiin
perustuvaa menetelmää humusvesien ominaisuuksien mittaukseen keskittyen alku-
vaiheessa liuenneen orgaanisen aineen (DOC) mittaamiseen.

2. Kirjallisuus

Humusvesien puhdistusta käsittelevä kirjallisuus on esitetty kokonaisuudessaan raportissa "HUMUSVESI-hanke, Kirjallisuus selvitys" (Heikkinen et al. 2013; ks. luku 11).

2.1 Maaperäaineiden pidätyskyky

Orgaanisella aineksella on suuresta ioninvaihtokapasiteetista johtuen kyky sitoa lähes kaikkia alkuaineita (Nikkarinen et al. 2008).

Saveksi määritellään kooltaan alle 0,002 mm rakeet. Nämä hiukkaset ovat ohuita levyjä ja muodostavat veteen ns. kolloidisen liuoksen eli vedessä on pieniä hiukkasia, kuitenkin suurempia kuin varsinaisissa liuoksissa esiintyvät ionit (Ronkainen 2012).

Humusaineet jaetaan humushappoihin (pääasiällisin värin aiheuttaja), fulvohappoihin ja humiineihin. Humuksella on hyvin suuri pinta-ala ja kationinvaihtokapasiteetti. Yleensä se myös edistää maapartikkeleiden aggregoitumista (Seppänen 2010).

Haitta-aineet pidättyvät maaperään pääasiassa sorptiolla. Sorptiossa aine pidättyy nesteestä kiinteään aineeseen, ja käsittää siis adsorption, absorption, ioninvaihdon, kompleksin muodostuksen, kerasaostumisen ja kemisorption. Maaperän sorptiokapasiteettiin vaikuttavat maaperän pH, hapetus-pelkistysolot, kosteus, maaperän koostumus, vapaiden sorptiopaikkojen määrä ja reaktiivisuus, sorbentin ominaisuudet sekä kilpailevien kationien ja yhdisteiden määrä sekä kemialliset ominaisuudet (Pakkila 2008).

Tekopohjaveden valmistuksessa tärkeimmät mekanismit, joiden kautta maaperään suotautuva vesi puhdistuu, ovat mekaaninen suotautuminen, adsorptio ja biokemiallinen hajoaminen. Pohjaveden muodostumisen kannalta maaperä on suodatin. Adsorptiota pidetään veden tärkeimpänä puhdistusmekanismina. Adsorptiossa on kyse aineiden kiinnittymisestä maapartikkelien pinnalle kemiallisten tai sähköisten voimien vaikutuksesta. Maaperän savipitoisuus ja humuksen aromaattisuus ja hydrofobisuus parantavat adsorptiota. Maaperässä oleva orgaaninen aines ja humuksen happamuus puolestaan heikentävät adsorptiota. Tekopohjaveden kemiallinen puhdistuminen liittyy hiilen, typen, kalsiumin, raudan, mangaanin ja rikin reaktioihin. Näihin reaktioihin vaikuttavat voimakkaasti eri aineiden hapetus-pelkistystasapaino. Biokemiallisessa ja bakteeriperäisessä puhdistumisessa on pääosin kyse orgaanisen, hiilipitoisen aineen

hajottamisesta hiilidioksidiksi, vedeksi, erilaisiksi hapoiksi ja uudeksi biomassaksi (Ränkman 2010).

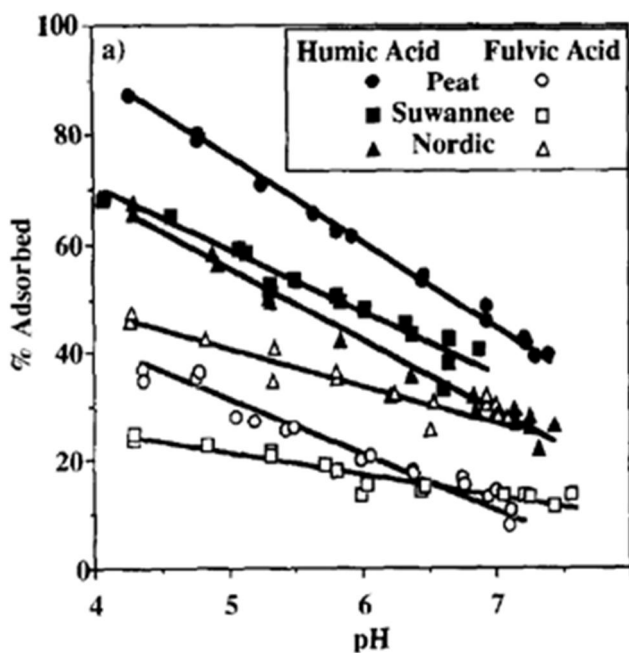
2.2 Sorptio

Sorptio käsittää useita erilaisia reaktioita, kuten adsorption, desorption, absorptio, ioninvaihdon, pintakompleksionnin ja kemisorption. Sidosten vahvuus sorptioivan pinnan ja liuenteen yhdisteen välillä vaihtelee. Sorptioreaktiot ovat reversiibilejä ja tapahtuvat nopeasti. Sorptioreaktiot ovat yleensä riippuvaisia systeemin pH-arvosta (Wahlström ja Laine-Ylijoki 1997).

Adsorptiossa aine kiinnittyy kiinteän aineen pintaan ja absorptiossa aine kiinnittyy huokoisen partikkelin sisälle. Metallionit voivat adsorboitua sekä orgaanisen aineen pintaan että mineraaleihin. Metallionien adsorptio turpeeseen perustuu osittain huumuksen kanssa muodostuviin kompleksiyhdisteisiin. Kerasaostumiessa haitta-aineet adsorboituvat saostuvan yhdisteen pinnalle. Kemisorptiossa liukoinen aine kiinnittyy kiinteän aineen (esim. kivi, sedimentti) pintaan kemiallisin sidoksin (Pakkila 2008).

Lukuisia materiaaleja on testattu humushapon adsorptioon, kuten esimerkiksi aktiivihiihtä (Ferro-Garcia et al. 1998; Han et al. 2003; Chen ja Wu 2004; Daifullah et al. 2004), kerroksellisia savimineraaleja (Wibulswas et al. 1998; Abate ja Masini 2003; Salman et al. 2007; Doulia et al. 2009), zeoliitteja (Kaneco et al. 2003); Capasso et al. 2005; kitosaania (Yan ja Bai 2005), sekä rautaoksideja (Evanke ja Dzombak 1998; Vermeer et al. 1998; Weng et al. 2006; Weng et al. 2007).

Kuvassa 1 havaitaan humushappojen ja fulvohappojen adsorptioerilaisuus: vaikka molempien adsorptio on tehokkainta alhaisemmassa pH:ssa pH-alueella 4–7, humushappojen adsorptio on suurempaa kuin fulvohappojen adsorptio kaoliiniin.



Kuva 1. Humus- ja fulvohappojen adsorptio kaoliiniin eri pH:ssa (Murphy ja Zachara 1995).

Maaperän kationinvaihtokapasiteetin CEC yksikkö on cmolc/kg (senttimoolia positiivista varausta per kg materiaalia) tai meq/100 g (milliekvivalenttia per 100 grammaa materiaalia). Molemmat ovat numeerisesti yhtäsuuria eli $10 \text{ cmolc/kg} = 10 \text{ meq/100 g}$ (Cornell University 2007).

Humuksen kationinvaihtokapasiteetti on suuri, jopa $60\text{--}300 \text{ cmolc kg}^{-1}$ kun $\text{pH} = 7$, mikä voi selittää 25–90 % mineraalimaan kationinvaihtokapasiteetista humuksen pitoisuudella mineraalimaassa. Taulukossa 1 on esitetty eri savimineraalien kationinvaihtokapasiteetteja (Sparks 1995).

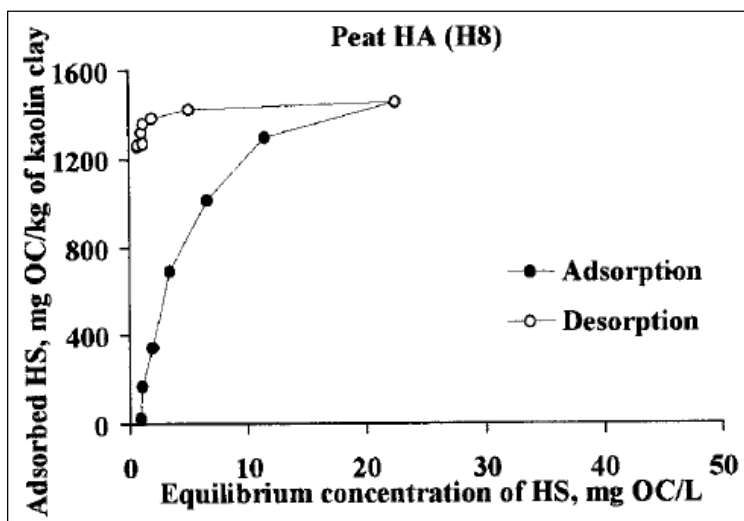
Taulukko 2. Savimineraalien kationinvaihtokapasiteetteja.

Colloid Type	CEC (cmol Kg ⁻¹)
Kaolinite	2-15
Montmorillonite	80-150
Chlorite	10-40
Vermiculite (Trioctahedral)	100-200
Vermiculite (Diocahedral)	10-150
Allophane	3-250
Gibbsite	4
Goethite	4

Adapted From Sparks 1995. Environmental Chemistry of Soils. Academic Press.

Akbourin et al. (2002) mukaan humushapon adsorptio kaoliniittiin lisää sen negatiivista pintavarausta ja siten vähentää kolloidien kasaantumista. Humuksella pinoittuneiden kaoliniittikolloidien kerrostuminen paranee, kun Ca²⁺-ionien pitoisuus suspensiossa lisääntyy. Sharman (2010) mukaan orgaaninen kerros savien pinnalla voi muuttaa savimineraalin pinnan reaktiivisuutta ja lisätä metalliepäpuhtauksien, kuten arseenin, mahdollisten sitoutumispaikkojen lukumäärää.

Kuvassa 2 on esitetty kaoliinisaven adsorptiokapasiteetti turpeesta peräisin olevalle humushapolle. Kuvasta voidaan arvioida, että orgaanisen hiilen maksimiadsorptiokapasiteetti on noin 1,4 g(HS)/kg kaoliinisavea (Balcke et al. 2002).



Kuva 2. Turpeesta peräisin olevan humushapon (HA) adsorptio kaoliiniin mitattuna orgaanisena hiilenä (HS) (Kranichfeld, H8, Western Erzgebirge, Germany).

Lentotuhkalla on saatu adsorptiokapasiteetiksi humushapolle 36 g(HS)/kg (Wang et al. 2007). Kun modifioidaan esimerkiksi zeoliittia reaktiiviseksi nanozeoliitiksi, niin voidaan saavuttaa humushapon adsorptiokapasiteetti 6,75 g(HS)/kg modifioitua zeoliittia A (Tashauoei et al. 2010). Aktiivihieillä humushapon adsorptiokapasiteetiksi on saatu 6,9 g(HS)/kg aktiivihieiltä (Ferro-García et al. 1998).

2.3 Saostus

Kemiallisessa saostuksessa kemikaalia lisätään ionireaktioiden aikaansaamiseksi tai kolloidien sähköisiä poistovoimia aiheuttavien varausten poistamiseksi, tavallisesti Al- tai Fe-suolaliuoksella. Saostuskemikaali neutraloi humuksen ja savimineeraalien negatiivista pintavarausta ja saa epäpuhtaudet tarttumaan toisiinsa muodostaen isompia flokkeja. Samassa yhteydessä poistuu myös osa liuenneista aineista, jotka muodostavat metalli-ionien kanssa niukkaliukoisia yhdisteitä. Flokit erotetaan vedestä joko laskeuttamalla selkeytysaltaan pohjalle tai nostamalla pienten ilmakuplien avulla altaan pinnalle flotaation avulla. Yleensä käytetyt saostuskemikaalit laskevat veden pH:ta. Flokkauksessa muodostuneet flokit ovat heikkorakenteisia ja rikkoutuvat helposti.

Saostuksen apuaineet ovat tyypillisesti partikkelimaisia aineita, kuten savi. Niitä käytetään erityisesti laitoksilla, joiden raakavedessä on hyvin vähän irtopartikkeleita. Niiden käyttö perustuu partikkeleiden toimintaan kiinnittymisalustana saostuksessa neutraloiduille partikkeleille. Koska näiden apuaineiden tiheys on suurempi kuin mui-

den vedessä olevien partikkeleiden, ovat myös niiden muodostamat flokit tiheämpiä ja laskeutuvat nopeammin (Poutanen 2012).

Saostuksella voidaan poistaa paitsi suspendoitunutta, kolloidia ja liennuttua orgaanista ainetta (Dissolved organic matter, DOM) myös patogeeneja. Saostuksen tehokkuuteen erityisesti NOM:n (Natural organic matter) ja partikkelien osalta vaikuttavat koagulantti ja sen annostelu, pH, lämpötila ja NOM:n ominaisuudet. Saostuksessa NOM:n suuret molekyylikoot poistuvat lähes kokonaan. Keskisuuretkin molekyylikoot poistuvat riittävästi, mutta pienet molekyylit ovat vaikeita poistaa. Saostukseen käytävistä kemikaaleista tavallisimpia ovat alumiini- ja rautasuolat. Rautasuolat ovat saostajina tehokkaampia kuin alumiinisulfaatit. Rautasuolojen tehokkuus tulee esille juuri keskisuurten molekyylien poistamisessa. Rautasuolojen ohella polyalumiinikloridi on osoittautunut erinomaiseksi saostajaksi, koska se toimii laajoilla pH- ja lämpötila-alueilla (Ränkman 2010).

Fosforiyhdisteet voidaan saostaa jätevedestä tehokkaasti kalsiumionien avulla. Saostumisen edellyttämä korkea pH (10–12) saavutetaan käyttämällä kalsiumoksidia tai kalsiumhydroksidia. Kalsiumionit reagoivat pääasiassa jäteveden ortofosfaatin kanssa muodostaen hydroksiapatiittia, joka on niukkaliukoista korkeissa pH-arvoissa. Samalla saostuu myös osa veden bikarbonaatti- ja magnesiumioneista sekä orgaanista ainesta (www.nordkalk.fi 2013).

2.4 Hiekkasuodatus

Hiekkasuodatuksessa vesi johdetaan suodatinmateriaalin läpi ja kiinteät epäpuhtaudet jäävät suodattimen pinnalle tai pidättyvät suodatinmateriaaliin. Hiekkasuodatuksella voidaan poistaa kemiallisen saostuksen selkeytysvaiheen jälkeen veteen jääneet flokit. Menetelmää käytetään vesilaitoksilla myös poistamaan rautaa, mangaania ja humusta pohjavedestä. Pintakuorma on < 10 m/h.

Hiekkapikasuodatuksessa erotetaan imeytettävästä vedestä karkeat partikkelit. Pikasuodatus toteutetaan johtamalla vesi sorasta ja hiekasta koostuvan suodatinaineksen läpi, jolloin karkeiden partikkelien lisäksi osa raudasta ja mangaanista saostuu hapettumisen kautta. Pintakuorma pikasuodatuksessa on 10–20 m/h.

Erään tutkimuksen yhteydessä tehdyissä hiekkasuodatuskokeissa suodatusnopeus oli 3,7–8 m/h, jolloin saavutettiin vähenemä: 33 % sameudelle, 55 % kiintoaineele ja 80–90 % bakteereille. Toisessa tutkimuksessa tutkittiin Kokemäenjoen veden puhdistamista hiekkasuodattimissa, joissa hiekan raekoko oli 0,8–1,2 mm. Kokeessa saavutettiin 6,0 m/h suodatusnopeudella 69 %, 46 % ja 6 % vähenemät kiintoaineen, sameuden ja kemiallisen hapenkulutuksen (COD_{Mn}) osalta (Ränkman 2010).

Kemiallista käsittelyä ja hiekkasuodatusta tekopohjaveden valmistuksessa on verrattailtu esimerkiksi TEMU-tutkimushankkeen yhteydessä. Kemiallinen käsittely vähentää imeytettävän veden mukana kulkeutuvan aineksen määrää, mahdollistaa alle kuukauden viipymäajan, poistaa imeytettävästä vedestä happea kuluttavaa orgaanista ainesta ja vähentää imeytettävässä vedessä olevien patogeeneiden määrää. Vastaavasti kemiallisen esikäsittelyn haittoja ovat kalliimmat investointi- ja käyttökustannukset kuin mekaanisessa hiekkapikasuodatuksessa. Kemiallisessa esikäsittelyssä muodostuvan

lietteen määrä on merkittävästi suurempi kuin mekaanisessa käsittelyssä. Myös veden suolojen määrä lisääntyy ja pH-arvo laskee kemiallisen esikäsittelyn vaikutuksesta (Ränkman 2010).

Kontaktisuodatuksessa saostuskemikaali syötetään veteen juuri ennen suodatinta. Kaikki käsittelyyn liittyvät operatiot tapahtuvat suodattimessa, joka tavallisesti on hiekkasuodatin tai kaksikerrossuodatin. Myös käänteissuodatinta on mahdollista käyttää. Yleisesti ottaen kontaktisuodatus sopii vesille, joiden humuspitoisuus ei ole kovin suuri. Esimerkiksi DynaSand-suodattimilla toteutettava pintaveden kontaktisuodatus on käytössä lukuisilla suomalaisillakin vesilaitoksilla (HyXo Oy 2013). Näiden laitosten virtaamat ovat olleet välillä 10–525 m³/h (Ränkman 2010).

3. Puhdistuksessa käytetyt materiaalit ja analyysit

3.1 Materiaalit

Humuksen saostamistutkimukset aloitettiin alkuperäisen idean mukaan erilaisilla savilla. Tutkimuksen kuluessa kuitenkin jouduttiin maa-ainesvalikoimaa laajentamaan runsaasti, koska savilla yksinään ei saatu riittävän hyviä tuloksia. Tutkimuksessa mukana olevia puhdistusmateriaaleja olivat:

- Erilaiset savet (Kuokkala, Hankasalmi, Kaijansuo, Mesiänsuo, Löytynneva)
- Erilaiset tuhkat (Keljonlahden ja Kaipolan lentotuhka, ja Keljonlahden pohjatuhka)
- Kalkkikivi (kalsiumkarbonaatti) (Nordkalk)
- Sammutettu kalkki (kalsiumhydroksidi) (Nordkalk)
- PCC-tuotannon sivutuotteet (Jaala)(Mahtikalkki, kalkkikivirouhe joka sisältää n. 20 % sammutettua kalkkia) ja (Äänekoski)
- Lannoitetuotannon kipsi (Siilinjärvi) ja rikinpoistokipsi (Vaasa)
- Kaoliini (alumiinisilikaatti) (Juuka)
- Biotiitti (tumma kiille, silikaattimineraali) (Siilinjärvi)
- Järvimalmi (rautaoksidea) (Leppävesi ja Rantsila)
- Teräskuonatuotteet (Tornio ja Imatra)
- Vuolukivijauhe (Vaala)
- Rahkasammal (Vapo)
- Serpentiiniitti (rapautunut) (Nivala)
- Alumiinisulfaatti (jauhemainen)(Kemira)
- Ferrisulfaatti (nestemäinen ja rakeinen)(Kemira)

Valumavedet valittiin siten, että ne suurimmaksi osaksi edustivat Saarijärven vesistön valuma-aluetta. Turvetuotannon valumavesistä tutkimuksen kohteeksi otettiin Mesiänsuo Joutsasta, Löytynneva Ylivieskasta ja pääkohteina Karstulan Kaijansuon lohkot L32 ja L33 Karstulasta sekä Multian Pirtti-Peurusuon pintavalutuskentät 1 ja 2.

3.2 Analyysit

3.2.1 Materiaalianalyysit

Savet ja liejut ovat hyvin monimutkaisia rakenteeltaan ja muuttujia on paljon. Merkittävimpiä ovat:

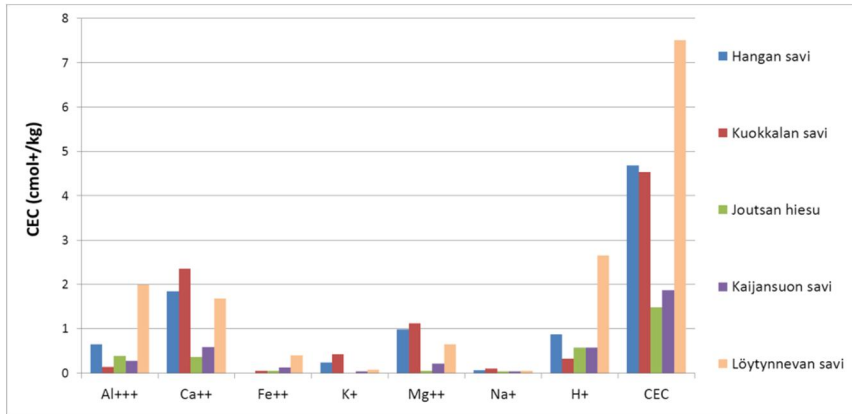
- vesipitoisuus
- raekokojakauma / savipitoisuus
- humuspitoisuus
- rikkipitoisuus
- reaktiokykyiset yhdisteet (liukoinen/amorfinen Si, Al)
- kationinvaihtokapasiteetti

Mitä suurempi on savipitoisuus, sitä suurempi on ominaispinta-ala reaktioita varten. Savimateriaaleille määritettiin alkuaineanalyysien lisäksi partikkelikokojakauma ja ominaispinta-ala (Taulukko 3). Pienimmät partikkelikoot ja vastaavasti suurimmat ominaispinta-alat ovat Kuokkalasta ja Hankasalmelta otetuissa näytteissä. Näissä näytteissä on muita näytteitä enemmän alumiinia, kaliumia, kalsiumia, magnesiumia, rautaa ja titaania. Taulukossa 4 on esitetty alkuaineanalyysien tulokset myös Nordkalkin sammutetulle kalkille, Mahtikalkille, Kaipolan lentotuhkalle ja Siilinjärven kipsille. Kaikissa näytteissä oli paljon kalsiumia. Kaipolan lentotuhkassa oli muita enemmän alumiinia, fosforia, magnesiumia, mangaania, natriumia ja rautaa, kun taas Siilinjärven kipsissä oli muita huomattavasti enemmän rikkiä.

Labtium Oy:ssä tehtiin monialkuainemääritys ICP-OES-tekniikalla, jonka perusteella laskettiin kationinvaihtokapasiteetti (CEC) seuraavasti:

$$\text{CEC} = [\text{Al}^{+++}] + [\text{Ca}^{++}] + [\text{Fe}^{++}] + [\text{Mg}^{++}] + [\text{K}^+] + [\text{Na}^+] + [\text{H}^+] \text{ (cmol}^+/\text{kg)}.$$

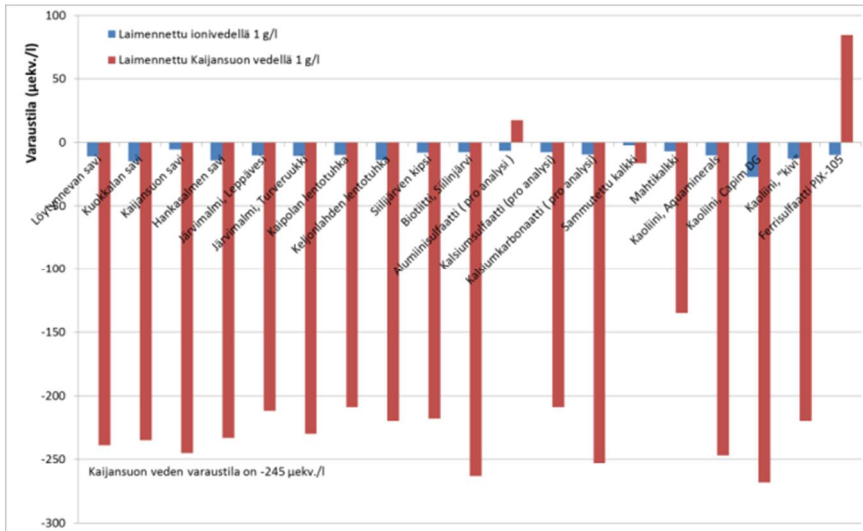
Kuvassa 3 on esitetty kationinvaihtokapasiteettimääritysten tulokset. Silmämääräisesti Kuokkalasta ja Hankasalmelta otetut näytteet olivat eniten savimaisia, kuten voidaan päätellä myös partikkelikokoanalyysin tuloksista. Löytynnevan näytteen Al^{3+} ja H^+ -pitoisuudet poikkeavat muista aiheuttaen muita isomman CEC-tuloksen, mikä saattaa johtua Löytynnevan suuresta orgaanisesta kiintoainepitoisuudesta.



Kuva 3. Eri paikoista kerättyjen savinäytteiden kationinvaihtokapasiteetit.

VTT:llä määritettiin nesteen varaustila mittaamalla kationisuus- tai anionisuusarve laittamalla 1 g/l materiaalia joko ionivaihdettuun veteen tai Kaijansuon humuspitoiseen veteen. Laitteisto koostuu kahdesta laitteesta: Mütek PCD-Titrator two ja Mütek PCD 03 pH Particle Charge Detector.

Kuvassa 4 on esitetty varaustila edellä mainituissa olosuhteissa. Kuvasta havaitaan, että Kaijansuon ns. luontaista varaustilaa eniten muuttavat ferrisulfaatti, alumiinisulfaatti ja sammutettu kalkki (kalsiumhydroksidi) sekä myös jonkin verran Mahtikalkki, jossa on noin 20 % kalsiumhydroksidia ja loput kalkkikiveä. Eniten Kaijansuon veden varaustilaa pienentävät aineet ovat juuri niitä aineita, jotka toimivat parhaiten flokkulaattorilla tehdyissä humuksen saostuskokeissa.



Kuva 4. Testattujen materiaalien varaustila ionivaihdetussa vedessä ja Kaivansuon vedessä, kun materiaalien konsentraatio vedessä oli 1 g/l.

3.2.2 Vesianalyysit

VTT:llä suoritettiin seuraavat analyysit vesinäytteille:

- pH (-), VWR pH 100
- Johtokyky ($\mu\text{S}/\text{cm}$), VWR EC 300
- Sameus (NTU), HACH 2100AN IS Turbidimeter ISO method 7027
- Kiintoainepitoisuus (mg/l), määrittäminen lasikuitusuodattimella SFS-EN872, Whatman GF/C, pidätyskyky 1,2 μm
- Haihdutusjäännös (mg/l), kuivaus lasimaljoissa 105 °C
- COD_{Cr} (mg/l), HACH DR/2000 Method 8000 Program 430
- Väri (Absorbanssi 257 nm aallonpituudella, aallonpituudeksi valittu maksimiabsorbanssin aallonpituus), Hitachi U-2900 Spectrophotometer, näyte suodatettu 0,45 μm suodattimella (selluloosa-asettaattimembraani VWR 514-0062)

Kemiallinen hapenkulutus mittaa vedessä olevien kemiallisesti hapettavien orgaanisten aineiden määrää. Hapettimena on käytetty permanganaatti-iona (MnO_4^-), joka on vahva hapetin. Kaikki orgaaninen aines ei hapetu, joten tulos on suhteellinen. Aikaisemmin käytössä ollut ns. permanganaattiluku (KMnO_4 -luku) on sama asia. COD_{Mn}-arvo vain ilmoitetaan mg O₂/l. COD_{Mn}-arvo saadaan kertomalla KMnO_4 -arvo luvulla 0,253. Huomattavasti vahvempi hapetus on ns. dikromaattikulutus (COD_{Cr}). Nämä arvot ovat suurempia COD_{Mn}-arvoihin verrattuna eivätkä ole siten toisiinsa verrattavia. Jätevesidirektiivissä on kehoitettu määrittämään jätevesistä

COD_{Cr}-kulutus, joka tehdään nykyisin aikaisemman COD_{Mn}-määrityksen asemesta. Luonnonvesissä COD_{Mn}-määritys on kuitenkin yleisesti käytössä.

Valituista kokeista lähetettiin näytteitä Ambioticaan, jossa määritettiin:

- Väri (mg Pt/l), SFS-EN ISO 7887:2012
- NH₄-N (µg/l) SFS3032:1976
- NO₂-N (µg/l) A40D (Aquakem)
- NO₃-N (µg/l) SFS-EN ISO 13395:1996 (modif.)
- PO₄-P (µg/l) A40A (Aquakem)
- Kloridi (mg/l) SFS-EN ISO 10304-1:09 modif.
- Org.hiili (mg/l) SFS-EN 1484:1997 modif
- Silikaatti (mg/l) A40F (Aquakem)
- Sulfaatti (mg/l) SFS-EN ISO 10304-1:09 modif.
- Alumiini (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Antimoni (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Arseeni (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Barium (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Beryllium (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Boori (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Kadmium (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Kalium (mg/l) SFS-EN ISO 11885: 09 modif.
- Kalsium (mg/l) SFS-EN ISO 11885: 09 modif.
- Koboltti (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Kokonaisfosfori (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Kokonaisriikki (mg/l) SFS-EN ISO 11885: 09 modif.
- Kromi (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Kupari (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Lyijy (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Magnesium (mg/l) SFS-EN ISO 11885: 09 modif.
- Mangaani (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Molybdeeni (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Natrium (mg/l) SFS-EN ISO 11885: 09 modif.
- Nikkeli (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Rauta (µg/l) SFS-EN ISO 11885: 09 modif.
- Seleenin (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Sinkki (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Tina (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Titaani (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.
- Vanadiini (µg/l) SFS-EN ISO 17294-2:05modif.

Taulukossa 3 on esitetty sekä VTT:ssä (väri Abs 257 nm, COD_{Cr} ja kiintoainepitoisuus) että Ambioticassa (väri mg Pt/l, TOC, kokonaistyyppi, kokonaisfosfori, sulfaatti, alumiini ja rauta) tehtyjen määritysten tuloksia kokeissa käytetyille vesinäytteille.

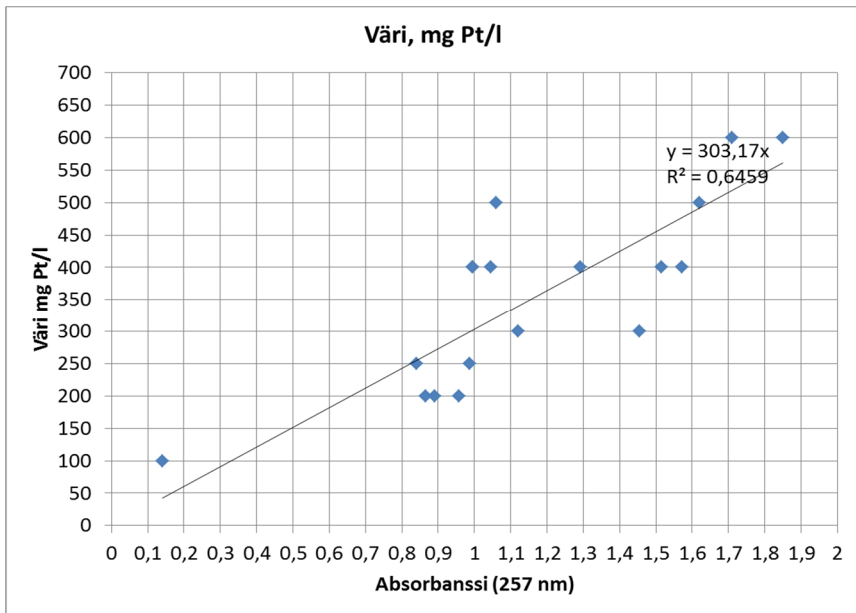
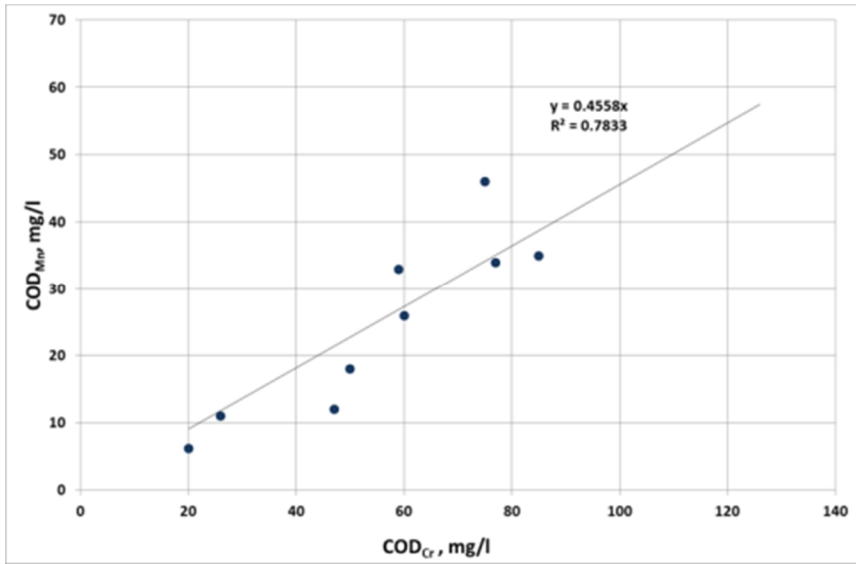
Taulukko 3. Humuspitoisten vesinäytteiden analyysituloksia.

Analyysi	Mesiänsuo	Kaijansuo	Löytynneva
Väri (Abs 257 nm)	0,55 – 1,48	0,79 – 2,23	0,55 – 0,82
Väri (mg Pt/l)	300 – 350	230 – 630	1500 – 7000
COD _{Cr} (mg/l)	51 – 70	73 – 223	158 – 1560
(TOC)Org. hiili (mg/l)	22,7 – 30	19,6 – 43,9	58 – 66
Kiintoaine (mg/l)	4 – 13	2,9 – 80	82 – 1425
Kok. typpi (µg/l)	798 – 971	169 – 503	772 – 942
Kok. fosfori (µg/l)	18 – 44	31 – 72	< 10 – 280
Sulfaatti (mg/l)	1,1 – 4,3	0,4 – 1,1	106 – 110
Alumiini (µg/l)	160 – 230	540 – 610	1300 – 3100
Rauta (µg/l)	2200 – 3700	1900 – 3000	780 – 17000

Kaikki turvetuotannon vesinäytteet on otettu laskeutusaltaiden jälkeen. Löytynnevan näytteenottoaika oli hankala ja vesinäytteisiin tuli ylimääräistä kiintoainetta. Toiseen Löytynnevan näytteeseen otettiin varta vasten runsaasti kiintoainetta, jotta voitaisiin tutkia kiintoaineen vaikutusta puhdistusmenetelmiin.

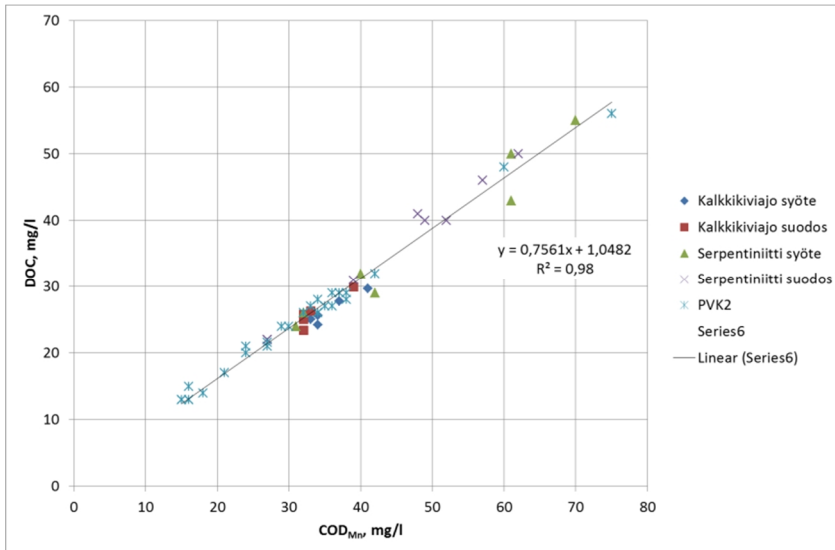
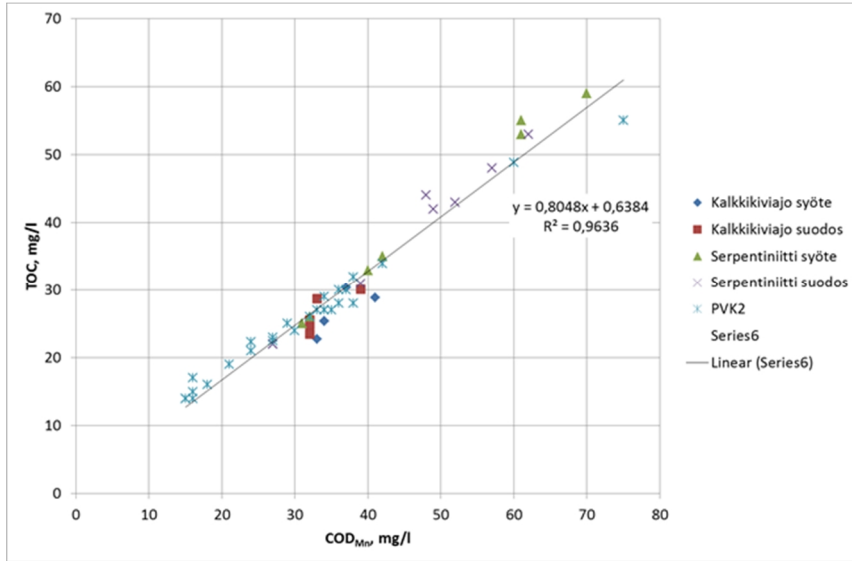
Kaijansuolta näytteitä käytiin hakemassa useita kertoja vuoden 2012 ja 2013 aikana, joten esimerkiksi kiintoainepitoisuudessa oli melko suurta vaihtelua. Analyysijä tehtiin ja teetettiin sekä käytettävälle saostus- ja sorptiomateriaaleille että laboratoriokeista otetuille vesinäytteille. Vesianalyyseissä käytetään erilaisia analyysimenetelmiä lähes saman asian mittaamiseen, tällaisia ovat mm. väri ja kemiallinen hapenkulutus. Näille mitattiin vertailumittauksia eri menetelmillä, joista laskettiin korrelaatiokertoimet. Näiden avulla voidaan suunta-antavasti vertailla eri analyysituloksia, mutta esitettyä tulosta ei saa yleistää kaikille vesinäytteille käytettäväksi.

COD-määrittelyksiä tehtiin muutamista näytteistä dikromaattihapetuksella (COD_{Cr}) ja kaliumpermanganaattihapetuksella (COD_{Mn}). Näiden analyysien korrelaatioksi saatiin kuvan 5 mukaan 0,46 ($R^2 = 0,78$). Veden väriä on perinteisesti mitattu arvoina mgPt/l. Menetelmä perustuu näytteen värin silmämääräiseen arviointiin värikartan avulla. Tekijästä riippumaton värinmittaus on värin absorptioon tietyllä aallonpituudella tehtävä määrittely. Väriä määritettiin arvoina mg Pt/l ja absorbanssina 257 nm aallonpituudella. Näiden korrelaatio oli kuvan 5 mukaan 303 ($R^2=0,65$).



Kuva 5. COD ja värikorrelaatiot eri menetelmien välillä.

COD_{Mn}:n korrelaatio DOC:n ja TOC:n kanssa oli korkea, vaikka kaikki eri tilanteista saadut määritykset on yhdistetty samaan kuvaan (Kuva 6).



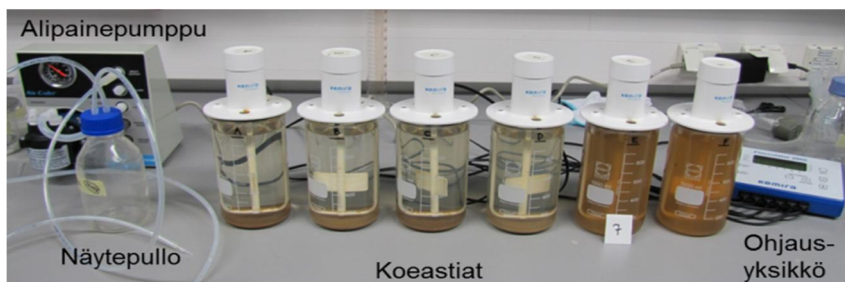
Kuva 6. a) TOC:n ja (b) DOC:n korrelaatio COD_{Mn}:n kanssa turvetuotantoalueen vesissä.

4. Sorptio- ja saostuskokeet laboratoriossa

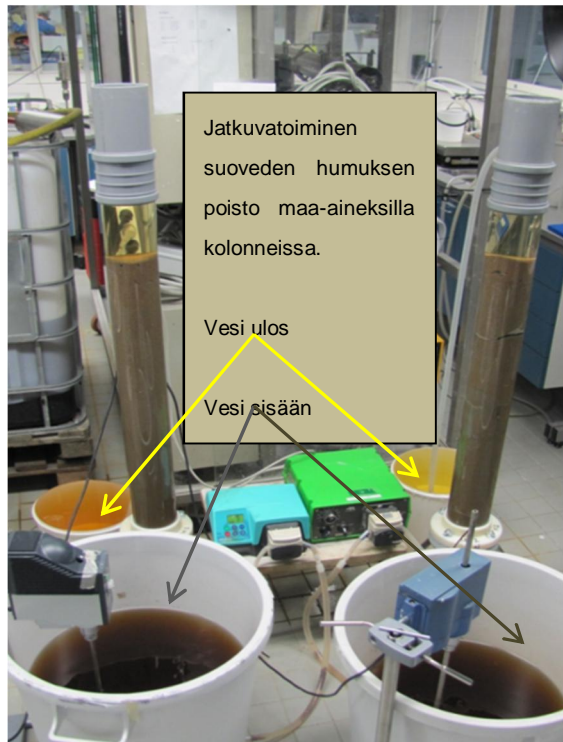
Sorptio- ja saostuskokeiden tulokset on tarkemmin esitetty julkaisuissa (Pirkonen et al. 2013 ja 2014; ks. luku 11).

4.1 Sorptio- ja saostuslaitteet

Perustestit vesien puhdistuksesta tehtiin flokkulaattorilaitteistolla (Kuva 7). Sorptiokokeet aloitettiin pienen kolonnin kokeilla, joista lupaavimmat koemateriaalit siirrettiin ison kolonnin kokeisiin, joista esimerkki on kuvassa 8. Sorptiolaitteita oli vaiheessa 1 ja 2 useita erikokoisia. Jatkuvatoiniset saostuskokeet tehtiin kuvan 9 mukaisissa kolonneissa, joissa voitiin käyttää myös hiekkasuodatusta. Hiekkasuodatusta tutkittiin myös pilot-mitassa HyXo Oy:n laitteistolla (Kuva 10).

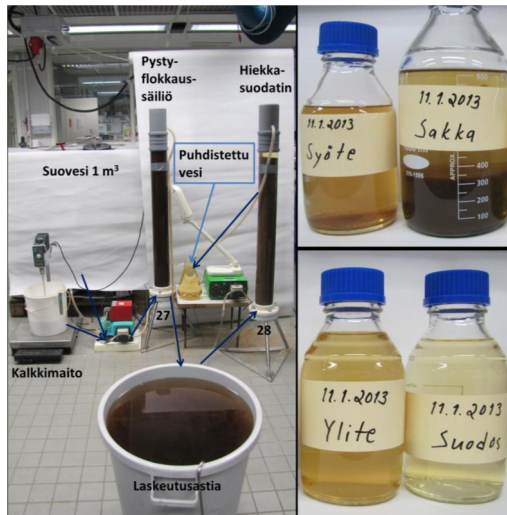


Kuva 7. Saostus- ja selkeytyskokeiden laboratoriomittan flokkulaattori koelaitteisto.

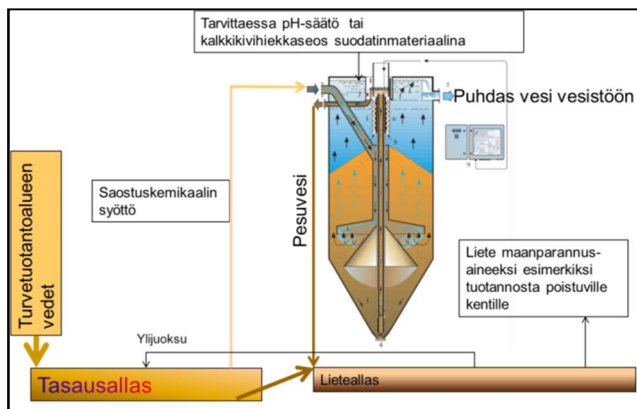


Kuva 8. Kaijansuon veden hiekkasuodatusta tehostettuna savi- ja kipsihiukkasilla.

Kolonnit täytettiin raekooltaan erilaisilla hiekoilla tai hiekoilla, joihin oli sekoitettu adsorpoivia lisäaineita. Vettä syötettiin kolonniin aluksi ylhäältä alaspäin, mutta pian todettiin, että hiekkapatjan pinta lietty huonosti läpäiseväksi hyvin nopeasti. Sen jälkeen vesi pumpattiin alhaalta ylöspäin, jolloin läpäisy pysyi hyvänä. Koejaksot vaihtelivat välillä 1–5 vrk riippuen puhdistustehosta.



Kuva 9. Jatkuvatoiminen saostus ja hiekkasuodatus.



Kuva 10. Dynaaminen hiekkasuodatin osana humusveden puhdistusprosessia.

4.2 Sorptio- ja saostuskokeiden tulokset vaiheesta 1

4.2.1 Sorptiokokeet

Taulukon 4 tuloksista nähdään, että monella lisäaineella saadaan yli 50 % reduktiot (vihreä väri). Keljonlahden lentotuhka ja Kuokkalan savi ovat hienojakoisia ja niiden kulkeutuminen puhdistettuun veteen aiheuttaa kiintoaineen lisääntymisen. Puuturvetuhkalla ja koivutuhkalla reduktiot olivat hyviä, mutta haittana oli pH:n nousu tasolle 10–12. Järvimalmilla reduktiot olivat hyviä, mutta saatavuus on huono. Kaoliinilla reduktiot ovat jonkin aikaa hyvät, mutta sen teho hiipuu nopeasti. Savet aiheuttavat sameutta, joka näkyy analyyseissä korkeana haihdutusjäännöksenä. Osa lupaavimmista lisäaineista valittiin jatkokokeisiin isompaan kolonniin, jonka tuloksia on taulukossa 5.

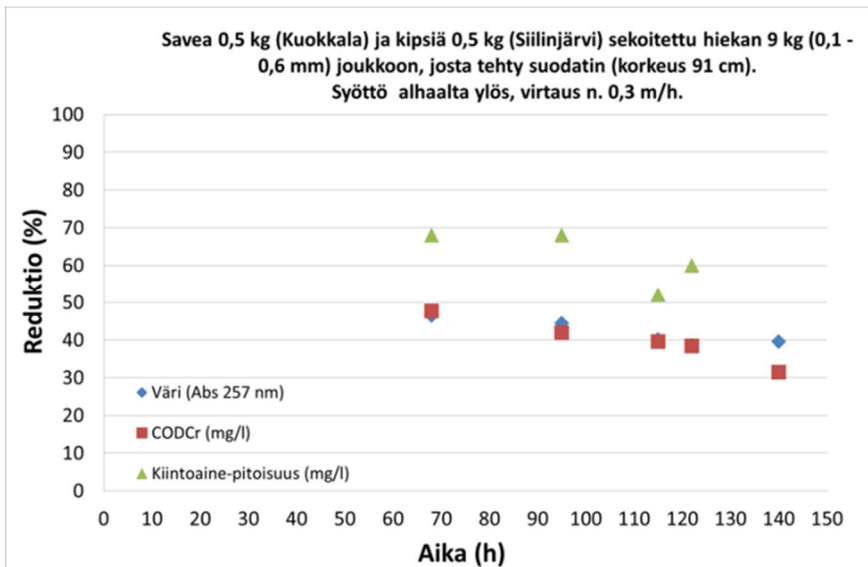
Taulukosta 5 nähdään, että Siilinjärven kipsi poistaa melko hyvin väriä ja COD:ta, mutta kiintoaine lisääntyy ja myös sulfaattia liukenee suodokseen. Kaipolan lentotuhka toimii hyvin värin ja COD:n poistajana. Ongelmallisena pidettiin tuhkasta liukenevia metalleja. Kaoliini toimi erittäin hyvin lyhyen ajan kokeessa, mutta se menetti adsorptiokykynsä muutamassa tunnissa. Jonkinasteinen haitta on hyvin hienojakoisen kaoliinin joutuminen suodokseen, jossa se lisää kiintoainepitoisuutta. Kuokkalan saven ja Siilinjärven kipsin yhdistelmä näyttää toimivan tässä koesarjassa parhaiten. Tästä yhdistelmästä on pitemmän kokeen reduktioita esitetty kuvassa 11. Reduktiot pienenevät hieman viikon koeajoissa. Haittapuolia ovat suodosveteen tuleva sulfaattipitoisuus, fosfori ja hienojakoinen savi.

Taulukko 4. Kaijansuon vedellä pienessä kolonnissa saatuja reduktioita eri sorptiomateriaaleilla, kun Kaijansuon veden väri alussa oli 1,69–2,23 (Abs 257 nm), COD_{Cr} oli 111–207 mg/l ja kiintoainepitoisuus oli 22–54,5 mg/l. Hiekan määrä kolonnissa oli 300 g. Tulokset ovat vaiheen 1 kokeista.

Materiaali	Määrä (g) hiekan seassa	Värireduktio (%)	COD _{Cr} -reduktio (%)	Kiintoainereduktio (%)
Puuturvetuhka	10	68	75	86
Koivutuhka	20	81	100	73
Keljonlahden lentotuhka	20	78	80	-489
Kaipolan lentotuhka	5	71	73	97
Leppäveden järvimalmi	20	62	65	86
Turveruukin järvimalmi	50	18	55	22
Siilinjärven biotiitti	10	19	41	77
Siilinjärven kipsi	20	55	66	83
Kaoliini "kivi"	50	79	83	86
Kaijansuon savinäyte	50	19	51	16
Hankasalmen savinäyte	100	62	57	66
Kuokkalan savinäyte	100	60	59	-767
Kaijansuon savi ja kipsi	30 ja 15	64	75	58
Kuokkalan savi ja kipsi	20 ja 10	79	79	36
Kuokkalan savi ja kipsi	30 ja 15	76	80	89
Alumiinisulfaatti	10	90	91	94
Ferrisulfaatti	10	52	91	17

Taulukko 5. Ison kolonnin koetuloksia vaiheesta 1.

Materiaali	Määrä (kg) hiekan seassa	Kokeen kesto (h)	pH (-)	Väri (Abs 257 nm)	COD _{Cr} (mg/l)	Kiintoaine (mg/l)
Siilinjärven kipsi	0,5	5	6,0	0,618	71	287
Kaipolan lentotuhka	0,167	5	10,7	0,313	43	n.a.
Kaoliini "kivi"	0,5	1	5,5	0,000	16	12
Kuokkalan savi ja Siilinjärven kipsi	savi 0,5 kipsi 0,5	20	6,2	0,331	19	2,8



Kuva 11. Kaijansuon veden hiekkasuodatuksen reduktioita, kun hiekkaan oli sekoitettu savea ja kipsiä. Virtausnopeus oli kolonnissa 0.3 m/h.

4.2.2 Saostuskokeet

Saostuskemikaalin määrän pienentäminen tai väri- ja COD_{Cr}-reduktion parantaminen saven avulla ei onnistunut flokkulaattorissa ja kolonneissa tehtyissä kokeissa. Myös veden pH pysyi samana (3,1–3,2). Ferrisulfaatin minimiannostaso vaadittavien reduktioiden saavuttamiseksi oli 9 mg/l Fe³⁺ eli 38 mg/l Fe₂(SO₄)₃ eli 80 mg/l PIX-105 tuotetta. Saven avulla flokkien laskeutumisnopeus paranee 10 minuutista 4 minuuttiin ja flokit pysyivät paremmin laskeutuneena.

Seuraavana tutkittiin kalkkikivipohjaisia tuotteita, jotka eivät happamoita suodosta kuten sulfaatit. Kuvassa 12 on tuloksia kalkkimaidolla (10 % sammutetun kalkin liuos) saaduista reduktioista. Siinä havaitaan, että kiintoaine lisääntyy merkittävästi annostuksella, jossa väri- ja COD-reduktiot ovat jo yli 50 %. Kiintoainepitoisuutta lisäävät pienet flokit voidaan poistaa pidentämällä laskeutusaikaa tai suodattamalla pintavalutuskentällä. Näissä kokeissa haitallista oli, että pH nousi tasolle 12.

Kalsiumhydroksidi on vahva emäs, joten tarvitaan melko paljon humusvettä ennen kuin suodosveden ja vastaanottavan veden yhdistetty veden pH on neutraalilla alueella. Sammutetulla kalkilla puhdistetun veden pH on noin 12, jolloin siihen täytyy lisätä

- 20-kertainen määrä Kaijansuon vettä, että sekoitetun veden pH on alle 9
- 40-kertainen määrä Kaijansuon vettä, että sekoitetun veden pH on alle 8 ja

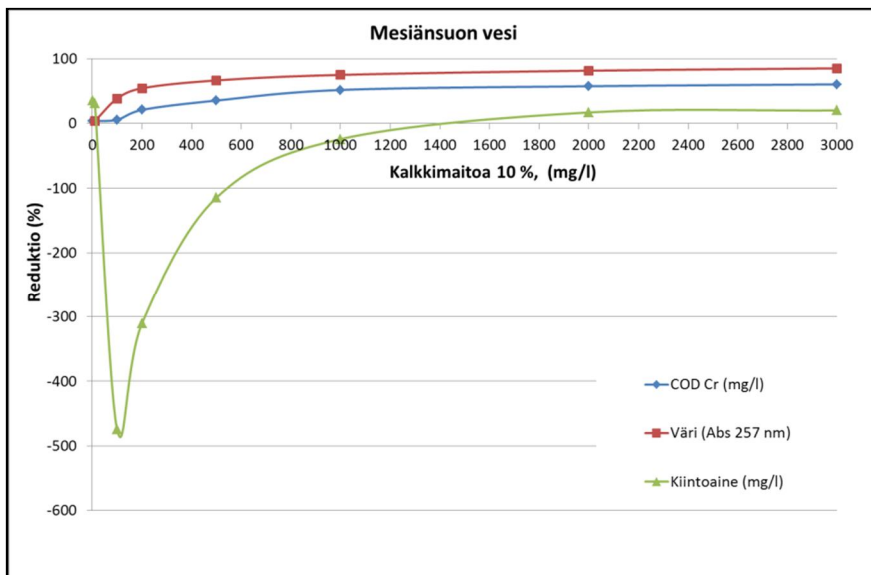
- 70-kertainen määrä Kaijansuon vettä, että sekoitetun veden pH on alle 7.

Jatkuvatoimista kalsiumhydroksidisäostusta testattiin myös isommassa mittakaavassa käyttäen 1 m korkuisia kolonneja. Näistä kokeista voidaan todeta, että suodoksen väri- ja COD-reduktiot pysyvät kohtuullisella tasolla ainakin vuorokauden koejakson. Kiintoainetta lisäävää sameutta kulkeutuu kuitenkin suodokseen.

Laboratorimitassa kokeiltiin vielä pH:n tasaamista suodattamalla rautasulfaattilla saostettua ja selkeytettyä vettä, jonka pH oli 3,2 kalkkivihiekän läpi. Tässä kokeessa pH nousi 5,2:een.

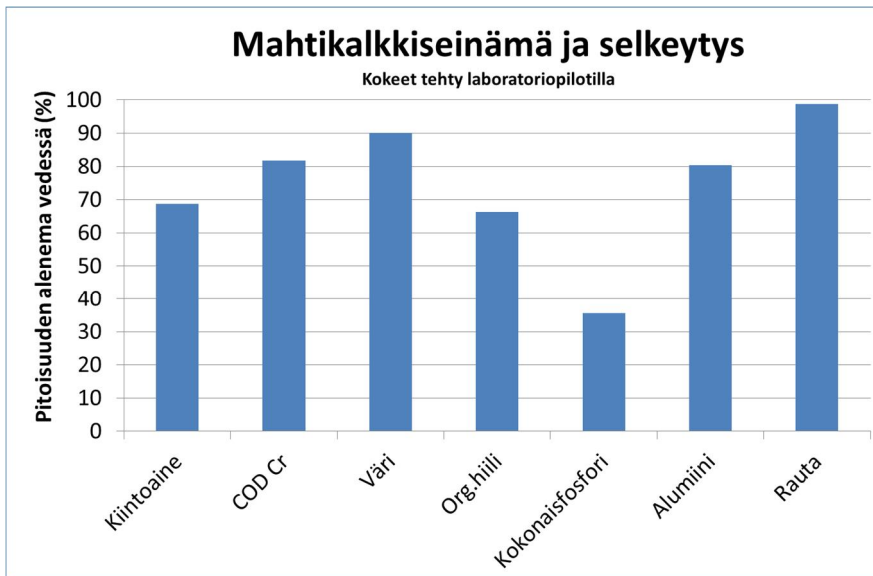
Laboratoriossa testattiin kationisia, anionisia ja nonionisia polymeerejä. Polymeereillä saadaan flokit kasvamaan isoiksi, jolloin ne laskeutuvat nopeasti ja pysyvät paremmin laskeutuneina. Mikään testatuista polymeereistä ei yksin poista väriä eikä muuta veden pH:ta.

Pilot-mitassa tutkittiin humusveden syöttämistä Mahtikalkkipatjan läpi ylhäältäpäin ja patjan puhdistamista ajoittain paineilmalla. Syöttö ylhäältä ei liettymisen takia toimi.



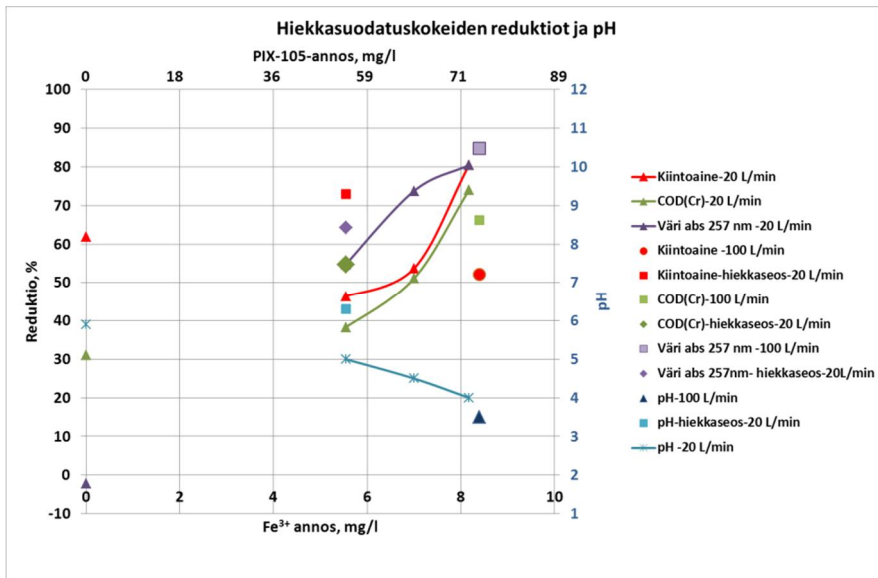
Kuva 12. Kaijansuon veden saostusta sammutetulla kalkilla, josta oli tehty 10 % kalkkimaitoliuos.

Toinen kokeiltu menetelmä oli syöttää humusvettä Mahtikalkkikerroksen läpi alhaaltapäin ja saada humus sakkautumaan selkeytysaltaassa. Mahtikalkkiseinämillä reduktiot olivat hyviä (Kuva 13).



Kuva 13. Mahtikalkkiseinäjäällä ja sitä seuraavalla seuraavalla laskeutuksella saatuja Kaijansuon veden reduktioita.

Kolmas pilotoitu menetelmä oli kaupallinen hiekkasuodatus, jossa hiekkaa puhdistetaan jatkuvasti ja suodattimeen voidaan lisätä mm. kalkkikivihiekkaa normaalin suodatinhiekan tilalle. Syötettävään veteen voidaan sekoittaa saostuskemikaalia ja siten poistaa liuenneita aineita. Kuvassa 14 esitetään tuloksia kokeista. Suodatusta tehtiin ilman rautasulfaattia (annos 0 mg/l), kolmella eri annostasolla ja kahdella virtausnopeudella (20 ja 100 l/min). Suodattimena oli kvartsihiekkaa tai hiekkaa, johon oli sekoitettuna 1/3-osa kalkkikivihiekkaa (hiekkaseos). Hiekkaseosta käytettäessä väri-, COD-, ja kiintoainereduktiot olivat 55–75 % jo 5,5 mg/l Fe^{3+} annostuksella. Annostus oli noin 40 % pienempi, kuin laboratoriokeissa käytössä olevalla kemikalointimenetelmällä (sekoitus ja laskeutus) saatu samaan reduktioon tarvittava annos. Kalkkikiven ansiosta suodoksen pH oli 6,3.



Kuva 14. Yhteenveto Dynasand-pilotlaitteistolla tehtyjen hiekkasuodatuskokeissa saavutetuista reduktioista ja pH-arvoista.

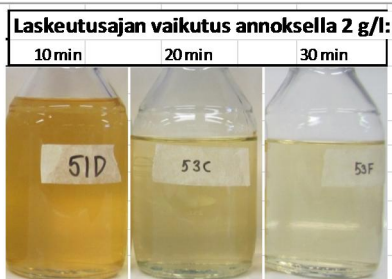
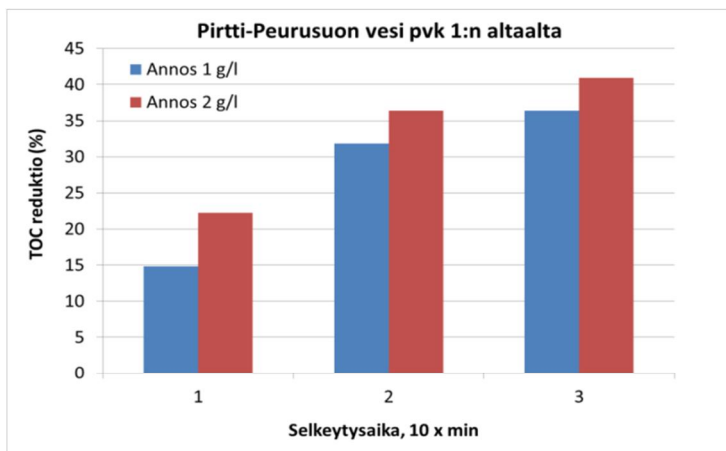
4.3 Sorptiokokeiden tulokset vaiheesta 2

Toisessa vaiheessa tehtiin erilaisia sorptioaineiden/hiekkasuodattimen variaatioita (Pirkonen et al. 2014; ks. luku 11). Näissä kokeissa tehtiin eriaineksista kerroksia toisinkuin vaiheessa 1, jossa materiaalit sekoitettiin keskenään. Lisäksi täydentäviä kokeita tehtiin vaiheessa 1 tutkimattomilla materiaaleilla ja niiden yhdistelmillä.

4.3.1 Saostusajan vaikutus reduktioihin

Vaiheen 1 saostuskokeissa käytettiin 5 minuutin selkeytysaikaa kaikissa laboratorioskokeissa. Toisen vaiheen aluksi tutkittiin selkeytysajan vaikutus reduktioihin kahdella sorptioaineen annostuksella. Selkeytysajan pidentäminen selkeästi paransi TOC-reduktiota (Kuva 15).

Selkeytysajan vaikutus TOC:n reduktioon PCC-kalkin (Äänekoski) kahdella annostuksella sekä visuaalinen kuva laskeutusajan vaikutuksesta veden väriin.



Kuva 15. Selkeytysajan vaikutus TOC:n reduktioon.

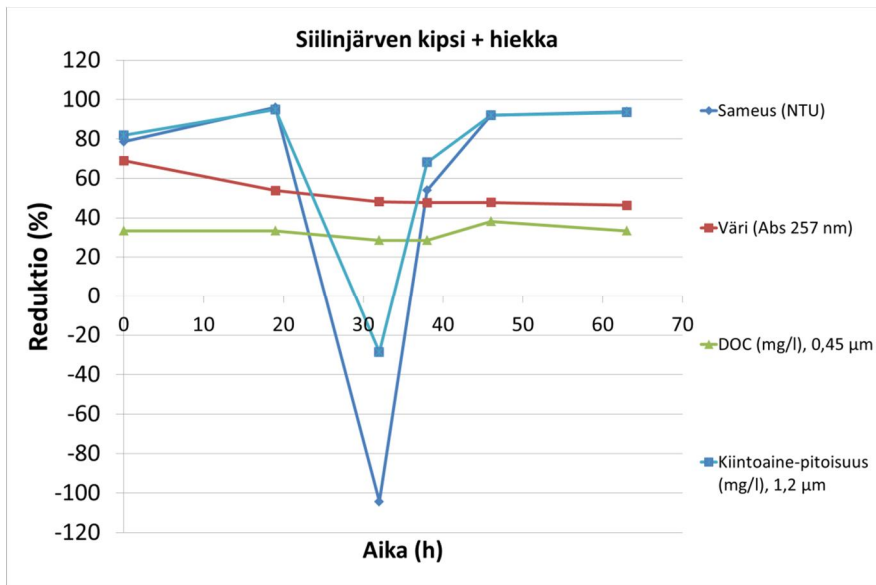
4.3.2 Sorptioaineiden ja hiekan sekoitteet

Kipsi lannoitetuotannosta

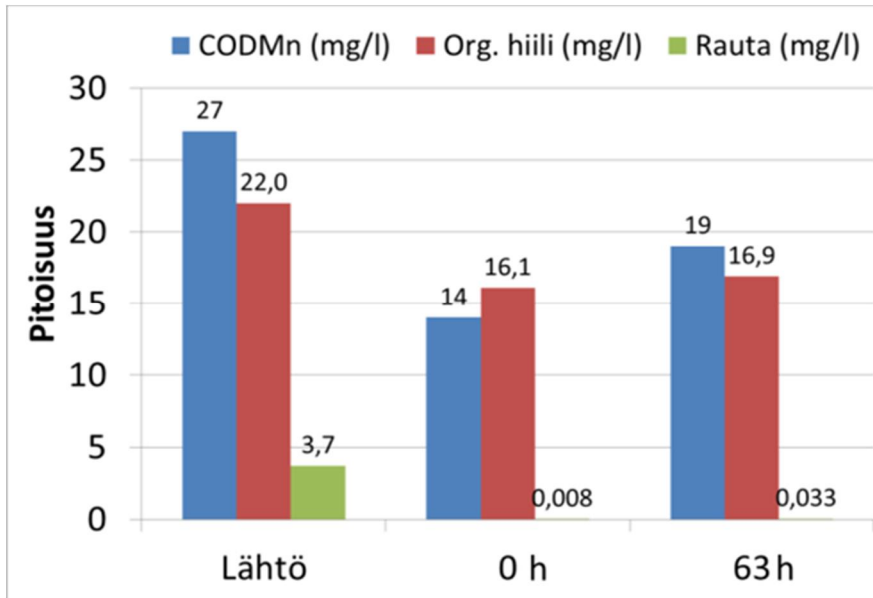
Kalsiumpitoiset aineet voivat vähentää veden fosfaattipitoisuutta muodostamalla kalsiumfosfaattia. Kun kipsiä ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) levitetään maahan, sen on todettu parantavan maan rakennetta ja sitovan liukoista fosforia. Kipsi toimii myös lietenässä fosforin sakkaajana.

Orgaanisen aineen reductiot (COD_{Mn} , TOC, DOC) eivät olleet aivan tavoitetasolla (Kuvat 16 ja 17). Kiintoaine-, sameus- ja värireduktiot olivat korkeita (Kuva 16). Kuvassa 16 näkyvä kiintoainereduktion romahdus n. 30 h kohdalla johtui siitä, että kolonnia sekoitettiin paineilmalla ennen näytteenottoa. Fosforin ja sulfaatin pitoisuudet lisääntyivät, koska apatiitti on fosforimineraali (Kuva 18). Typpiyhdisteiden pitoisuudet eivät juuri muuttuneet (Kuva 18). Veden pH oli noin 7. Kokeissa virtausnopeus oli n. 0,9 l/h ja viipymä n. 2 h. Kipsin ja humusveden suhde oli suuri, n. 19 kg/m^3 , mutta kipsin toiminta ei ollut vielä loppunut. Kuvissa 17 ja 18 "Lähtö" tarkoittaa kolonniin syötettävää vettä ja "0 h" tarkoittaa suodossnäytettä, jonka kerääminen on aloitettu heti kun kolon-

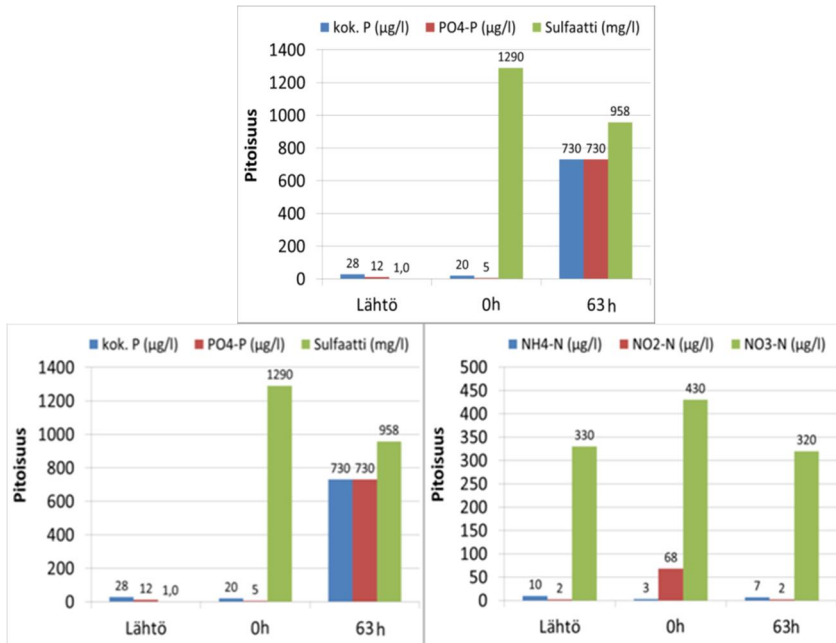
nista alkaa tulla suodosta. Vastaavasti "63 h" tarkoittaa suodosta, jonka kerääminen on aloitettu, kun suodosta on tullut 63 h.



Kuva 16. Pitoisuusreduktiot apatiittikaivoksen kipsin kolonnisuodatuksessa.



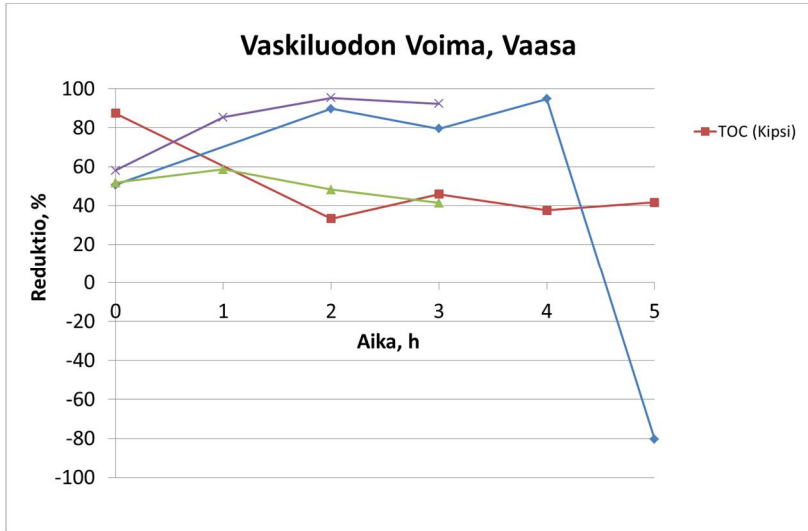
Kuva 17. COD:n, orgaanisen hiilen ja raudan pitoisuus kipsi-hiekkayhdistelmän kolonnisuodatuksen edistyessä.



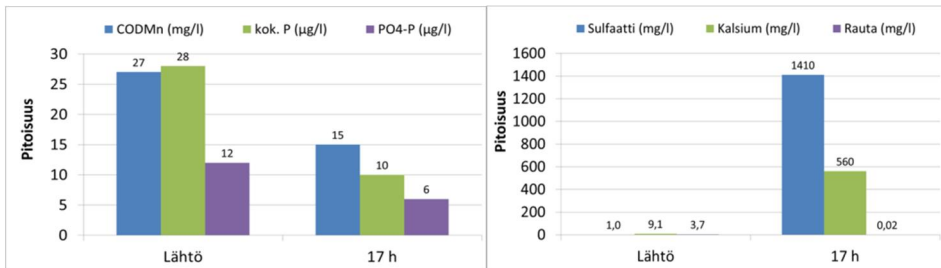
Kuva 18. Eri kemikaalien pitoisuuksien muutos kolonnisuodatuksen edistyessä.

Rikinpoistokipsi

Rikinpoistokipsistä oli 98 m-%i $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ eikä se sisällä fosforia, kuten Siilinjärven kipsi. Kipsilaatuja oli kaksi, joiden molempien raekoko oli 0,5–1,2 mm ja pH 7.1. Toinen menee levyteollisuuden raaka-aineeksi ja toinen oli jätettä. Kipsi sekoitettiin humusveteen annostuksilla 1 ja 5 g/l. Saostus ja flokkaus tehtiin kipsillä, jonka jälkeen laskeutus ja suodatus tehtiin kalkkikivipatjan läpi. Partikkelikoko oli patjassa 0,5–1,5 mm. Virtaus kolonnin läpi oli n. 0,2 l/min. Reduktiot olivat hyviä (Kuva 19), mutta ongelmaksi muodostui korkea sulfaattipitoisuus (1400 mg/l) (Kuva 20). Kuvassa 19 tapahtuva kiintoainereduktion romahdus 4 tunnin kohdalla johtui siitä, että veden virtaus kolonnin läpi kaksinkertaistettiin, minkä seurauksena kiintoainetta pääsi kalkkikivipatjan läpi.



Kuva 19. Rikinpoistokipsillä saavutetut TOC:n ja kiintoainepitoisuuden reduktiot kolonnisuodatuksessa.

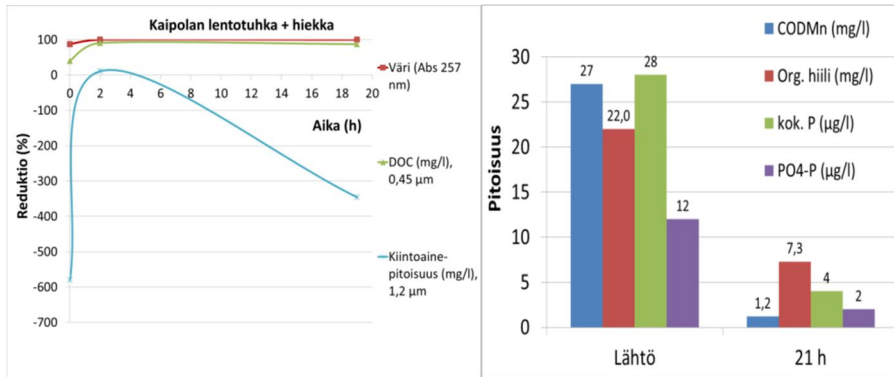


Kuva 20. Rikinpoistokipsillä (jäte) saavutetut humusveden ominaisuuksien muutokset kolonnisuodatuksessa. Lähtö tarkoittaa syötteen pitoisuuksia.

Lentotuhka metsäteollisuudesta

Lentotuhkan ja hiekan patjasuodatuksessa saatiin hyvät reduktiot (Kuva 21), mutta veden pH oli korkea (11–12). Metallipitoisuudet (Al, Fe, Cr) eivät kuitenkaan olleet korkeita (Taulukko 6). Kolmen kerroksen seoksessa oli 2 kg hiekkaa ja 0,5 kg tuhkaa (yhden kerroksen korkeus 36 cm) ja ylimmässä kerroksessa 1 kg hiekkaa (39 cm). Syöttö tehtiin alhaalta ylös. Tuhkan toiminta ei hiipunut kokeen aikana.

Ongelmana oli hienojakoisen tuhkan kiintoaineen karkaaminen hiekkapatjasta ja veden korkea pH.

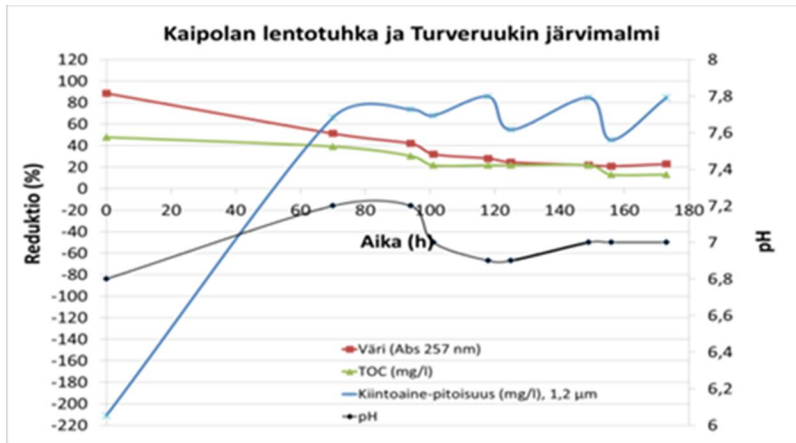


Kuva 21. Eri aineiden reductiot hiekan+Kaipolan lentotuhkan patjasuodatuksessa.

Taulukko 6. Veden happamuuden, typen, sulfaatin ja metallien (Ca, Fe, Al ja Cr) ominaisuuksien muutos Kaipolan tuhkan+hiekan patjasuodatuksessa.

	pH	NH ₄ -N (µg/l)	NO ₂ -N (µg/l)	NO ₃ -N (µg/l)	Sulfaatti (mg/l)	Kalsium (mg/l)	Rauta (mg/l)	Alumiini (µg/l)	Kromi (µg/l)
Lähtö	6,1	10	2	330	1,0	9,1	3,7		
21 h	11,6 - 11,9	70	11	360	4,0	620	0,005	120	10

Kaipolan lentotuhkan + järvimalmin (Turveruukki Oy) yhdistelmää kokeiltiin kolonnisuodatuksessa (Kuva 22). Materiaalien yhteiskulutus oli 4,5 kg/m³ ja pH pysyi neutraalilla alueella. Patjassa oli ensin tuhka/hiekka-seos (0,1 kg/1,5 kg), jonka jälkeen järvimalmi/hiekka-seos (0,5 kg/1,5 kg). Hiekan raekoko oli 0,9–1,2 mm virtaus 0,8 l/h. Tuhka nosti kiintoainepitoisuutta ja reductiot putosivat nopeasti alhaiselle tasolle.



Kuva 22. Väriin, TOC:n, kiintoainepitoisuuden reduktion ja pH muutos Kaipolan tuhkan+järvimalmin patjasuodatuksessa.

Rahkasammal

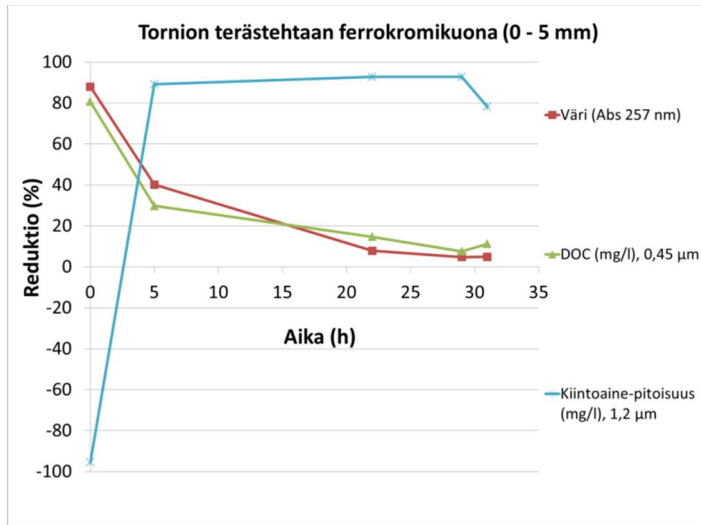
Rahkasammalta kokeiltiin yksin ja sekoitettuna sekä kuivana että elävänä kosteana adsorptioaineiden saven ja bentoniitin sekaan, mutta reduktiot olivat huonot. Tavoitteena oli sitoa hienojakoinen epäorgaaninen aines sammaleeseen sekä pidättää metalleja humusvedestä. Orgaanista ainetta liukeni lisää ja hienojakoinen materiaali meni patjasuotimesta läpi.

4.3.3 Terästehtaan kuona ja nikkeli-kaivoksen sivukivi

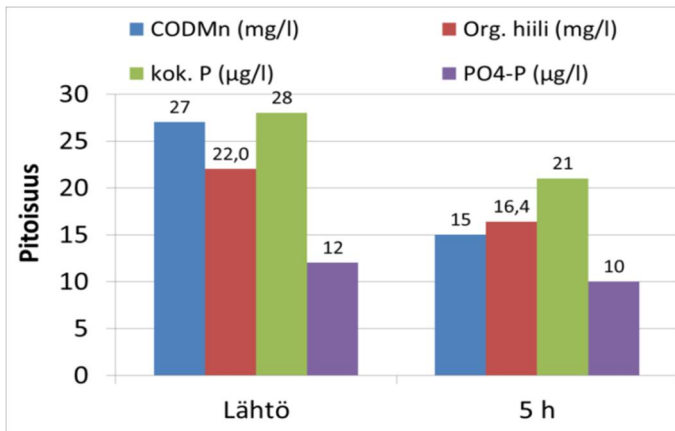
Näissä kokeissa ei tarvittu hiekkaa pidättämään hienojakoisia aineksia patjassa.

Ferrokromikuona

Ferrokromikuonan tyypillinen koostumus oli SiO_2 30 %, Al_2O_3 26 %, MgO 23 %, CaO 2 %, Cr 8 %, Fe 4 %. Erotusmekanismeina oletettiin olevan saostus metalleilla ja mekaaninen tarttuminen patjan partikkelikerrokseen. Kuonan OKTO-murskeella (0–5 mm) veden pH jäi alle 9. Ilman suodatinkerroksen regenerointia kuonan kulutus oli suuri, jopa 133 kg/m^3 vettä ilman pesua ja regenerointia. Reduktiot olivat pieniä. Kiintoaine sen sijaan pidättyi hyvin (Kuva 23). Ilman regenerointia muiden aineiden reduktiot putosivat nopeasti (Kuva 24). Pitoisuudet vastaavasti nousivat viiden tunnin kohdalla noin puoleen lähtötilanteeseen verrattuna. Raudan ja kromin pitoisuus ei ollut vedessä kovin korkea.



Kuva 23. Okto-murskeen vaikutus värin, DOC:n ja kiintoainepitoisuuden reduktioihin kolonnisuodatuksessa.



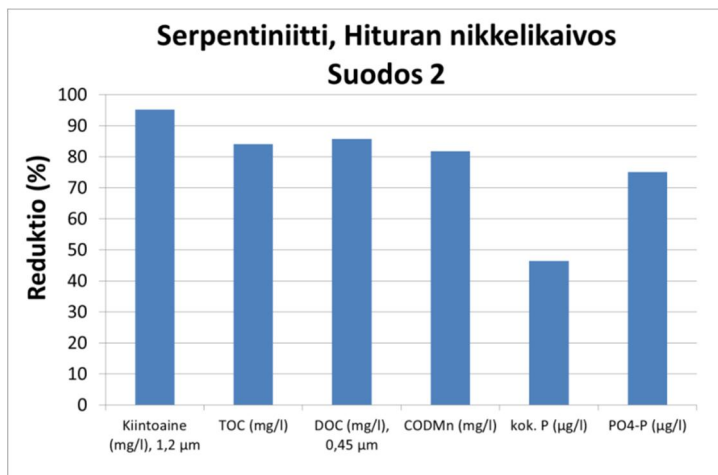
Kuva 24. Okto-murskeen vaikutus värin, COD:n, orgaanisen hiilen ja fosforin pitoisuuksiin kolonnisuodatuksessa.

Serpentiniitti

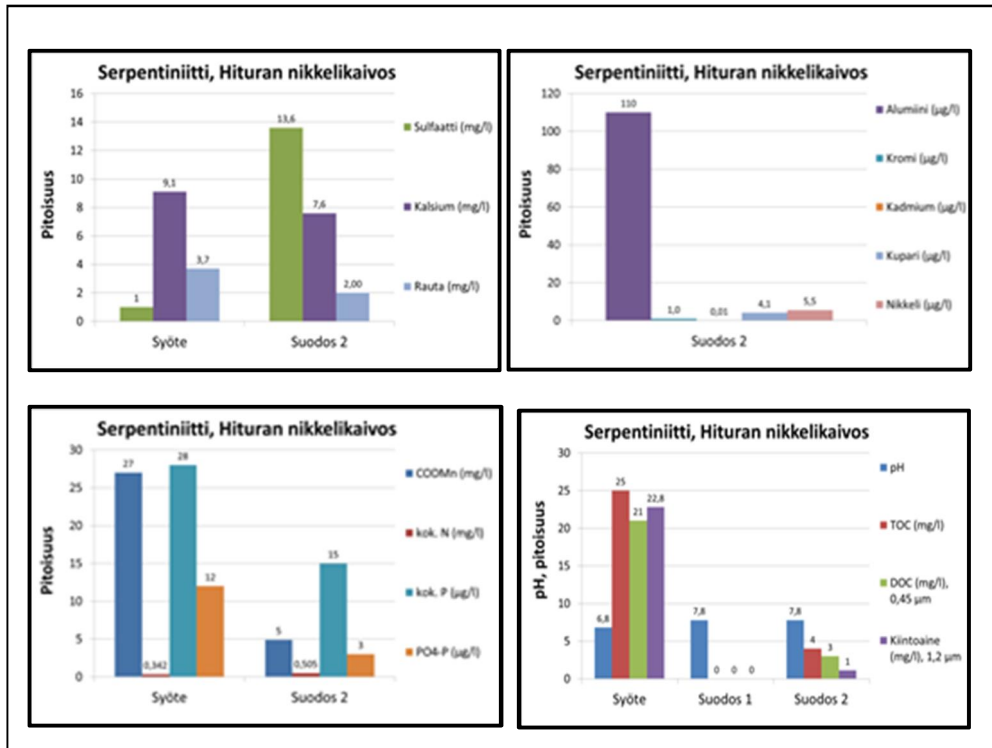
Serpentiniitti oli Nivalan nikkelikaivoksen sivukiveä, joka luokitellaan tavanomaisesti jätteeksi. Serpentiniitti sisältää erityisesti kromia. Vaikutusmekanismin oletettiin olevan metallisaostus ja sorptio erotusmassaan.

Pikkukolonnikokeissa (kolonnin korkeus 30 cm) käytettiin viipymiä 40 min ja 3 h (suodos 1 on viipymä 3 h ja suodos 2 on viipymä 40 min). Isommat kuin 8 mm partikkelit oli poistettu sorptiomassasta. Kiintoainereduktio oli 90–100 %, TOC/DOC-redukzio 80–100 % ja fosforiredukzio 45–75 % (Kuva 25). Typeä ei poistunut. Metallien (rauta, alumiini, kromi, kadmium, kupari ja nikkeli) pitoisuudet suodoksessa olivat alhaisia. Sulfaatin määrä kasvaa, mutta pitoisuus on melko alhainen (~ 14 mg/l) (Kuva 26). Käsittelyn jälkeen veden pH on lähellä neutraalia (pH 7–8).

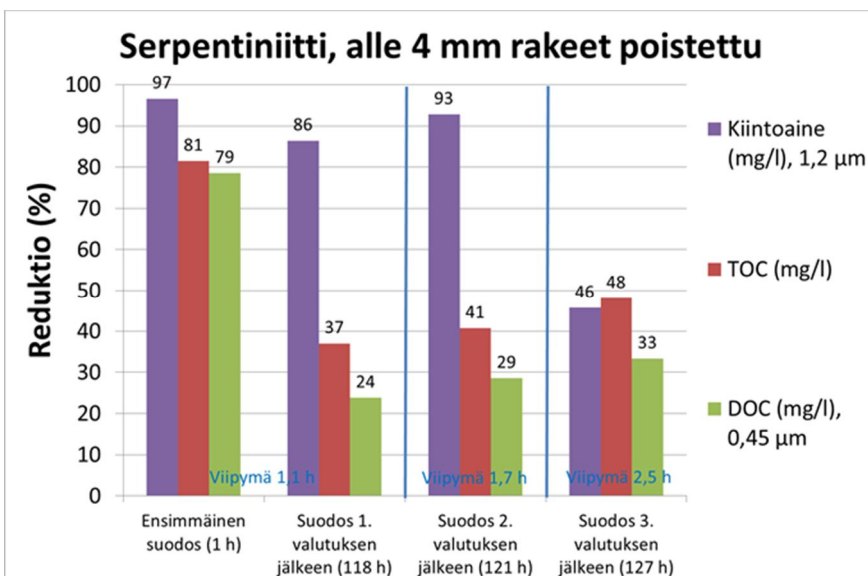
Ison kolonnin kokeessa (kolonnin korkeus 1 m) serpentiniittimurskeesta otettiin alle 4 mm partikkelit pois. Reduktiot olivat alussa alussa hyvät. Kolonnin pesukokeissa regenerointi ei täysin onnistunut, vaikka veden poistuminen kolonnista valuttamalla oli melko nopeaa (15 s) (Kuva 27). Kuitenkin serpentiniitti valittiin kenttäkokeisiin sorptiomateriaaliksi, koska se ei näyttäisi aiheuttavan ongelmia puhdistettuun veteen.



Kuva 25. Serpentiniitillä saatuja reduktioita kolonnisuodatuksessa.



Kuva 26. Kolonnisuodatuksen tuloksia serpentiniitillä.



Kuva 27. Kolonnin pesun (regenerointi) vaikutus reduktioihin.

4.4 Yhteenveto laboratoriossa tehdyistä sorptio- ja saostuskokeista

Adsorptiolla maamineraalien (kuten savet) tai muiden sorptioaineiden (kuten tuhkat, kipsit ja kuonat) avulla voidaan poistaa humusta ja väriä. Adsorptiomateriaali on kuitenkin käytännössä regeneroitava, koska testattujen materiaalien orgaanisen hiilen adsorptiokapasiteetit olivat noin 1–20 g/kg.

Tuhka:

- Hyvät reduktiot, mutta veden pH on korkea (11–12), ei kuitenkaan ole korkeita metallipitoisuuksia (Al, Fe, Cr). Joissain kokeissa alumiinin määrä liissääntyi tasolle 6–11 mg/l.
- Yhdistelmien (rahkasammal tai esim. järvimalmi) avulla pH saadaan alemmaksi, mutta reduktiot ovat huonoja.

Ferrokromikuona:

- OKTO-murskeella (0–5 mm) veden pH jää alle 9. Kuonan kulutus on suuri. Raudan ja kromin pitoisuus ei näyttäisi olevan kovin korkea.

Siilinjärven kipsi:

- Orgaanisen aineen reduktiot (COD_{Mn} , TOC, DOC) eivät aivan tavoitetasolla. Fosforin ja sulfaatin pitoisuus lisääntyy, kaivos on apatiittikaivos ja apatiitti on fosforimineraali. Veden pH noin 7.

Rikinpoistokipsi:

- Poistaa kiintoainetta, orgaanista ainesta ja fosforia. Käsittelyn jälkeen veden pH on neutraali.
- Tarvittava minimiannostaso on n. $1\text{--}2 \text{ kg/m}^3$, jolloin kiintoainereduktio 80–90 %, TOC-reduktio 30–50 %, Fosforireduktio 50–70 %.
- Sulfaatin määrä vedessä on korkea: kipsiannoksella n. 2 g/l sulfaattipitoisuus 580 mg/l ja kipsiannoksella n. 5 g/l sulfaattipitoisuus 1400 mg/l.

Serpentiniitti:

- Poistaa kiintoainetta ja orgaanista ainesta: Kiintoainereduktio 90–100 %, TOC / DOC -reduktio 80–100 %, fosforireduktio 45–75 %. Typeä ei poistu.
- Metallien (rauta, alumiini, kromi, kadmium, kupari ja nikkeli) pitoisuudet suodoksessa ovat alhaisia.
- Sulfaatin määrä kasvaa, mutta pitoisuus on melko alhainen (~ 14 mg/l).
- Käsittelyn jälkeen veden pH on lähellä neutraalia (pH 7–8).

Reduktioiden pitäminen korkealla tasolla ja patjan tukkeutumisen ehkäisy edellyttää patjan regenerointia ja materiaalin lisäämistä jossain määrin.

5. Mikrobiologinen humuksen poisto

Mikrobiologisen puhdistuksen tarkemmat tulokset on esitetty raporteissa (Marjamaa ja Vikman 2013 ja 2014; ks. luku 11).

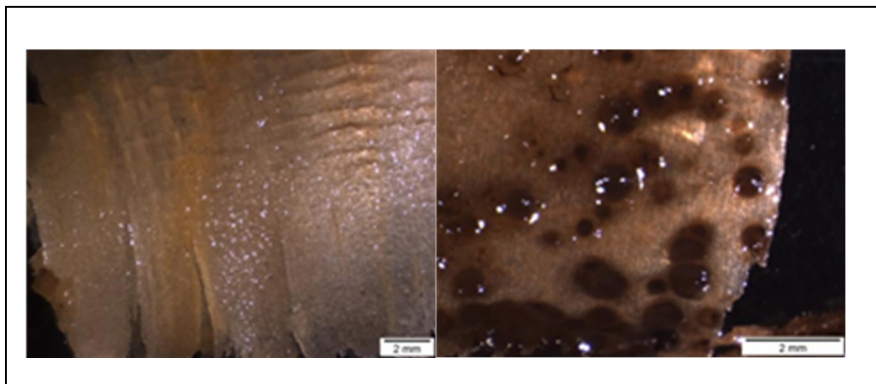
5.1 Mikrobiologiset kokeet

5.1.1 Materiaalit ja menetelmät

Kirjallisuuden perusteella valittiin laboratorikokeisiin sopivat mikrobikannat VTT:n kantakokoelmasta. Ne kuuluvat humusaineita hajottaviin mikrobilajeihin/sukuihin, tuottavat humusaineiden hajotuksessa mahdollisesti toimivia entsyymejä, joilla on mahdollista hajottaa ligniiniä tai muita aromaattisia yhdisteitä. Ne pystyvät kasvaamaan alhaisemmissa lämpötiloissa (kasvuoptimi alle 30 °C). Kannat immobilisoitiin kantaja-aineelle (puulastut). Immobilisoituja viljelmiä testattiin Pirtti-Peurusuon humusveden puhdistuksessa.

5.1.2 Mikrobikokeiden tulokset

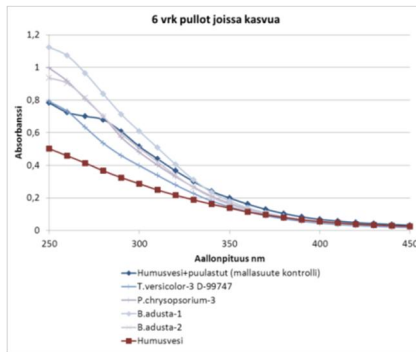
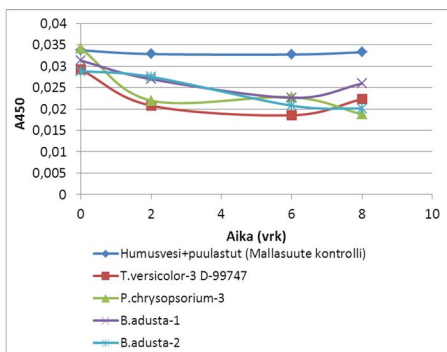
Streptomyces-suvun bakteerit kasvoivat sekä puulastujen pinnoille että liuokseen (Kuva 28). Bakteerit aiheuttivat myös vesiliuoksen tummenemista. Trametes, Phanerochaeta ja Bjerkandera-sienten kasvu oli vaihtelevaa: parhaimmillaan sienet muodostivat voimakkaan kasvuston puulastujen pinnoille, joissain pulloissa taas vain yksittäisiä pesäkkeitä muodostui liuokseen tai kasvua ei juuri ollut.



Kuva 28. Puulastut – ei kasvustoa (a), *Streptomyces phaeochromogens* bakteereja puulastuilla (b).

Humusveden käsittely *Streptomyces*-kannoilla nosti voimakkaasti veden pH:ta alkuperäisestä n. 4,5:stä jopa kahdeksaan. Sen sijaan veden käsittely *Trametes*-, *Bjerkandera*- ja *Phanerochaeta*-sukujen sienillä ei muuttanut merkittävästi veden pH:ta. Veden absorbanssi kasvoi *Streptomyces*-käsittelyssä kaikilla mitatuilla aallonpituuksilla. Jossain määrin absorbanssin nousua aiheutti ilmeisesti myös *Streptomyces*-kantojen viljelyalustasta peräisin olevat komponentit tai puulastuista alustassa liuenneet yhdisteet.

Pulloissa, joissa sienikasvusto puulastuilla oli voimakasta, veden kirkastuminen oli havaittavissa paljain silmin. Veden absorbanssi laski 450 nm aallonpituudella. UV-aallonpituuksilla (esim. A280) veden absorbanssi tyypillisesti nousi sienikäsittelyissä. Huomioitavaa on, että esimerkiksi proteiinit absorboivat A280, eli absorbanssin nousu voi liittyä esim. humusyhdisteitä pilkkovien entsyymien eritykseen. (Kuva 29, Taulukko 7).



Kuva 29. Bakteerien vaikutus humusveden absorbanssiin.

Humusveden alkuperäiseen COD-pitoisuuteen verrattuna reduktiota ei havaittu. Tämä johtuu testisysteemin (puulastuista liukenevat aineet, mikrobin kasvualustan komponentit) aiheuttamista tekijöistä. COD-reduktiot taulukossa 7 on saatu huomioimalla puulastujen vaikutus. Rinnakkaisissa käsittelyissä oli huomattavien eroja tuloksissa.

Taulukko 7. Väri ja COD reduktio mikrobikäsittelyssä.

Mikrobi	Värireduktio (%)	COD-reduktio (%)*
D-85242T <i>Phanerochaeta chrysosporium</i>	45	14
D-99747 <i>Trametes versicolor</i>	24	43
D-99746 <i>Bjerkandera adusta</i> 1	17	< 0
D-99746 <i>Bjerkandera adusta</i> 2	30	< 0

* Laskettu koeyhteemän taustaan verrattuna (humusvesi + puulastut; ei mikrobia).

5.2 Johtopäätökset mikrobikokeista

Kolme VTT:n kantakokeesta otettua sienikantaa kirkasti humusvettä, jos kasvusto puulastuilla oli riittävä. Absorbanssimittauksen (450) perusteella humusvettä kirkasti parhaiten *P. chrysosporium* (vähenemä 45 %). *Streptomyces* kannat kasvoivat hyvin humusvedessä, mutta humusveden kirkastumista ei havaittu. Voimakas kasvu viittaa siihen, että bakteerit käyttivät hyväkseen veden ravinteita. Puhdistuksen tehon mittaaminen oli haasteellista, koska mitattuihin parametreihin (absorbanssi, COD, N, P) vaikutti moni tekijä (kasvualustan komponentit, puulastuista liuenneet yhdisteet). Jatkokokeissa kannattaisi kokeilla muita kuin lastuja kantaja-aineina ja kantaja-aineista voisi tehdä täytekappalekolonneja.

6. Humusveden konsentrointi mikro- ja ultrasuodatuksella

6.1 Tavoite kalvosuodatuksessa

Turvetuotannon valumavedet sisältävät humushappoja, fulvohappoja sekä humiineja. Nämä yhdisteet sisältävät hyvin erilaisia kemiallisia yhdisteitä, joiden mahdollisia käyttökohteita voisivat olla:

- Liimat
- Gelatoivat aineet,
- Veden puhdistus,
- Smentin lisäaineet
- Absorbentit
- palonestomateriaalit (sisältävät fosforia)
- Antioxidantit
- Side- ja täyteaineet
- Ihonhoitotuotteet
- Lääkeaineet

Ensisijainen tavoite ovat terveystuotteet ja toissijainen tavoite kasvustimulantit/ekologiset tuotteet, jotta prosessointi saataisiin kannattavaksi.

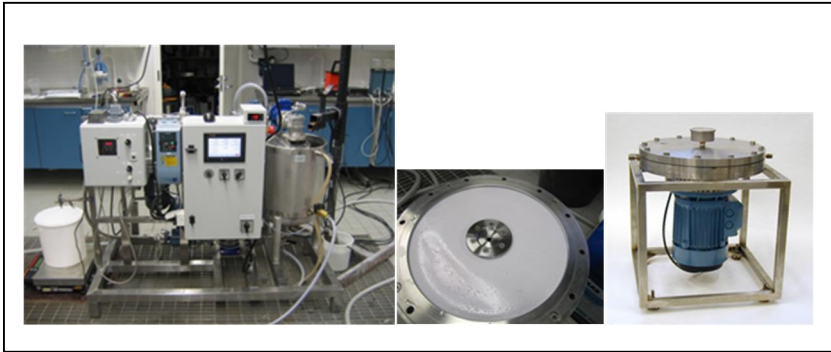
6.2 Menetelmät ja laitteet

Konsentrointi tehtiin CR250-suotimella (Kuva 30) ensin mikro- ja ultrasuodatusalueella viidestoistaosaan ja sitten tehtiin konsentrointi MF-alueella kahdessaosasaa ja jakeet analysoitiin. Konsentroidiin otettu vesi oli peräisin Pirtti-Perurusuon PVK 1:n pumppukaivosta. Ultrasuodatusolosuhteet olivat:

- Microdyn-Nadir UP150
- Polyeetterisulfoni (PES)
- MWCO 150 kDa (n. 0,02 μm)
- Paine-ero n. 0,5 bar, vuo n. 90 l/(m²h)

Mikrosuodatusolosuhteet olivat:

- Microdyn-Nadir MV020
- Polyvinyylidifluoridi (PVDF)
- Huokoskoko 0,2 μm
- Paine-ero 0,5 bar, vuo n. 400 l/(m²h)



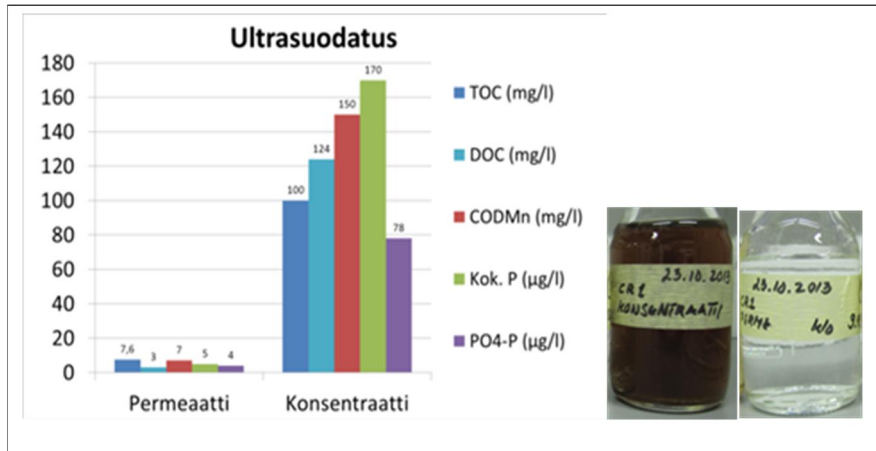
Kuva 30. Konsentroidussa käytetty CR250 - MF/UF kalvosuodatuslaitteisto.

Moolimassat määritettiin size exclusion chromatography (SEC) -menetelmällä yhdessä Waters HPLC menetelmällä 0,1M NaOH liuoksessa käyttäen MCX 1000 & 100000 kolonneja ja UV (280 nm) detektointia. Moolimassajakaumat ja keskimääräiset moolimassat (M_n , M_w) laskettiin vasten Polystyrene sulphonate (Na-PSS) standardeja (1370–130000 g/mol) käyttäen Empower 3 laskentaohjelmaa. M_n on lukukeskimääräinen moolimassa, M_w painokeskimääräinen moolimassa. Ensimmäisessä kokonaisuudessa siis periaatteessa on jaettu ketjujen lukumäärällä, jolloin pienimolekyläristen ketjujen osuus painottuu. M_w :n määrittämisessä painotetaan ketjujen massa-osuudella, jolloin taas suurimolekyläriset ketjut vaikuttavat tähän keskiarvoon enemmän. Yleensä vertailuissa käytetään M_w :tä. PD on M_w/M_n eli kuvaa jakauman leveyttä. Ligniininäytteet liuotettiin 0,1 M NaOH:lla käyttäen suhdetta 1 mg ligniiniä/1 ml liuotinta, ja sen jälkeen suodatettiin (0,45 μm) ennen mittauksia.

6.3 Tulokset konsentroidinokokeista

UF-konsentroidinissa kokonaisfosforista 72 % ja liuenneesta orgaanisesta aineksesta 76 % jäi konsentraattiin (Kuva 31), kun huomioidaan 15-kertainen konsentroidinointi. Luultavasti fosfori on sitoutunut kiintoaineeseen ja humukseen. Konsentraattiin jäi runsaasti

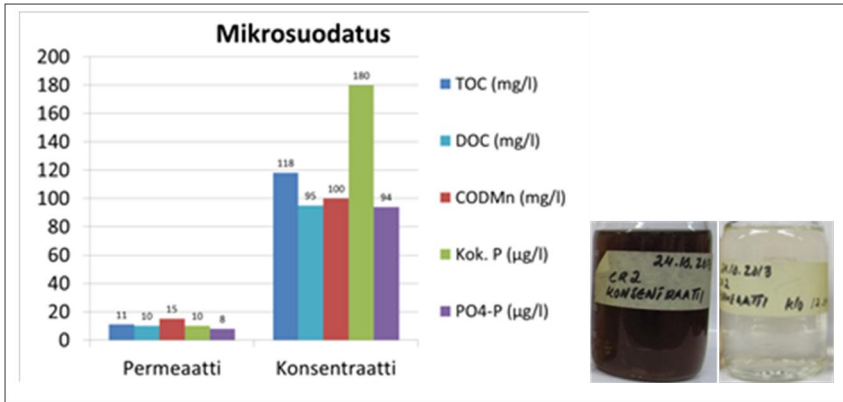
myös kalsiumia ja rautaa sekä jonkin verran rikkiyhdisteitä, mutta typpi meni permeaattiin.



Kuva 31. Turvetuotantoalueen valumaveden 1. konsentrointi ultrasuodatuksella.

Materiaalitaseiden mukaan, kun huomioidaan 15-kertainen konsentroidiaste, mikro-suodatuksessa liuenneesta aineesta noin 64 % ja kokonaisfosforista noin 54 % jäi konsentraattiin (Kuva 32). Fosforin pidäytyminen selittyy sen kiinnittymisestä kiintoaineeseen ja humukseen. Sekä permeaatin että konsentraatin väri tummui suodatuksen edistyessä (Kuva 33). Permeaatin värinmuutos osoitti, että yhä suurempi osa humusaineista meni kalvon läpi. Konsentraatin moolimassajakaumassa näkyy selvästi suunta isompiin molekyyliin (Kuva 34). Taulukkoon 8 on koottu konsentraatin ominaisuuksien muutos suodatuksen edistyessä.

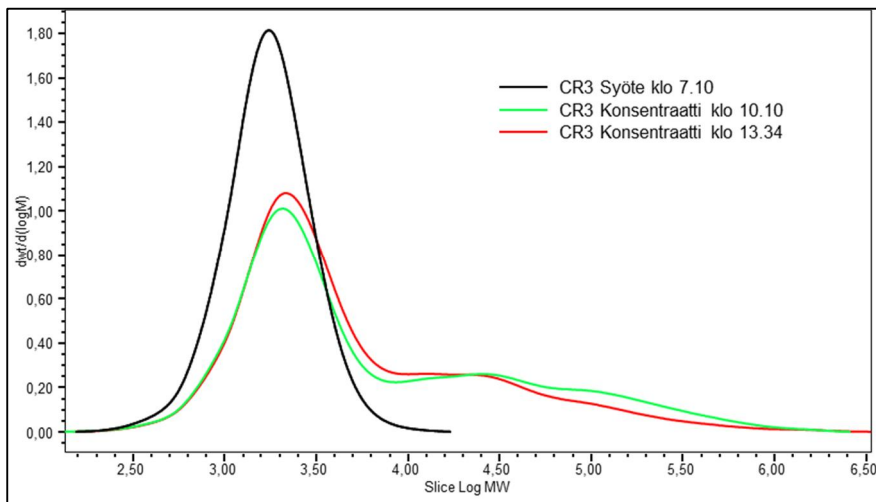
Suodatusvuo oli MF:llä 500 l/(m²h) paineella 0,3 bar ja vuo vastaavasti UF:llä 100 l/(m²h) paineelle 0,8 bar. Näillä kalvosuodatustekniikoilla kiintoaineen, orgaanisen aineen ja fosforin reduktiot olivat >> 50 %, mutta ilman arvoaineiden talteenottoa kalvosuodatus tulee käytännön kannalta liian kalliiksi. 100 ha:n valumavesien käsittelyyn vaadittava kalvosuodatuslaitteisto maksaa 600000 € (Nurminen 2013).



Kuva 32. Turvetuotantoalueen valumaveden 1. konsentrointi mikrosuodatuksella.



Kuva 33. Konsentraatio 1/200 (700 l:sta 3,5 l:aan) tehtiin CR suotimella käyttäen mikrosuodatuskalvoa. Yllä konsentraatti ja alla permeaatti.



Kuva 34. Moolimassajakaumat humusvesikonsentraateille.

Taulukko 8. Mikrosuodatetun humusvesikonsentraatin (pitkä suodatus) ominaisuuksia.

	M_n	M_w	PD	TOC mg/l	DOC mg/l	Kiintoaine- pitoisuus (1,2 μm), mg/l	Kuiva- ainepitoisuus, mg/l
CR3 Syöte klo 7.10.	1500	2000	1,3	25	20	37	120
CR3 Konsent- raatti klo 10.10	2500	41 800	16,7	210	150	416	800
CR3 Konsent- raatti klo 13.34	2500	28 700	11,5	750	520	2318	3021

Vaikuttaa siltä, että humusvesissä, erityisesti konsentraateissa (mikrosuodatettu) on paljon humiinia, joka ei ole vesiliukoista eikä myöskään liukene alkaliin (0,1M NaOH). Tämä materiaali ei välttämättä toimi hyvin metallien sitojana. Moolimassa-analyysi kertoi, että erityisesti konsentraateista alkaliin liennut materiaali oli hyvin suuri moolimassaista. Varaustitraus indikoi, ettei humusmateriaalissa olisi lainkaan COOH ryhmiä, ja ainoastaan vähän fenolisia –OH-ryhmiä. Suuri osa näytteestä ei liennut titrauksen alussa. Taulukon 8 mukaan kelatoitiin ja ylipäättänsä sorptioon sopivasta humusmateriaalista päätyi noin 85 % permeaattiin ja kiintoaineestakin 57 %, kun huomioidaan 200-kertainen konsentroidintaste. Kiintoainemääritys tehtiin 1,2 μm :n suotimella, mutta mikrosuotimen nimellishuokoskoko on 0,2 μm , joten osa kiintoaineesta voi olla jauhaantunut pitkässä konsentroidinnissa alle määrityskoon aiheuttaen liian ison kiinto-

ainehävikin konsentraattiin. CR-suotimessa kalvokammiossa oleva kalvojen likaantumista ehkäisevä siipi pyörii suurella nopeudella. Konsentroidiasteen nosto lisäsi huomattavasti liuennan aineen kulkeutumista kalvon läpi permeaattiin, mikä voi myös osittain johtua kiintoaineen jauhautumisesta. Liuennan aineen määrittäminen tehtiin 0,45 µm:n suotimen filtraatista.

6.4 Johtopäätökset konsentroidikokeista

Humusveden konsentroidi sekä mikro- että ultrasuodatuksella onnistui hyvin. Tosin ultrasuodatuksessa kalvopinta-alaa tarvitaan moninkertaisesti verrattuna mikro-suodatukseen, mikä laskee suodatuksen kannattavuutta. Ultrasuodatus pidättää arvoaineet hyvin konsentraattiin, mutta mikro-suodatuksella konsentraattiin saadaan enää 15 % arvoaineista. Kiintoainevapaan liuennan aineen erotus jatkojalostukseen edellyttää ensin kiintoaineen poistoa mikro-suodatuksella ja siitä tulevan suodoksen konsentroidiä ultrasuodatuksella. Erotuksen kannattavuus edellyttää mahdollisten hyötyaineiden fraktioitavuuden selvittämistä ultrasuodatuskonsentraatista.

7. Kenttätutkimukset

7.1 Valumavesien puhdistus Pirtti-Peurusuolla

Kahdesta eri suoalueesta, Pirttisuosta ja Peurusuosta, koostuva Pirtti-Peurusuon turvetuotantoalue sijaitsee Multian kunnassa. Tuotantokelpoinen pinta-ala auma-alueineen on 123,6 ha (Aluehallintovirasto 2012).

Turvetuotantoalueelta tulevat vedet puhdistetaan johtamalla ne ympärivuotisesti pintavalutuskenttien 1 ja 2 kautta. Pintavalutuskenttä 1:n valuma-alue on pinta-alaltaan 93,2 ha. Pintavalutuskentän koko on 4 ha, 4,3 % valuma-alueesta. Valumavedet ohjataan kentälle pumpaamalla (Aluehallintovirasto 2012)

Pintavalutuskenttä 2 on kooltaan 2,9 ha, joka on 4,7 % 60,8 ha:n valuma-alueesta. Kenttä sijaitsee ojitetulla, puustoisella alueella. Ojat tukittiin pintavalutuskentän perustamisen yhteydessä. Pirtti-Peurusuon turvetuotantoalueella toteutettiin kaksi kenttäpilottitutkimusta.

7.2 Koejärjestelyt ja mittaukset

7.2.1 PCC-kalkki pintavalutuskentällä

Kenttäpilotti 1 toteutettiin pintavalutuskentällä 2 aikavälillä 1.10.2013–31.10.2014. Pintavalutuskentän paineputken vesisuihkujen alle levitettiin 9.10.2013 PCC-tuotannosta muodostuvaa jätekalkkia yhteensä noin 40 tonnia. Kalkki kasattiin pitkäpuomilla varustetulla kaivinkoneella noin yhden tonnin suuruisiin kasoihin jokaisen paineputken vesisuihkun kohdalle (Kuva 35). Kalkkia lisättiin sama määrä samaan kohtaan 29.11.2013 ja 9.8.2014.

Kalkituksen vaikutusta pintavalutuskentällä sijaitsevan veden laatuun seurattiin yhteensä 12 mittapistestä, jotka merkittiin maastoon. Koepisteistä otetuista vesinäytteistä mitattiin paikan päällä pH ja johtokyky (Kuva 36) sekä laboratorioissa analysoitiin sameus, kiintoaine, COD_{Mn}, TOC, DOC, P_{tot}, NO₃-N ja NH₄-N. Pintavalutuskentälle turvetuotantoalueelta johdettavan veden ja pintavalutuskentältä lähtevän veden kiintoaine- ja humuspitoisuutta tutkittiin jatkuvatoimisesti kahdella EXO2-mittalaitteella (Kuva 37), jotka asennettiin syys-lokakuun vaihteessa 2013 pintavalutuskentän yläpuolelle pumpauskaivoon ja alapuolelle mittakaivoon (Kuva 38). Lisäksi pintavalutuskentän yläpuolen ja alapuolen mittakaivoista otettiin vesinäytteet, joista mitattiin pH ja johtoky-

ky sekä laboratoriossa analysoitiin sameus, kiintoaine, COD_{Mn} , TOC, DOC, P_{tot} , $\text{NO}_3\text{-N}$ ja $\text{NH}_4\text{-N}$. Jatkuvat oimiset mittauslaitteet kalibroitiin vesinäytteiden avulla.



Kuva 35. Kalkkikasat sijoitettiin pintavalutuskentän paineputken vesisuihkujen kohdille.



Kuva 36. Pintavalutuskentältä otettiin vesinäytteitä yhteensä 12 koepisteestä. Vesinäytteiden pH ja johtokyky mitattiin heti näytteenoton jälkeen kannettavalla mittalaitteella.



Kuva 37. EXO2-mittalaite, joka koostuu sameus-, fDOM- ja pH-antureista.



Kuva 38. EXO2-mittalaite asennettiin pintavalutuskentän ylä- ja alapuolelle, kuvassa pintavalutuskentän alapuolinen mittakaivo.

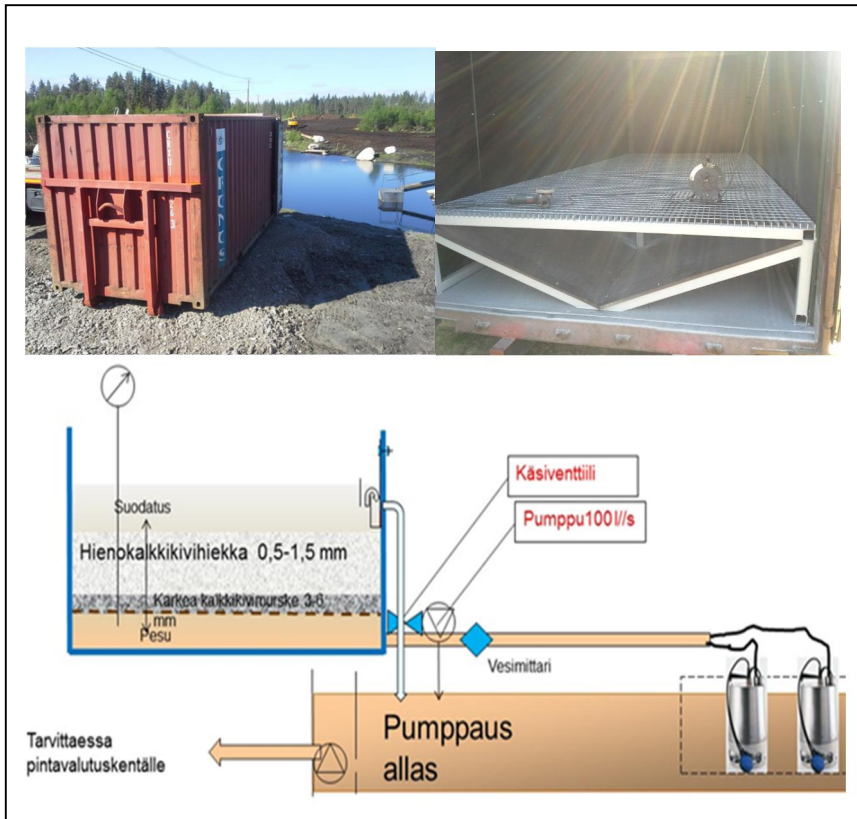
EXO2-mittalaitteet mittaavat optisesti veden sameutta sekä vedessä olevan liukoisen orgaanisen aineen fluoresenssia (fDOM). Liukoisen orgaanisen hiilen (DOC) ja orgaanisen hiilen (TOC) pitoisuudet, jotka ilmentävät humuksen määrää vedessä, sekä kiintoainepitoisuus laskettiin mitattujen muuttujien lineaarikombinaationa laboratorioissa analysoidun vesinäytteen tulosten perusteella.

Virtamaa mitattiin niin ikään jatkuvatoimisesti. Pintavalutuskentälle tulevan veden määrää mitattiin EHP-Tekniikan ultraäänen perustuvalla virtaamamittarilla, joka

asennettiin pumppauskaivosta lähtevään putkeen. Pintavalutuskentältä lähtevän veden määrää mitattiin pintavalutuskentän alapuolelta mittauskaivosta V-padon avulla.

7.2.2 Kenttäpilotti 2: Suodatuskontti

Keväällä 2014 suunniteltiin sekä rakennettiin merikonttiin perustuva suodatuslaitteisto, joka asennettiin Pirtti-Peurusuolle pintavalutuskenttä ykkösen pumppausaltaan viereen (Kuva 39). Kesäkuussa suoritettiin kontin testaus ja käyttöönotto. Kontilla suoritettiin kolme eri koeajoa 10.7.–31.10.2014 välisenä aikana (Taulukko 9). Konttiin pumpattavan veden syöttönopeuden keskimääräinen vaihteluväli oli 4,2–5,2 l/s. Puhdistusmateriaaleina käytettiin kalkkikiveä sekä serpentiniittiä, joka on Hituran (Nivala) nikkeli-kaivoksen sivukiveä. Serpentiniitti on huokoinen mineraali ja sillä on suuri ominaispinta-ala. Serpentiniitillä tehdyn koeajon lopuksi serpentiniittihiekan päälle lisättiin hienojakoista serpentiniittiä noin 4500 kg. Hienojakoinen serpentiniitti tukki hiekkapatjan, ja kontti tyhjennettiin imuauton avulla.



Kuva 39. Konttiin rakennettu puhdistuslaitteisto asennettiin pumppausaltaan viereen (vasen yläkuva), josta puhdistettava vesi pumpattiin konttiin alhaalta ylöspäin ritilärakenteen (oikea yläkuva) yläpuolella olevan hiekkapatjan läpi. Alhaalla on esitetty piirroskuva koejärjestelyistä.

Taulukko 9. Suodatuskontilla suoritettiin kolme koeajoa.

	1. Kalkkikivijajo 10.7.–29.7.2014 Syöttö keskimäärin 4,6 l/s Vesimäärä 2244 m ³	Serpentiniittijajo 11.8.–29.9.2014 Syöttö keskimäärin 4,2 l/s Vesimäärä 13364 m ³	2. Kalkkikivijajo 29.9.–31.10.2014 Syöttö keskimäärin 5,2 l/s Vesimäärä 8669 m ³
Materiaali	– pohjalla noin 10 cm 3–6 mm kaivokalkkia (2 tn) – päällä noin 80 cm 0,9–1,5 mm kalkkivihiä (15 tn) (Parfil 1500)	– pohjalla noin 10 cm 3–6 mm hiekoitussepeä (2 tn) – päällä 1–3 mm serpentiniittihiä (8 tn)	– pohjalla noin 10 cm 3–6 mm kaivokalkkia (2 tn) – päällä noin 80 cm 0,9–1,5 mm kalkkivihiä (15 tn) (Parfil 1500)
Huomioita	– aluksi hiekan esipesu – kokeen aikana hiekkapatjaa pestiin tarvittaessa vastapaineen noustessa	– serpentiniittihiä murskattiin ja seulottiin GTK:lla	– sama kuin 1. koeajo, mutta hiekkapatjaa ei pesty kokeen aikana – lisäksi suurempi syöttönopeus

Kontin puhdistustehoa seurattiin vesinäytteiden sekä jatkuvatoimisen mittauksen avulla. Konttiin tulevan veden laatua seurattiin pumppausaltaasta samasta kohdasta, josta vettä pumpattiin konttiin (Kuva 40). Kontista lähtevän veden laatua mitattiin jatkuvatoimisesti kontissa sijaitsevien automaattisten vedenlaatuantureiden avulla sekä kontin poistoputkesta otettavasta vesinäytteestä.



Kuva 40. Puhdistettava vesi pumpattiin konttiin (kuvassa taka-alalla) pumpppausaltaasta, josta otettiin konttiin tulevan veden vesinäytteet sekä mitattiin vedenlaatua myös jatkuvatoimisesti.

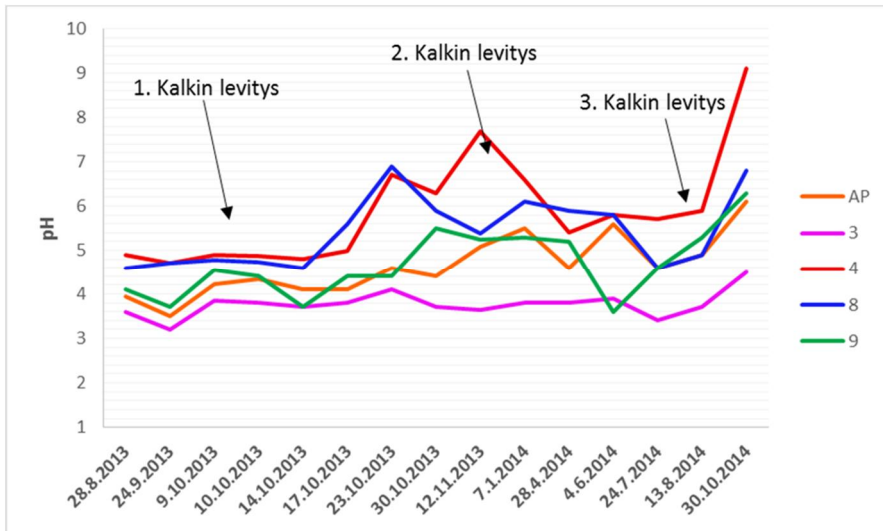
7.3 Tulokset

7.3.1 Kenttäpilotti 1: PCC-kalkin puhdistusteho ojitetussa pintavalutuskentässä

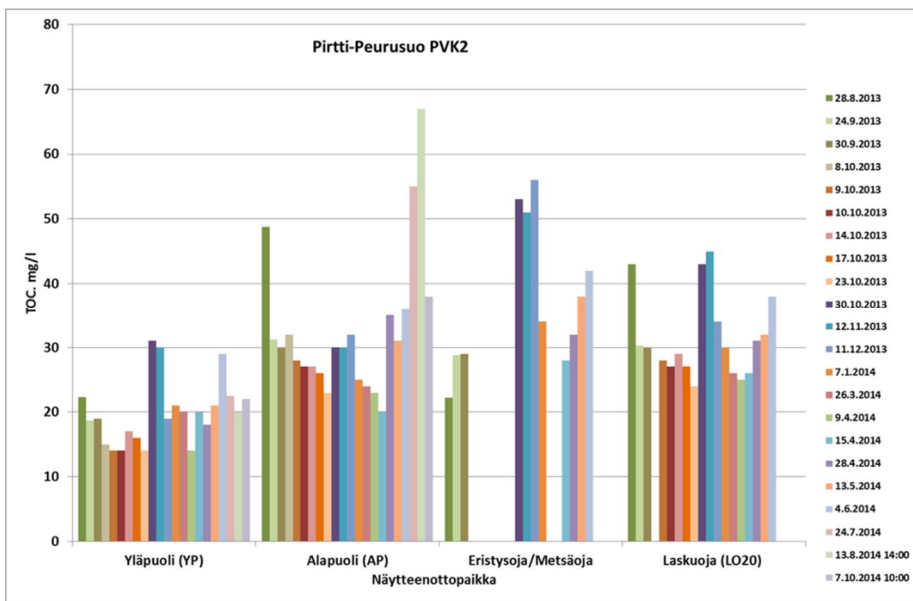
Pintavalutuskenttä pidatti kiintoainesta keskimäärin 63 % (Taulukko 10). Orgaanisen aineen määrä lisääntyi pintavalutuskentällä keskimäärin 37 %. Myös kokonaisfosforin määrä lisääntyi pintavalutuskentällä, koska alue on aikoinaan metsälannoitettu. Lannoituksen ajankohdasta sekä määristä ei ollut tarkkaa tietoa. Kalkin levitys nosti pintavalutuskentältä lähtevän veden pH-arvoa. Vaikutus näkyi varsinkin paineputkea lähinnä olevilla näytepisteillä (Kuva 41). Metsä-/eristysojan P_{tot} , N_{tot} ja kiintoaine pitoisuudet olivat alempia ja TOC- ja DOC-pitoisuudet korkeampia kuin pintavalutuskentältä tulevan veden (Kuva 42).

Taulukko 10. Pitoisuuksien keskiarvot sekä minimi- ja maksimipitoisuudet ja reduktioprosentit pintavalutuskentän ylä- ja alapuolelta. Sameus, kiintoaine, COD ja TOC -pitoisuudet on mitattu jatkuvatoimisesti ja ravinnepitoisuudet (P_{tot}, NO₃-N, NH₄-N) on määritetty vesinäytteistä (14 kpl).

Mittausjakso	1.10.2013 – 31.10.2014 (321 vrk)						Reduktio %
	PVK 2 tuleva (YP)			PVK 2 lähtevä (AP)			
	\bar{X}	min	max	\bar{X}	min	max	
Sameus (FTU)	9,3	3,8	56,5	3,5	1,5	27,3	62 %
Kiintoaine (mg/l)	5,1	2,1	31,1	1,9	0,8	15	63 %
COD _{Mn} (mg/l)	22,3	13,7	34,4	30,6	19,6	36,8	- 37 %
TOC (mg/l)	19,6	12	30,3	26,9	17,2	32,4	- 37 %
* P-tot (µg/l)	21	13	51	114	38	190	-296 % **
* NO ₃ -N (µg/l)	97,6	18	340	56,2	3	340	6 %
* NH ₄ -N (µg/l)	337,4	64	540	92,1	11	310	83 %



Kuva 41. pH nousi kalkinlevitysten jälkeen pintavalutuskentän alapuolella sekä erityisesti pintavalutuskentän mittapisteissä 4 ja 8, jotka olivat lähimpänä kalkkikasoja.



Kuva 42. Pintavalutuskentän ylä- ja alapuolisen veden sekä eristysojan ja laskuojan TOC-pitoisuudet.

7.3.2 Kenttäpilotti 2: Suodatuskontin puhdistusteho

Suodatuskontin puhdistusreduktiot jäivät huomattavasti alhaisemmiksi kuin laboratorioskokeissa. Suodatuskontti poisti kaikissa kolmessa koeajossa kiintoainesta keskimäärin 34–37 % (Taulukko 11). Syöttönopeudella ei ollut merkittävää vaikutusta kiintoainereduktioon. Orgaanista ainesta poistui eniten 2. kalkkikivijossa, keskimäärin 8–20 %. Fosforireduktio vaihteli välillä 21–35 %. Typen poistuma oli vaatimatonta ja tyyppi jopa lisääntyi koeajojen aikana. Kalkkikivi ja serpentiiniitti nostivat pH:n tasolle ≥ 7 .

Taulukko 11. Suodatuskontilla suoritettiin kolme eri koeajoa.

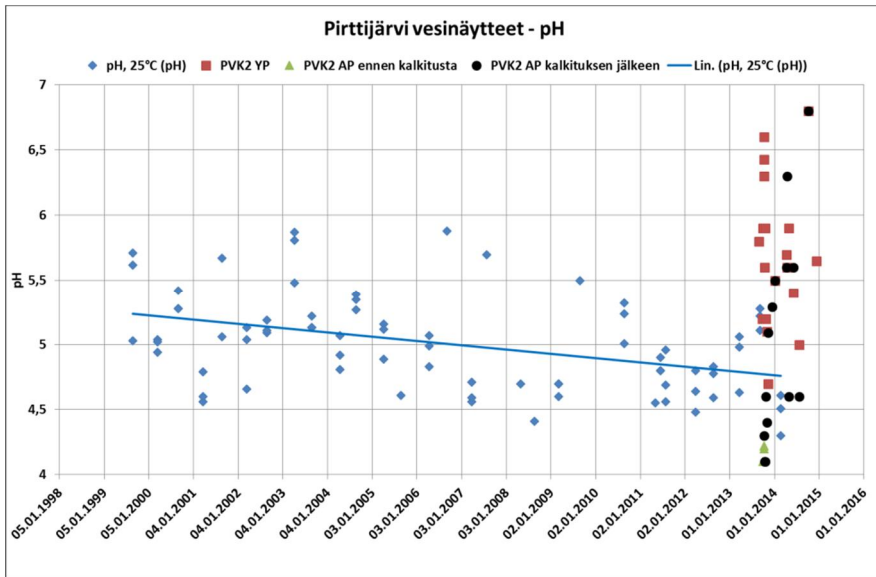
	1. Kalkkikivijot 0,9-1,5 mm Syöttö keskimäärin 4,6 l/s		Serpentiiniittijä 1-3 mm Syöttöpumppu 4,2 l/s		2. Kalkkikivijot 0,9-1,5 mm Syöttö keskimäärin 5,2 l/s	
	Reduktio-%	Suodoksen pitoisuus	Reduktio-%	Suodoksen pitoisuus	Reduktio-%	Suodoksen pitoisuus
Kiintoaine	34	7,4 mg/l	37	8,4 mg/l	37	8,2 mg/l
TOC	0	27 mg/l	16	33,4 mg/l	20	29,7 mg/l
DOC	1	26,1 mg/l	11	31,6 mg/l	16	28 mg/l
COD _{Mn}	6	34,1 mg/l	8	46 mg/l	8	41,3 mg/l
Väri (absorbanssi 257nm)	11	1,3	8	1,3	15	1,1
Kok. P	21	63,9 µg/l	21	59,7 µg/l	23	57,3 µg/l
PO4-P	27	23,7 µg/l	35	25,3 µg/l	25	27,7 µg/l
NH4-N	4	318 µg/l	-42	901,4 µg/l	12	807,5 µg/l
NO3-N	-21	64,7 µg/l	-6	156 µg/l	0	297,5 µg/l
pH		(pH nousu 1-2 yks) 7,4		(pH nousu 0,8 yks) 7,2		(pH nousu 0,3 yks) 7

7.4 Johtopäätökset kenttäpilottikokeista

7.4.1 Kenttäpilotti 1: PCC-kalkki ojitetussa pintavalutuskentässä

Kalkituksen vaikutus näkyi pH:ssa, joka nousi kalkinlevityksen jälkeen pintavalutuskentän näytteenottoasteissa sekä alapuolisessa mittakaivossa. Kalkkikasat ”kuorettuivat”, jolloin kalkin reaktiokyky heikkeni, kalkki pitäisi saada sekoitettua PVK:lle pumpattavaan veteen. Fosforin ja TOC:n pitoisuuden nousu pintavalutuskentältä lähtevässä vedessä näyttäisi lievenevän kalkituksen vaikutuksesta. Tutkimuksen kohteena ollut pintavalutuskenttä poisti hyvin kiintoainetta, mutta lisäksi orgaanisen aineen sekä fosforin kuormitusta, sillä alue on aikoinaan metsälannoitettu. Tarvittaisiin pidempiaikaista ympärivuotista seurantaa, jotta kalkin vaikutuksesta saataisiin tarkempaa tietoa pintavalutuskentän puhdistustehoon.

Metsä-/eristysajan fosfori-, tyyppi- ja kiintoainepitoisuudet olivat alempia ja TOC- ja DOC-pitoisuudet korkeampia kuin pintavalutuskentältä tulevan veden. Alapuolisen Pirttijärven COD-pitoisuudet olivat korkeampia kuin turvetuotantoalueelta tulevan ve-



Kuva 44. Turvetuotantoalueen alapuolisen Pirttijärven sekä turvetuotantoalueelta lähtevän veden pH-arvot pintavalutuskentän yläpuolelta sekä pintavalutuskentän alapuolelta ennen ja jälkeen kalkituksen.

7.4.2 Kenttäpilotti 2: Suodatuskontti

Konttisuodatusmenetelmä vaatii vielä jatkokehitystä ja ympärivuotista testaamista. Tässä tutkimuksessa testiaika sijoittui kesästä syksyyn. Menetelmä tulisi myös automatisoida, jotta huolto- ja ylläpitokäyntien määrä vähenisi. Suodatuskontilla tehdyissä koeajoissa korkeammasta syötteen pitoisuudesta saatiin parempi kiintoainereduktio. Uuden suodatusmateriaalin käyttöönottoaiheessa tulee huomioida mahdollinen suodatinmateriaalista suodosveteen lähtevä hieno kiviaines. Hiekkasuodatuskonttia voisi soveltaa esim. turvetuotantoalueen valmisteluvaiheen vesien käsittelyyn, metsätalouden valumavesien käsittelyyn esim. kunnostusojitusten yhteydessä sekä jatkuvaan käyttöön erityisesti siellä missä ei ole sopivaa aluetta pintavalutuskentälle. Kontti on helposti siirrettävissä ja sillä voidaan testata erilaisia suodatinmateriaaleja. Kontin korkeus tulisi olla vähintään 2,5 metriä ja suodatuspatjan paksuus vähintään 1 metri. Kontin pesuvesi kannattaisi ohjata sopivalle metsäalueelle kasteluvodeksi.

8. Humusvesien sähkökemiallinen mittaamenetelmä

Sähkökemiallisen mittaamenetelmän perustutkimuksen tulokset projektin vaiheesta 1 on esitetty tarkemmin raportissa (Heimala ja Laitinen 2013; ks. luku 11).

8.1 Sähkökemiallinen mittaamenetelmä

Kehitettävän mittaus ja ohjausmenetelmässä sen toimivuutta kentällä olisi pystyttävä seuraamaan jatkuvasti ja tarvittaessa myös säätämään. Sähkökemiallisista mittaustuloksista saadut tulokset siirrettiin verkon kautta. Mittausten tavoitteena oli määrittää suovesien humuspitoisuudet ja epäorgaanisten epäpuhtauksien pitoisuudet. Suovesissä voi ajoittain olla mg/l -tasolla lukuisia mittaustuloksia häiritseviä yhdisteitä kuten sulfidia, polysulfideja, polytionaatteja, tiosulfaattia. Näiden kaltaiset yhdisteet ovat täysin määrääviä sille, mitkä sähkökemialliset menetelmäversiot voivat luotettavasti toimia edellä mainituilla pitoisuustasoilla.

Laboratoriokokeissa käytettiin sähkökemiallisia menetelmiä, kuten potentiaalimitausta eri elektrodeilla ja voltammetriaa. Potentiaalimitauksessa mitataan vapaata potentiaalia työ- ja referenssielektrodin väliltä. Potentiaalimitauksella saadaan tietoa aineiden pitoisuuksista ja hapetusasteen muutoksista. Voltammetriassa muutetaan eri nopeuksilla työelektrodin sähkökemiallista potentiaalia referenssielektrodiin verrattuna ja mitataan samanaikaisesti työelektrodin ja vastaelektrodin välistä virtamäärää. Virtamäärä on verrannollinen aineiden pitoisuuksiin.

Humuspitoisuus mitataan spesifisellä elektrodilla ja samanaikaisesti häiriöaineita mitataan useilla häiriöaineisiin reagoivalla elektrodilla, jotka eivät reagoi humuspitoisuuden muutoksiin. Tulosten perusteella eliminoidaan häiriöaineiden vaikutus.

Kummallakin menetelmällä voidaan periaatteessa päästä kiinni vesien sisältämien aineiden pitoisuuksiin. Haasteena ovat lukuisat seikat, mm. elektrodien pinnan puhtaana pito ja päällekkäiset reaktiot, kuten samanaikainen hapen ja/tai vedyn pelkistyminen, seurattavien aineiden kompleksoituminen, sorptoituminen jne. Käyttämällä lukuisia elektrodeja ja neuroverkkolaskentaa voidaan määrittää riittävällä tarkkuudella humuksen pitoisuus. Samalla menetelmällä voidaan määrittää tarvittaessa myös ravinteiden ja rikkiyhdisteiden määrät. Elektrodien pinnat voidaan tarvittaessa puhdistaa ajamalla virtaa työelektrodin pintaan siten, että likakerros saadaan irtoamaan elektro-

din pinnasta. Samalla biologisen kasvuston syntyminen elektrodien pinnalle saadaan estettyä.

8.2 Laboratoriokokeet

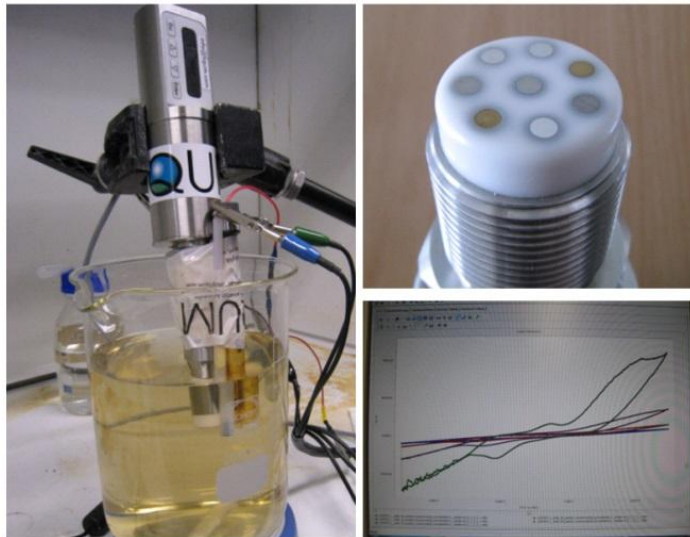
8.2.1 Materiaalit ja menetelmät

Kokeet suoritettiin Jyväskylässä VTT:n laboratoriossa ja NRM Oy:n tiloissa. Kokeiden materiaaleina ovat toimineet täysin puhdas ionivaihdettu vesi, Joutsan Mesiänsuon, Karstulan Kajiansuon ja Multian Pirtti-Peurusuon humusvedet.

Kokeissa on käytetty erilaisia kemikaaleja ja metallisia sekä mineraalielektrodeja. Käytetty sähkökemiallinen laitteisto on muodostunut Camry:n potentiostaatti-impedanssi systeemistä, pH-elektrodeista, sähköjohtokykymittareista ja magneettisekoittimista ja kokeet on suoritettu huoneenlämpötilassa.

Tutkimuksessa on käytetty kaupallisia sensoreita, jonka toimittaja (Liqum) on valinnut tarpeiden mukaisesti (Kuva 45). Elektrodit on merkattu numeroilla 1–7 ja niiden pääasiallinen indikointi luonnonvesisovelluksessa on seuraava:

- | | | |
|----|-----------|--|
| 0. | elektrodi | typpiyhdisteet, tiosulfaatti, halogeenit |
| 1. | elektrodi | sulfidit, tiosulfaatti |
| 2. | elektrodi | orgaaniset yhdisteet, fosfaatit |
| 3. | elektrodi | sulfaatti, kloridi |
| 4. | elektrodi | fosfaatti- ja typpiyhdisteet |
| 5. | elektrodi | sulfaatti-, happi-, karbonaatti- ja fosforiyhdisteet |
| 6. | elektrodi | fosfaatti- ja rikki- ja typpiyhdisteet |
| 7. | elektrodi | hapettimet |

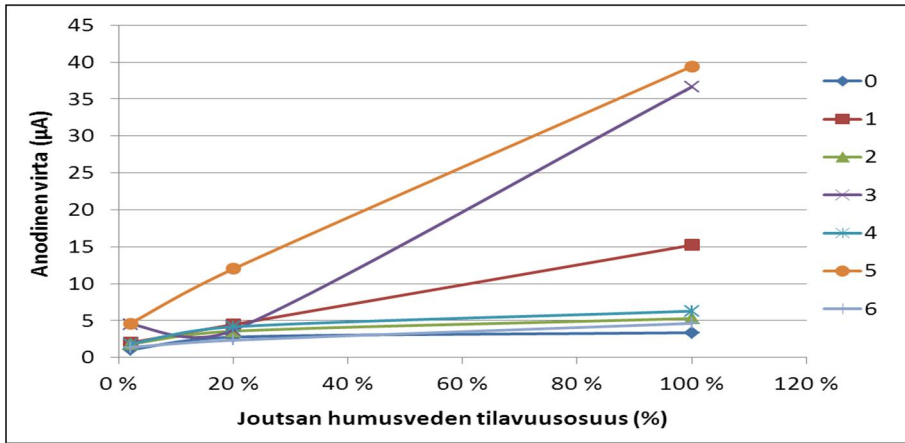


Kuva 45. Herkkyystesteissä käytetyt kaupalliset sensorit ja kuva voltammetrisestä määrittämisestä.

8.2.2 Laboratoriomittausten tulokset

Laboratoriossa määritettiin puhtaiden aineiden vasteet eri elektrodeihin. Haasteina ovat lukuisat seikat, mm. päällekkäiset reaktiot, kuten samanaikainen hapen ja/tai vedyn pelkistyminen, elektrodien pinnan puhtaanapito ja seurattavien aineiden kompleksoituminen, sorptoituminen jne. Käyttämällä lukuisia elektrodeja ja neuroverkkolaskentaa voidaan määrittää riittävällä tarkkuudella humuksen, ravinteiden ja rikkiyhdisteiden pitoisuudet.

Sähkökemiallisessa tutkimuksessa saavutettiin kohtuullinen virta- ja potentiaalimitauskorrelaatio humuspitoisuuden, nitraatin, sulfaatin, kloridin, sulfidin, tiosulfaatin ja karbonaatin kanssa. Myös ammonium-ionin pitoisuus näyttäisi selviävän mm. potentiaali-virtakäyristä. Esimerkkinä esitetään humuspitoisuuden muutoksen vaikutus erilaisten elektrodien vasteeseen (Kuva 46).



Kuva 46. Anodisen virran muutos humuspitoisuuden muuttuessa potentiaalin muutosnopeudella 100 mV/s.

8.3 Mittaukset kenttäolosuhteissa

8.3.1 Materiaalit ja menetelmät

Kokeissa käytettiin mittausmenetelmänä sähkökemiallista potentiaalimittausta. Potentiaalimittauksessa mitataan vapaata potentiaalia työ- ja referenssielektrodin väliltä. Potentiaalimittauksella saadaan tietoa aineiden pitoisuuksista ja hapetusasteen muutoksista.

Elektrodien pintojen puhdistaminen oli suunniteltu tehtäväksi ajamalla virtaa työelektrodin pintaan siten, että likakerros saadaan irtoamaan elektrodin pinnasta. Samalla biologisen kasvuston syntyminen elektrodien pinnalle oli tarkoitus estää.

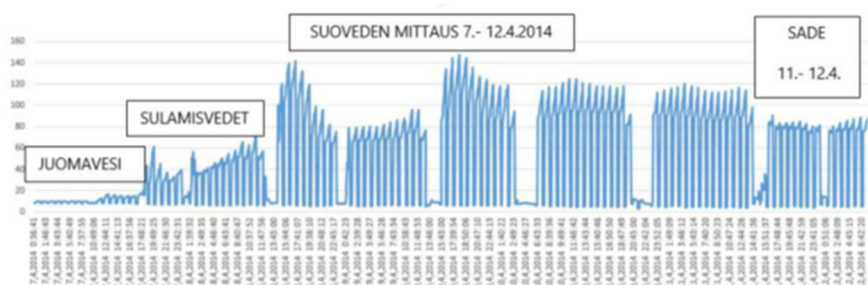
Kenttämittauslaitteistolla (Kuva 47) oli tarkoitus aluksi mitata humuspitoisuutta orgaanisen hiilen määränä (DOC) yhdellä laboratorioskokeiden perusteella valitulla elektrodilla. Laitteiston tarvitsema sähkö saatiin akusta. Sähkön säästämiseksi laite mittasi 15 minuuttia kerrallaan ja "nukkui" 45 minuuttia. Mittausdata lähetettiin käsiteltäväksi NMR Oy:n serverille.



Kuva 47. Kenttämittauslaitteisto. Vasemmalla sähkökaappi, keskellä mittapää, jossa 1 mittauselektrodi ja erillinen referenssielektrodi sekä oikealla mittaripaketti asennettuna hiekkasuotimeen.

8.3.2 Sähkökemiallisten humusmittausten tulokset

Turvetuotantoalueelta tulevan veden mittauksesta näkee, että vedessä on hyvin voimakkaasti hapettuvia komponentteja. Hapetusvirrat nousivat melko suureksi ja vaihtelivat sulamisvesien ja sateen mukaan. Tyypilliset virtamäärät turvetuotanto-vedessä olivat tasolla 80–140 μA , kun taas puhtaissa vesissä virta-määrät ovat tasolla 5–25 μA . (Kuva 48) (Laitinen et al. 2014; ks. luku 11).



Kuva 48. Turvetuotantoalueelta tulevan veden virta-arvot verrattuna juomaveden virta-arvoihin (Laitinen et al. 2014; ks. luku 11).

Konttikokeiden aikana testattiin ja kehitettiin NRM Oy:n sähkökemiallista humushapon mittaustekniikkaa. Hapetus ja pelkistysvirtojen vaihtelut ajalla 11.8.–18.9.2014 serpentiniittipuhdistuksen aikana mitattiin ja niiden pitäisi teorian mukaan kuvata hapettuvien ainemäärien muutoksia. Jakson alussa hapettuvien komponenttien määrä oli samalla tasolla kuin suolta tulevassa vedessä. Jakson keskivaiheilla hapettuvien komponenttien määrä pieneni, kun taas pelkistyvien komponenttien määrä kasvoi. Jakson loppujaksolla hapettuvien komponenttien määrä kasvoi voimakkaasti ja virrat olivat jopa tasolla 300–600 μA , kun normaali turvetuotantoalueen vesien taso on 80–140 μA . Hapetus- ja pelkistysvirran määrää (mA) verrattiin TOC ja COD laboratoriotuloksiin. Sähkökemiallisen mittauksen ja laboratoriomääritysten välillä ei kuitenkaan ollut korrelaatiota, joten jatkokehitystä tarvitaan. Yksi syy tähän saattoi olla anturin pään likaantuminen, jota ei pystytty eliminoimaan sähkökentän kääntelyllä.

9. Puhdistusmenetelmien tehon ja kustannusten arviointi

BAT-tekniikaksi hyväksytyt pintavalutuskentät puhdistaa riittävästi turvetuotantoalueelta virtaavia vesiä, jos se on perustettu sopivalle paikalle ja käyttö on suunnitelman mukaista. Koekentäksi valittiin ojitetulle ja lannoitetulle suolle tehty pintavalutuskenttä, jonka haittoja olivat humuksen ja fosforin liukeneminen sieltä lähtevään veteen. Oikovirtauksia esiintyi erityisesti suurten virtaamien aikana ja kiintoaineen huuhtoutumista jäätyneen pintavalutuskentän pinnasta.

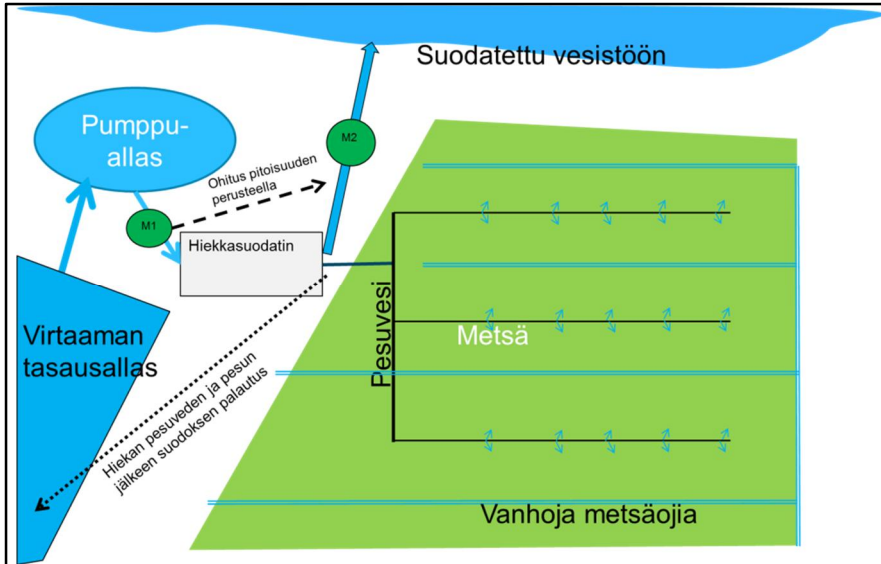
Tutkitun pintavalutuskentän toimintaa voidaan parantaa jonkin verran kalkituksella ja välttämällä oikovirtauksia. Kalkitusta voidaan tehdä PCC-tuotannon sivutuotteena syntyvällä kalkilla. Sen kokonaiskustannuksiksi arvioidaan 50 €/t, jos kalkki sijoitetaan paineputken viereen veden purkaukokohtiin, kuten kenttäkokeessa tehtiin. Kalkkia tarvitaan ensimmäisinä vuosina noin 100 t 100 ha tuotantoalalta tulevaa vesimäärää kohti. Kalkitusvaikutuksen tasaantuessa tarvitaan pienenevä määrä kalkkia. Jos kalkitusta ei voida toteuttaa edellä kuvatulla tavalla, kalkkikivijauheen tai sammutetun kalkin syöttöä pintavalutuskentälle voisi kokeilla muutaman kerran vuodessa syöttämällä sitä pumppukaivoon pumppauksen aikana. Tätä kalkin syöttötapaa ei kokeiltu tässä projektissa. Nämä tuotteet ovat selvästi kalliimpia kuin PCC-tuotannon sivutuote.

Oikovirtausten välttämiseksi ehdotetaan veden syöttämistä sarkojen keskelle reiätetyn paineputken avulla. Tämä ei juuri lisää kustannuksia, koska ojien tukkimista ei tarvita. Paineputken jäätyminen estämiseksi täytyy varmistaa, että putki tyhjenee jäätymisvaarassa olevalta osaltaan aina pumppauksen loputtua.

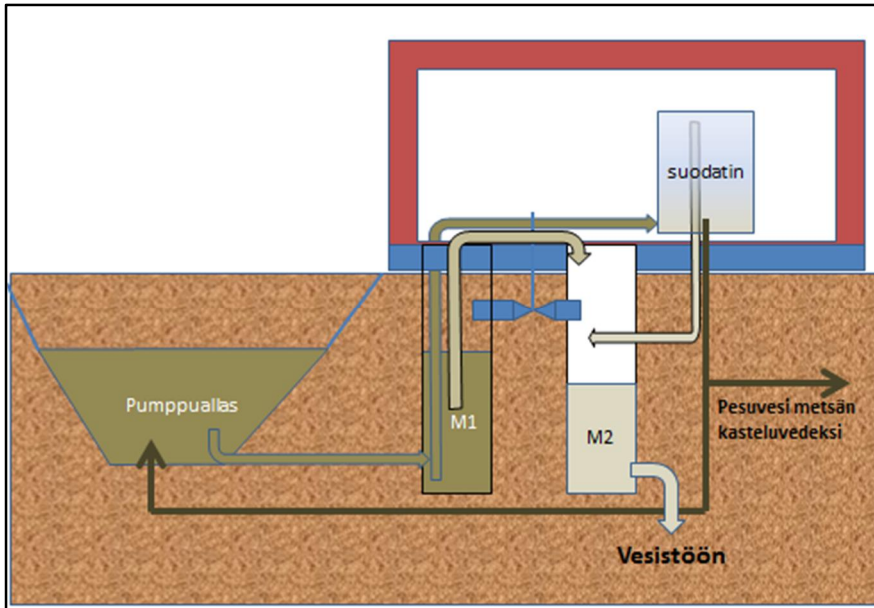
Jos puhdistustarve on lähinnä kiintoaineen poistamista, niin hiekkasuodatus voisi olla riittävä alittamaan ympäristöluvan mukaisen kiintoainepitoisuuden ja reduktion ilman haittavaikutuksia. Hiekkasuodatuksen kytkennäksi ehdotetaan kuvien 49 ja 50 mukaista järjestelyä. Vedet ohjataan virtaaman perusrakenteilta tasausaltaan kautta pumppualtaalle ja sieltä mitta-/pumppukaivoon, josta pumpataan normaalisti hiekkasuodatinkontin kautta alapuolen mittakaivoon. Hiekkasuodattimen pesuvedet ohjataan sulan maan aikana metsäalueelle kasteluvedeksi ja jäätyneen maan aikana palautetaan virtaaman tasausaltaaseen. Pesuveden käyttäytymistä metsäalueella tulisi tutkia.

Suodattimen ohipumppaus ehdotetaan sallittavan, jos mittauksella (Kuva 51) osoitetaan, että lähtevän veden kiintoainepitoisuus alittaa asetun enimmäisrajan. Lisäksi

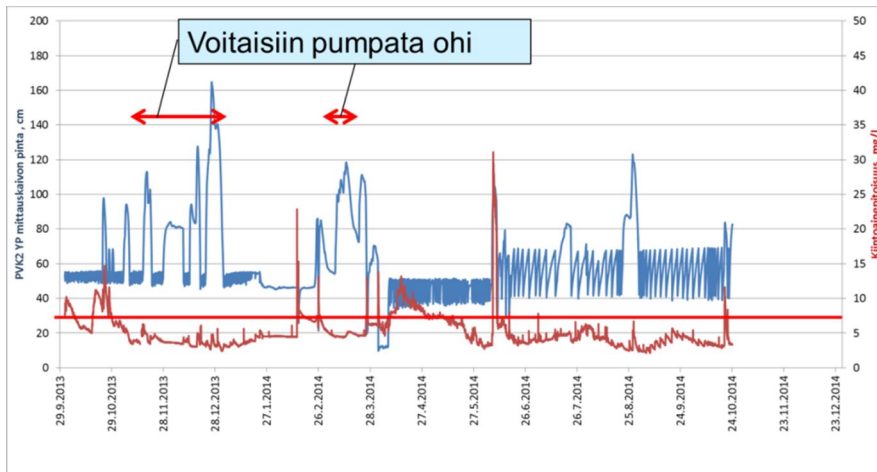
ehdotetaan mittakaivosta 1 mittakaivoon 2 asennettavaksi "tulvapatki", jota voidaan avata, jos laiterikon tai muun syyn vuoksi on vaara, että patoaltaat rikkoutuvat niiden yli virtaavan veden vuoksi. Näillä menettelyillä varmistetaan, että kaikki vesistöön lasketavan veden määrä ja pitoisuudet mitataan päästöjen laskentaa varten.



Kuva 49. Hiekkasuodatuksen kytkeminen vesienkäsittelyyn.



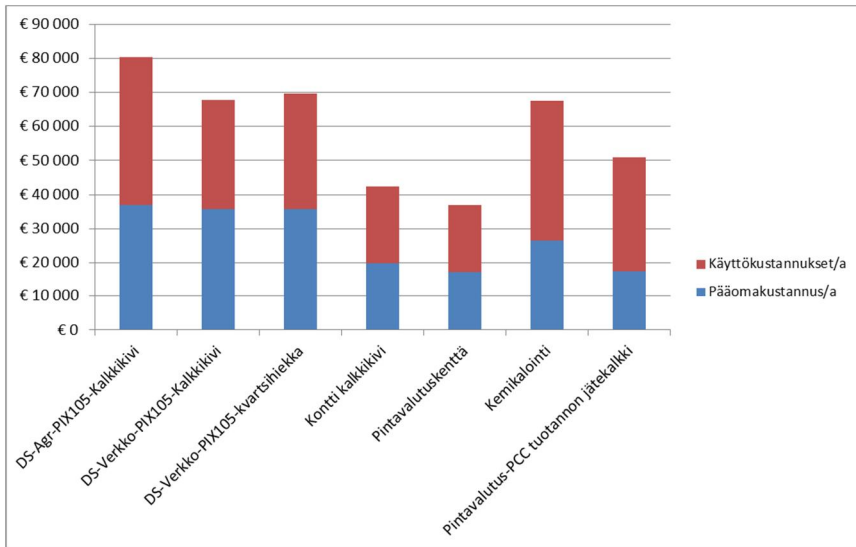
Kuva 50. Vesienkäsittelyjärjestelmän poikkileikkaus.



Kuva 51. Ohijuoksutuksen luvan perusteluksi esitetään alhainen kiintoainepitoisuus ja mittakaivon korkea pinnankorkeus. Kuvassa esimerkkinä Pirtti-Peurusuon pintavalutuskenttä 2:n mittaukset.

Taulukko 12. Vesiensuojelurakenteiden arvioidut investointi- ja käyttökustannukset.

	DS-Agr-PIX105-Kalkkikivi	DS-Verkko-PIX105-Kalkkikivi	DS-Verkko-PIX105-0	Kontti kalkkikivi	Pintavalutus-kenttä	Kemikalointi	Pintavalutus-Mahtikalkki
Investoinnit							
Perusrakenteet	35 000 €	35 000 €	35 000 €	35 000 €	35 000 €	35 000 €	35 000 €
Virtaaman säätö (max 20000m ³)	26 000 €	26 000 €	26 000 €	26 000 €	26 000 €	26 000 €	26 000 €
Virtaaman tasausallas, 40000 m ³	30 000 €	30 000 €	30 000 €	30 000 €			
Laskeutusallas					10 000 €	10 000 €	10 000 €
Pintavalutus-kenttä: ojitettu, pumppaus					140 000 €		140 000 €
Puhdistinreaktorin	200 000 €	200 000 €	200 000 €	50 000 €			
Vesiputkistojen rakentaminen	4 300 €	4 300 €	4 300 €	4 300 €			
Veden syöttöpumput	5 000 €	5 000 €	5 000 €	5 000 €			
Kemikalointi ympärystoimen						220 000 €	
Kemikaalien säilö ja syöttö	50 000 €	50 000 €	50 000 €	0 €			
Paineilmapumppu	2 000 €	2 000 €	2 000 €	2 000 €			
Hiekkapanos	2 000 €	2 000 €	2 000 €	6 000 €			
Perustus+kevythalli	50 000 €	50 000 €	50 000 €	50 000 €			
Seiketyssä						0 €	
Lieteallas/ohjain metsäalueelle	5 000 €	5 000 €	5 000 €	5 000 €	3 000 €	5 000 €	3 000 €
Sähkolinjat		6 000 €	6 000 €	6 000 €		6 000 €	
Sähköliittymä		25 000 €	25 000 €	25 000 €		25 000 €	
Sähköstys aggregaattilla	46 500 €				0 €	0 €	0 €
Automaatio	5 000 €	5 000 €	5 000 €	5 000 €			
Kalkinievityste							3 000 €
Kalkkivi-pöytä						4 000 €	
Investoinnit yhteensä	460 800 €	445 300 €	445 300 €	249 300 €	214 000 €	331 000 €	217 000 €
Korkoteijä q	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Takaisinmaksuaika (kerran vuodessa)	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Paamokustannus	€ 36 976	€ 35 732	€ 35 732	€ 20 004	€ 17 172	€ 26 660	€ 17 413
Käyttökustannukset	43 352 €	31 989 €	34 000 €	22 400 €	19 845 €	40 910 €	33 585 €
Käsiteltävä vesimäärä	400 000 m ³ /a	400 000 m ³ /a	400 000 m ³ /a	400 000 m ³ /a	400 000 m ³ /a	400 000 m ³ /a	400 000 m ³ /a
Pumppausaika	5 000 h/a	5 000 h/a	5 000 h/a	5 000 h/a	1 000 h/a	5 000 h/a	1 000 h/a
Sähkoteho pumppausaikana	5 kW	5 kW	5 kW	4 kW	10 kW	5 kW	10 kW
Moottonpoittojen hinta, alv 0%	1,61 €/l				1,61 €/l		1,61 €/l
Polttoainekulut aggregaattilla	0,28 l/kW				0,28 l/kW		0,28 l/kW
Aggregaatin mitoituskerroin	4,00				4,00		4,00
Polttoainekulut aggregaatin käytössä	1,8 l/h				3,5 l/h		3,5 l/h
Aggregaatin huolto x tunnin välein	1 000 h				1 000 h		1 000 h
Aggregaatin huoltohinta kerralla	200 €				200 €		200 €
Sähkön hinta, alv 0%		0,15 €/kWh	0,15 €/kWh	0,15 €/kWh		0,15 €/kWh	
Sähkö verkosta		3 750 €/a	3 750 €/a	3 000 €/a		3 750 €/a	
Sähkö aggregaattilla	15 113 €/a				5 845 €/a		5 845 €/a
Kemikaalin kulutus	20 t/a	20 t/a	25 t/a	0 t/a		40 t/a	200 t/a
Kemikaaliannostus	49 g/m ³	49 g/m ³	63 g/m ³	0 g/m ³		100 g/m ³	500 g/m ³
Kemikaalikulutus käyttöpaikalla	450 €/t	450 €/t	450 €/t	0 €/t		450	40 €/t
Kemikaalikulutus	8 839 €/a	8 839 €/a	11 250 €/a	0 €/a		18 000 €	8 000 €/a
Neutraointiin kalkkikiveä	4 t/a	4 t/a	0 t/a	4 t/a		4 t/a	
Kalkkikiven hinta	100 €/t	100 €/t	100 €/t	100 €/t		40 €/t	
Kalkkikivikustannus	400 €/a	400 €/a	0 €/a	400 €/a		160 €/a	
Pintavalutus-kentän vuokra					500 €/a		500 €/a
Letteenporstori-oppaukset	1 000 €/a	1 000 €/a	1 000 €/a	1 000 €/a	500 €/a	1 000 €/a	500 €/a
Henkilökustannukset	15 000 €/a	15 000 €/a	15 000 €/a	15 000 €/a	10 000 €/a	15 000 €/a	15 000 €/a
Valvontamittauskustannukset	3 000 €/a	3 000 €/a	3 000 €/a	3 000 €/a	3 000 €/a	3 000 €/a	3 000 €/a
Vuotuiset kokonaiskustannukset	80 328 €/a	67 721 €/a	69 732 €/a	42 404 €/a	37 017 €/a	67 470 €/a	60 998 €/a



Kuva 52. Valumavesien puhdistuskustannusten arviointi. DS on DynaSand-hiekkasuodatin. PIX105 on rautasulfaatti saostuskemikaalina.

Puhdistusmenetelmien kustannukset (Kuva 52) eivät tulisi olla ainut kriteeri vertailla menetelmiä. Tarkastelussa tulee huomioida myös vastaanottavan vesistön vedenlaatu ja arvioida puhdistustarve sen mukaan. Vesiensuojelun perusrakenteet täyttävät harvoin puhdistusvaatimukset ilman lisärakenteita. Luonnonsuolle perustettu pintavalutuskenttä poistaa yleensä riittävästi kiintoainetta ja poistaa myös humusta ja ravinteita. Tutkimuskohteena ollut ojitetulle ja lannoitetulle suolle perustettu pintavalutuskenttä lisäsi humuksen ja fosforin pitoisuutta sekä happamoitti vettä.

Kvartsihiekkapatjalla varustettu konttihiekkasuodatin poistaa melko tehokkaasti kiintoainetta. Jos kvartsihiekan joukkoon lisätään kalkkikivihiekkaa tai käytetään pelkästään kalkkikivihiekkaa tai serpentiniittihiekkaa, kiintoaineen poistamisen lisäksi poistetaan jonkin verran humusta ja ravinteita sekä neutraloidaan lähtevää vettä.

Teollinen hiekkasuodin, esimerkiksi DynaSand, voi toimia hiekkasuodattimena kontin tavoin, mutta sitä voidaan käyttää myös kemikaloinnilla tehostettuna, koska siinä on jatkuva hiekan pesu ja silloin se kykenee poistamaan kiintoaineen ja saostetun sakan hyvin tehokkaasti. Kalkkikivihiekan lisääminen hiekan joukkoon neutraloi lähtevää vettä.

Hiekkasuodatinmenetelmä on tässä suunniteltu niin, että sillä pystytään käsittelemään kaikki tuotantoalueelta lähtevä vesi ympäristöluvan mukaiseen pitoisuuteen. Ympäristöluvasta poiketen tässä sallitaan hallittu ohipumppaus-/juoksutus lähtevän veden mittakaivon kautta.

10. Yhteenveto

Tavoitteena oli kehittää kustannustehokas, ympärivuotisesti toimiva soilta, turvetuotannosta, metsistä ja suopelloilta tulevien humusvesien puhdistusteknologia, joka perustuu maaperäainesten ja teollisuuden sivuvirtojen hyödyntämiseen puhdistuksessa. Tavoitteeksi asetettiin 50 %:n reduktio humukselle ja 20 %:n tavoite fosforille. Valumavesistä erotettu aines voitaisiin saada mahdollisesti maanparannuskäyttöön. Lisäksi kehitettiin humuksen mittaukseen sähkökemian perustuvaa jatkuvatoimista ja ympärivuotisesti toimivaa mittausta.

Laboratoriokokeet

Ison joukon maa-aineksia ja teollisuuden sivuvirtoja mahdollisuudet ja rajoitteet humusvesien puhdistuksessa tutkittiin. Kalkkituotteet ja serpentiniitti todettiin parhaiksi materiaaleiksi, koska niistä ei liukene haitallisia aineita ja ne nostavat pH:n lähelle neutraalia. Lyhytaikaisesti saavutettiin tavoitteiksi asetettuja reduktioita.

Jos tarvitaan merkittävää pitkäaikaista humuksen (liuennut orgaaninen aines) ja ravinteiden poistoa tarvitaan kemikaalisuostusta.

Teollinen hiekkasuodin, esimerkiksi DynaSand, toimii hiekkasuodattimena, mutta sitä voidaan käyttää myös kemikaloinnilla tehostettuna, koska siinä on jatkuva hiekan pesu ja silloin se kykenee poistamaan kiintoaineen ja saostetun sakan hyvin tehokkaasti. Jos hiekkana käytetään osittain kalkkikivihiekkaa, lähtevä vesi neutraloituu. Menetelmä yhdistettynä kemikaalisuostukseen tuottaisi puhtainta vettä 1–2 €/MWh (n. 10 % turpeen hinnasta) kalliimmalla hinnalla kuin pintavalutustekniikka eli kustannukset ovat noin kaksinkertaiset pintavalutuskenttään verrattuna. Kiintoaine-, humus- ja fosforipäästöt vähenevät ja pH pysyy hyväksyttävällä tasolla kalkin ansiosta.

Humuksen mittausmenetelmä

Jatkuvatoimista sähkökemiallisen humuksen mittausmenetelmää kehitettiin laboratoriokokein ja testattiin kenttäolosuhteissa. Laboratoriossa saatiin hyviä korrelaatioita humuspitoisuudelle ja häiriöaineiden vaikutuksille, mutta mittaus ei sovellu vielä jatkuvatoimiseen kenttämittaukseen.

Humusveden mikrobiologinen puhdistus

Kolme VTT:n kantakokeesta otettua sienikantaa kirkasti humusvettä. Parhaiten humusvettä kirkasti *P. chrysosporium* (vähemmän 45 %). *Streptomyces*.kannat

kasvoivat hyvin humusvedessä, mutta humusveden kirkastumista ei havaittu. Voimakas kasvu viittaa siihen, että bakteerit käyttivät hyväkseen veden ravinteita. Jatkokokeissa kannattaisi kantaja-aineista tehdä täytekappalekolonneja.

Humusveden konsentroidi

Humusveden konsentroidi sekä mikro-, että ultrasuodatuksella onnistui hyvin. Tosin ultrasuodatuksessa kalvopinta-alaa tarvitaan moninkertaisesti verrattuna mikrosuodatukseen. Ultrasuodatus pidättää arvoaineet hyvin konsentraattiin, mutta mikrosuodatuksella konsentraattiin saadaan enää 15 % arvoaineista. Kiintoainevapaan liuenneen aineen erotus jatkojalostukseen edellyttää ensin kiintoaineen poistoa mikrosuodatuksella ja siitä tulevan suodoksen konsentroidintia ultrasuodatuksella. Erotuksen kannattavuus edellyttää mahdollisten hyötyaineiden fraktioitavuuden selvittämistä ultrasuodatuskonsentraatista.

Kenttäpilotti PVK 2:lla

Nykyään joudutaan pintavalutuskenttä usein tekemään ojitetulle alueelle, mikä lisää oikovirtausten kautta kiintoaineen nousuriskiä valumavesissä. Mikäli alue on lannoitettu, kasvaa riski fosforipitoisuuden kohoamisesta valumavesissä.

Kenttäkokeissa kalkituksen vaikutus näkyi pH:ssa, joka nousi kalkinlevityksen jälkeen pintavalutuskentän näytteenottopisteissä sekä alapuolisessa mittakaivossa. PCC-tuotannon sivutuotteesta tehdyt kalkkikasat "kuoretuivat", jolloin kalkin reaktiokyky heikkeni, kalkki pitäisi saada sekoitettua PVK:lle pumpattavaan veteen. Fosforin ja TOC:n pitoisuuden nousu pintavalutuskentällä näyttäisi lievenevän kalkituksen vaikutuksesta. Tutkimuksen kohteena ollut pintavalutuskenttä poisti hyvin kiintoainetta, mutta lisäsi orgaanisen aineen sekä fosforin kuormitusta, sillä alue on aikoinaan metsälannoitettu. Metsä-/eristysajan fosfori-, typpi- ja kiintoainepitoisuudet olivat alempia ja TOC- ja DOC-pitoisuudet korkeampia kuin pintavalutuskentältä tulevan veden. Tarvitaisiin pidempiaikaista ympärivuotista seurantaa, jotta kalkin vaikutuksesta saataisiin tarkempaa tietoa pintavalutuskentän puhdistustehoon.

Alapuolisen Pirttijärven COD-pitoisuudet olivat korkeampia ja pH alhaisempi kuin turvetuotantoalueelta tulevan veden. Turvetuotannon ympäristölupapäätösten puhdistusvaatimuksia laadittaessa tulisi kiinnittää huomiota ennen kaikkea alapuolisen vesistön laatuun ja asettaa puhdistusvaatimukset sen mukaisesti. Alapuolisen vesistön sekä ympäristön kannalta on oleellista millaista vettä koko turvetuotantoalueelta tulee eikä se mikä on yksittäisen puhdistusmenetelmän reduktioprosentti. Puhdistusmenetelmällä saadaan sitä parempia reduktioita mitä suurempien pitoisuuksien vettä sinne ohjataan.

Hiekkasuodatuskontti PVK 1:llä

Kalkkikivihiekka- ja serpentiniitihiekkapatjalla varustettu konttisuodatin poisti melko tehokkaasti kiintoainetta ja lisäksi poistettiin jonkin verran humusta ja ravinteita sekä neutraloitiin lähtevää vettä. Reduktiot olivat humukselle (DOC) 11-16 %, fosforille 21–23 % ja kiintoaineelle 37 %. Mikäli kiintoaineesta otetaan pois hiekasta tuleva lisä, saadaan reduktioksi noin 60 %. Suodosten DOC pitoisuus oli noin 30 mg/l ja vastaavasti kiintoaineen pitoisuus noin 8 mg/l eli pitoisuudet olivat luon-

non humusvesien tasolla. Korkeammasta syötteen pitoisuudesta saatiin parempi kiintoainereduktio. Kalkkikivi ja serpentiini nostivat pH:n tasolle ≥ 7 . Pelkkä kvartsihiekkapatja poistaisi kiintoainetta, mikäli sen hiekan raekoko on sama kuin kalkkivihiekalla.

Hiekkasuodatuskonttia voisi soveltaa turvetuotantoalueen valmisteluvaiheen vesi- en käsittelyyn, metsätalouden valumavesien käsittelyyn esim. kunnostusojitusten yhteydessä, jatkuvaan käyttöön erityisesti siellä missä ei ole sopivaa aluetta pintavalutus- kentälle.

Jos puhdistustarve on lähinnä kiintoaineen poistamista, kehitteillä oleva hiekkasuodinkonttiin perustuva järjestelmä voisi olla riittävä menetelmä. Vain suotimen pesuvesi ohjataan kasteluvedeksi suometsäalueelle/valutus- kentälle. Pesuveden määrä olisi vain 1.5 % tavanomaiselle pintavalutus- kentälle menevästä vesimäärästä, jolloin tarvittava alue on paljon pienempi kuin normaali pintavalutus- kenttä. Fosforipäästö ja ohivirtaukset olisivat paljon pienempiä kuin ojitetun/lannoitetun pintavalutus- kentän tapauksessa, koska koekentällä fosfori ja humuspäästöt lisääntyivät.

Kehitetyn konttipuhdistusmenetelmän kustannukset ovat kalleimman eli kemikaal- linnin ja halvimman eli pintavalutus- kentän välissä, mutta se vaatii vielä jatkokehitystä.

Yleisiä ehdotuksia vesienkäsittelyjärjestelmiin

Huippuvirtaamat ovat ongelma kaikissa menetelmissä ja se esitetään ratkaista- vaksi tasausaltaalla silloin kun se suinkin on mahdollista. Sen kooksi arvioitiin 30000 m^3 (1,5 ha) 100 ha:n tuotantoalueelle.

Lumen sulamisvesiä voisi ohjata pintavalutus- kentän ohi jäätyneen kentän aikana. Ohjaavana suureena voisi olla esimerkiksi jatkuvatoiminen kiintoainemittaus.

Kovilla pakkasilla, kun kenttä on roudassa, veden pumppauksesta pintavalutus- kentälle kannattaisi luopua.

Veden syöttämistä pintavalutus- kentälle tulisi kehittää niin, että vältetään jääty- misongelmat ja oikovirtaukset.

Puhdistusmenetelmien arviointiin aloitettiin menetelmän kehittäminen, joka ottaa huomioon vastaanottavan vesistön pitoisuudet, maankäyttömuodosta lähtevän veden ennustetun laadun, eri päästöjen arvotuksen, puhdistusmenetelmien reduktiot ja kus- tannukset.

11. Projektissa syntyneet raportit ja julkaisut

- Heimala, E., Heimala S. 2012. Kirjallisuustutkimus luonnon mineraalien käytöstä suo-, metsä- ja pelto-ojien vesien puhdistuksesta. NRM Oy. 10 s. + 5 liitettä.
- Pirkonen, P. 2013. Turvetuotantoalueiden, metsätalouden ja maatalouden vesien suojeleminen nykytilalla. VTT tutkimusraportti. VTT-R-08698-12. 20 s.
- Heimala, S., Laitinen, S. 2013. HUMUSVESI-PROJEKTI. Humusvesien sähkökemialliset mittaukset – Loppuraportti – Vaihe 1. NRM Oy. 37 s.
- Pirkonen, P. *, Heikkinen, J. *, Seppänen, V. *, Poranen, J. *, Laitinen, S. **, Heimala, S. ** Humuksen poisto valumavesistä. Bioenergia Nr. 4, 2013, s. 34–36.
*VTT, **NRM Oy
- Heikkinen, J., Pirkonen, P., Seppänen, V. 2013. HUMUSVESI-hanke. Kirjallisuus selvitys. VTT-R-08135-13. 27 s.
- Pirkonen, P., Heikkinen, J., Seppänen, V. 2013. HUMUSVESI-hanke. Loppuraportti humusvesien ensimmäisen vaiheen puhdistuskokeista 01.05.2012–30.06.2013. VTT-R-04463-13. 37 s.
- Marjamaa, K., Vikman, M 2013. Humusaineiden biologinen hajotus. Humusvesi-projekti. Projektiraportti 2013. 12 s.
- Heikkinen, J., Seppänen, Pirkonen, P., Ihalainen, J., Pöntynen, R. Humusvesi-projektin Loppuseminaari 19.11.2014 Saarijärvi.
- Seppänen, V., Pirkonen, P., Heikkinen, J. Kenttäkokeiden puhdistustehon ja kustannusten arviointia. Humusvesi-projektin Loppuseminaari 19.11.2014 Saarijärvi.

- Siimekselä, T., Seppänen, V., Stenman, T., Lahtela, S., Vilkkilä, H., Lampila, T. 2014. HUMUSVESIEN PUHDISTUSTEKNOLOGIA. Kenttäkokeiden tulokset. Humusvesi-projektin Loppuseminaari 19.11.2014 Saarijärvi.
- Pirkonen, P., Heikkinen, J., Seppänen, V., Stenman, T., Siimekselä, T. 2014. HUMUSVESI-hanke. Loppuraportti humusvesien ensimmäisen vaiheen puhdistuskokeista 01.05.2012-30.06.2013. VTT-R05566-14. 37 s.
- Marjamaa, K., Vikman, M. 2014. Humusvedet-mikrobipuhdistus. Humusvesi-projekti. Projektiraportti 2014. 23 s.
- Pirkonen, P., Heikkinen, J., Seppänen, V., Stenman, T., Siimekselä, T. 2014. HUMUSVESI-hanke. Loppuraportti humusvesien toisen vaiheen puhdistuskokeista 01.07.2013–28.02.2015. VTT-R-05566-14. 42 s.
- Laitinen, S., Heimala, S., Vellonen, E., Heimala, E. 2014. HUMUSVESI-hanke, Sähkökemiallisen mittausmenetelmän perus- ja kenttätetit Pirtti-Peurusuolla 2014. NMR Oy. Projektiraportti. 19 s.
- Heikkinen, J., Pirkonen, P., Seppänen, V. 2015. Low cost sorbents for humic substances, solids and phosphorus removal from runoff waters from peat production fields. To be published in Journal of environmental protection.
- Heikkinen, J., Pirkonen, P., Seppänen, V. 2015. Comparison of low cost sorbents, dynamic sand filtration and membrane filtration for removal of humic substances from natural waters. To be published in Journal of Environmental Protection.
- Seppänen, V., Pirkonen, P., Heikkinen, J., Stenman, T. 2015. Turvetuotannon valumavesien puhdistusmenetelmät. Julkaistaneen Bioenergia-lehdessä.

Kirjallisuus

- Abate, G., Masini, J.C., 2003. Influence of pH and ionic strength on removal processes of a sedimentary humic acid in a suspension of vermiculite. *Colloids Surf. A* 226, 25–34.
- Akbour et al. 2002. Transport of Kaolinite Colloids through Quartz Sand: Influence of Humic Acid, Ca^{2+} and Trace Metals. *Journal of Colloid and Interface Science* 253, 1–8.
- Aluehallintovirasto 2012. Pirtti-Peurusuo turvetuotantoalueen ympäristölupapäätöksen lupamääräysten tarkistaminen ja laajennusalueen ympäristölupa sekä toiminnan aloittaminen. Päätös Nro 59/2012/1, Dnro LSSAVI/128/04.08/2010.
- Balcke et al. 2002. Adsorption of Humic Substances onto Kaolin Clay Related to Their Structural Features. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1805–1812.
- Capasso, S., Salvestrini, S., Coppola, E., Buondonno, A., Colella, C. 2005. Sorption of humic acid on zeolitic tuff: a preliminary investigation. *Appl. Clay Sci.* 28, 159–165.
- Chen, J.P., Wu, S. 2004. Simultaneous adsorption of copper and humic acid onto activated carbon. *J. Colloid Interface Sci.* 280, 334–342.
- Cornell University 2007. Cation Exchange Capacity (CEC), 2007.
- Daifullah, A.A.M., Girgis, B.S., Gad, H.M.H. 2004. A study of the factors affecting the removal of humic acid by activated carbon prepared from biomass material. *Colloids Surf. A* 235, 1–10.
- Doulia, D., Leodopoulos, C., Gimouhopoulos, K., Rigas, F. 2009. Adsorption of humic acid on acid-activated Greek bentonite. *J. Colloid Interface Sci.* 340, 131–141.
- Evanko, C.R., Dzombak, D.A. 1998. Influence of structural features on sorption of NOM analogue organic acids to goethite. *Environ. Sci. Technol.* 32, 2846–2855.
- Ferro-Garcia, M.A., Rivera-Utrilla, J., Bautista-Toledo, I., Moreno-Castilla, C. 1998. Adsorption of humic substances on activated carbon from aqueous solutions and their effect on the removal of Cr(III) ions. *Langmuir* 14, 1880–1886.

- Han, S., Kim, S., Lim, H., Choi, W., Park, H., Yoon, J., Hyeon, T. 2003. New nanoporous carbon materials with high adsorption capacity and rapid adsorption kinetics for removing humic acids. *Microporous Mesoporous Mater.* 58, 131–135.
- Sparks, D. 1995. *Environmental Soil Chemistry*. Academic Press, Inc.
- Hyxo Oy 2013. DynaSand hiekkasuodattimet, Esite 2013.
- Kaneco, S., Itoh, K., Katsumata, H., Suzuki, T., Masuyama, K., Funasaka, K., Hatano, K., Ohta, K. 2003. Removal of natural organic polyelectrolytes by adsorption onto tobermorite. *Environ. Sci. Technol.* 37, 1448–1451.
- Murphy, E., Zachara, J. 1995. The role of sorbed humic substances on the distribution of organic and inorganic contaminants in groundwater. *Geoderma* 67, 103–124.
- Nikkariinen, M., Kollanus, V., Anttoniemi, P., Kauppila, T., Holma, A., Räisänen, M., Makkonen, S., Tuomisto, J. (toim.). 2008. Metallien yhdennetty kohdekohtainen riskinarviointi. Kuopion yliopiston Ympäristötieteen laitoksen monistesarja 3/2008. Loppuraportti. Finmerac-projekti, Kuopio 2008.
- Nordkalk 2013. www.nordkalk.fi, 2013.
- Nurminen, P. 2013. Suullinen tiedonanto 2013. Metso Oyj.
- Pakkila, J. 2008. Pintavalutus arseenin ja typen poistossa Suurikuusikon kulta-kaivoksen valumavesistä. Diplomityö, Oulun yliopisto.
- Poutanen, H. 2012. Alkukemikaloinnin tehostaminen talousveden valmistuksessa. Diplomityö, Aalto-yliopisto.
- Ronkainen, N. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Suomen ympäristökeskus.
- Ränkman, E. 2010. Tekopohjavesiprosessin tarkastelu ja kehittäminen Nokian vesilaitoksella. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.
- Salman, M., El-Eswed, B., Khalili, F. 2007. Adsorption of humic acid on bentonite. *Appl. Clay Sci.* 38, 51–56.
- Sharma P., Dissertation 2010, As-mineral-humic substance interactions – Influence of natural organic matter on sorption and mobility of As, Eberhard Karls Universität Tübingen.

- Seppänen, V., 2010, Anaerobisten olosuhteiden vaikutus aggregaattien stabiili-suuteen happamassa sulfaattimaassa. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Helsingin yliopisto.
- Tashauoei et al. 2010. Removal of cadmium and humic acid from aqueous solutions using surface modified nanozeolite A. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 7 (3), 497–508.
- Vermeer, A.W.P., Van Riemsdijk, W.H., Koopal, L.K. 1998. Adsorption of humic acid to mineral particles. 1. Specific and electrostatic interactions. *Langmuir* 14, 2810–2819.
- Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J. 1997. Ympäristökijät ja niiden tutkiminen maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien liukoisuustutkimuksissa. VTT Tiedotteita 1852. VTT.
- Wang et al. 2007. Single and co-adsorption of heavy metals and humic acid on fly ash. <http://www.thaiscience.info/Article%20for%20ThaiScience/Article/4/Ts-4%20single%20and%20co-adsorp-tion%20of%20heavy%20metals%20and%20humic%20acid%20on%20fly%20ash.pdf>.
- Weng, L., Van Riemsdijk, W.H., Koopal, L.K., Hiemstra, T. 2006. Adsorption of humic substances on goethite: comparison between humic acids and fulvic acids. *Environ. Sci. Technol.* 40, 7494–7500.
- Weng, L., Van Riemsdijk, W.H., Hiemstra, T. 2007. Adsorption of humic acids onto goethite: effects of molar mass, pH and ionic strength. *J. Colloid Interface Sci.* 314, 107–118.
- Wibulswas, R., White, D.A., Rautiu, R. 1998. Removal of humic substances from water by alumina-based pillared clays. *Environ. Technol.* 19, 627–632.
- Yan, W.L., Bai, R. 2005. Adsorption of lead and humic acid on chitosan hydrogel beads. *Water Res.* 39, 688–698.

Nimeke	Humusvesien puhdistus
Tekijä(t)	Pentti Pirkonen, Veli Seppänen, Juha Heikkinen, Tarja Stenman, Tiina Siimekselä
Tiivistelmä	<p>EAKR-hanke HUMUSVESI kehitti kustannustehokasta humusvesien puhdistusteknologiaa. Puhdistuksessa hyödynnettiin maaperästä ja teollisuuden sivuvirroista lähtöisin olevien materiaalien sähkökemiallisia ominaisuuksia. Projekti toteutettiin yhteistyössä VTT:n, JAMK:n, NRM Oy:n, Keski-Suomen Metsäkeskuksen, Vapo Oy:n ja Turveruukki Oy:n kanssa. Ison joukon maa-aineksia ja teollisuuden sivuvirtoja mahdollisuudet ja rajoitteet humusvesien puhdistuksessa tutkittiin. Kalkkituotteet ja serpentiniitti todettiin parhaiksi materiaaleiksi. Lyhytaikaisesti saavutettiin tavoitteiksi asetettuja reduktioita. Jos tarvitaan merkittävää pitkäaikaista humuksen (liuennut orgaaninen aines) ja ravinteiden poistoa tarvitaan kemikaalisuostusta. Humusveden puhdistus kaupallisella hiekkasuodatustekniikalla yhdistettynä kemikaalisuostukseen tuottaisi puhtainta vettä 1-2 €/MWh kalliimmalla hinnalla kuin pintavalutustekniikka. Kiintoaine-, humus- ja fosforipäästöt vähenevät. pH pysyy hyväksyttävällä tasolla kalkan ansiosta. Sähkökemiallisen humusmittaus vaatii vielä jatkokehitystä. Pienimuotoisesti tutkittiin mikrobiologian ja kalvosuodatuksen mahdollisuuksia humusvesien puhdistuksessa.</p> <p>Ojitetulla pintavalutuskentällä saostetun kalsiumkarbonaatin (PCC) valmistusprosessin sivutuote nosti poistuvan veden pH:ta 1-1,5 yksikköä, ehkäisi fosforin liukenemistä ja poisti jonkin verran humusta, muttei riittävästi. Hiekkasuodinkontissa sekä kalkkikivi- ja serpentiniittihiekka nostivat pH:n neutraalille alueelle. Reduktioit olivat humukselle (DOC) 11-16 %, fosforille 21-23 % ja kiintoaineelle 37 % tai 60 %, mikäli kiintoaineesta otetaan pois hiekasta tuleva lisä. Suodosten pitoisuudet olivat DOC:lle noin 30 mg/l ja kiintoaineelle noin 8 mg/l eli ne olivat luonnon humusvesien tasolla. Jos tarvitaan vain kiintoaineen poistamista, hiekkasuodinkonttiin perustuva järjestelmä voisi olla riittävä menetelmä. Vain suotimen pesuvesi ohjattaisiin suomensäälueelle tai valutuskentälle kasteluvedeksi. Pesuveden määrä olisi 1,5 % tavanomaiselle pintavalutuskentälle menevästä vedestä, jolloin tarvittava alue on paljon pienempi kuin normaali pintavalutuskenttä. Fosforipäästö ja ohivirtaukset olisivat paljon pienempiä kuin ojitetun/lannoitetun pintavalutuskentän tapauksessa, koska koekentällä fosfori ja humuspäästöt lisääntyivät. Kehitetty konttipuhdistuslaitteisto on kustannuksiltaan edullinen, mutta menetelmä vaatii vielä jatkokehitystä. Ongelmalliset huippuvirtaamat esitetään ratkaistavaksi tasausaltailla silloin kun se suinkin on mahdollista ja mittauksen perusteella hallitulla ohijuoksutuksella. Lumen sulamisvesiä voisi ohjata pintavalutuskentän ohi jäätyneen kentän aikana. Ohjaavana suureena voisi olla jatkuvatoiminen kiintoainemittaus.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8309-6 (nid.) ISBN 978-951-38-8310-2 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-1211 (Painettu) ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)
Julkaisu-aika	Toukokuu 2015
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	83 s.
Projektin nimi	HUMUSVESI
Rahoittajat	EAKR (Keski-Suomen Liitto), Vapo Oy, Vapo Oy:n säätiö, Turveruukki Oy, Metsäkeskus ja VTT
Avainsanat	valumavedet, humus, turvetuotanto, puhdistus, saostus, sorptio
Julkaisija	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Title	Purification of humic waters
Author(s)	Pentti Pirkonen, Veli Seppänen, Juha Heikkinen, Tarja Stenman, Tiina Siimekselä
Abstract	<p>EAKR-project HUMUSVESI developed low cost purification method for humic waters. Purification was aided by materials originating from soil and side streams of industrial processes. Project was carried out in co-operation with VTT, JAMK, NRM Oy, Keski-Suomen Metsäkeskus, Vapo Oy and Turveruukki Oy. Pros and cons of great number of soil and industrial side stream materials were studied in the purification of humic waters. Calcium products and serpentinite proved to be the best materials. The goals of concentration reduction were obtained in short term laboratory runs. Anyway, chemical coagulation is needed, if the long lasting high reduction of humic substances (DOC) is claimed. Purification of humic water using commercial sand filtration technique combined with chemical precipitation would produce the cleanest water by 1–2 €/MWh more expensive price than the run off field method does. Discharges of solids, humic matter and phosphorus are lowered and pH stays at the approvable level due to calcium content. Electrochemical method developed for humic matter still needs development work before it is capable for field measuring. Microbiological method and membrane filtration studied in lab need basic research too.</p> <p>Side product from precipitated calcium carbonate process (PCC) raised 1–1.5 units of pH of run off water in the ditched over flow field, prevented solution of phosphorus and removed slightly humic matter, but not enough. Calcium carbonate- and serpentinite sands were used as filter material in filtration container. These substances raised pH of filtrate up to neutral stage. Concentration reduction was 11–16% for humic matter, 21–23% for phosphorus and 37% for solids. Solids reduction was 60%, if the extra inorganic load originating from filter sand was excluded. Concentration of humic matter in filtrates was about 30 mg/l and about 8 mg/l for solids. These values are quite similar to natural humic waters. Developed sand filtration container method could be suitable for run off waters, if mainly removal of solids is demanded. Only washing water from container is led to marsland forest/run of field. The amount of water is only 1.5% of the water flow to conventional run off field leading to much smaller need for surface area of run off field. This method low cost system, but still development work is needed. Problematic peak flows are suggested to be solved by using balancing basins in every case when it is possible and controlled bypass flow. Snow melting waters could be guided bypass the overland flow field through the solids measuring point, when the run off field is at frozen stage.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8309-6 (Soft back ed.) ISBN 978-951-38-8310-2 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-1211 (Print) ISSN 2242-122X (Online)
Date	May 2015
Language	Finnish, English abstract
Pages	83 p.
Name of the project	HUMUSVESI
Commissioned by	EAKR (Keski-Suomen Liitto), Vapo Oy, Vapo Oy:n säätiö, Turveruukki Oy, Metsäkeskus ja VTT
Keywords	run off waters, peat production, humic substances, purification, precipitation, adsorption
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland Ltd P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

Humusvesien puhdistus

EAKR-hanke HUMUSVESI kehitti kustannustehokasta humusvesien puhdistusteknologiaa. Puhdistuksessa hyödynnettiin maaperästä ja teollisuuden sivuvirroista lähtöisin olevien materiaalien sähkökemiallisia ominaisuuksia. Projekti toteutettiin yhteistyössä VTT:n, JAMK:n, NRM Oy:n, Keski-Suomen Metsäkeskuksen, Vapo Oy:n ja Turveruukki Oy:n kanssa. Ison joukon maa-aineksia ja teollisuuden sivuvirtoja mahdollisuudet ja rajoitteet humusvesien puhdistuksessa tutkittiin. Kalkkituotteet ja serpentiniitti todettiin parhaiksi materiaaleiksi. Jos tarvitaan merkittävää pitkäaikaista humuksen (liuennut orgaaninen aines) ja ravinteiden poistoa, tarvitaan kemikaalisaostusta. Humusveden puhdistus kaupallisella hiekkasuodatustekniikalla yhdistettynä kemikaalisaostukseen tuottaisi puhtainta vettä 1–2 €/MWh kalliimmalla hinnalla kuin pintavalutustekniikka. Kiintoaine-, humus- ja fosforipäästöt vähenevät, ja pH pysyy hyväksyttävällä tasolla kalkin ansiosta. Sähkökemiallinen humusmittaus vaatii vielä jatkokehitystä. Pienimuotoisesti tutkittiin mikrobiologian ja kalvosuodatuksen mahdollisuuksia humusvesien puhdistuksessa. Ojitetulla pintavalutuskentällä saostetun kalsiumkarbonaatin (PCC) valmistusprosessin sivutuote nosti poistuvan veden pH:ta 1–1,5 yksikköä, ehkäisi fosforin liukenemistä ja poisti jonkin verran humusta, muttei riittävästi. Hiekkasuodinkontissa sekä kalkkikivi-että serpentiniittihiekka nostivat pH:n neutraalille alueelle. Reduktiot olivat humukselle (DOC) 11–16 %, fosforille 21–23 % ja kiintoaineelle 37 % tai 60 %, mikäli kiintoaineesta otetaan pois hiekasta tuleva lisä. Suodosten pitoisuudet olivat DOC:lle ja kiintoaineelle luonnon humusvesien tasolla. Ongelmalliset huippuvirtaamat esitetään ratkaistavaksi tasausaltailla ja mittauksen perusteella hallitulla ohjauksutuksella.

ISBN 978-951-38-8309-6 (nid.)

ISBN 978-951-38-8310-2 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-1211 (Painettu)

ISSN 2242-122X (Verkkajulkaisu)