

Jussi Vittaniemi

KAKSOISSAOSTUS TEKOPOHJAVEDEN VALMISTUKSESSA

Kemiantekniikan koulutusohjelma

2016

KAKSOISSAOSTUS TEKOPOHJAVEDEN VALMISTUKSESSA

Vittaniemi, Jussi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Helmikuu 2016
Ohjaaja: Hannelius, Timo
Sivumäärä: 42
Liitteitä: 0

Asiasanat: Juomavesi, tekopohjavesi, kaksoissaostus, Dynasand-hiekkasuodin

Opinnäytetyön aihe oli kaksoissaostus tekopohjaveden valmistuksessa. Tarkoituksena oli tutkia, onko kaksoissaostus hyödyllinen menetelmä Harjakankaan tekopohjavesilaitoksella pienentämään imeytysaltaille veden mukana kulkeutuvista epäpuhtauksista syntyvää taakkaa.

Kaksoissaostus on kemiallinen vedenkäsittelymenetelmä, jossa puhdistettavaan veteen lisätään saostuskemikaalia kahteen otteeseen. Saostuskemikaalien käytöllä pyritään parantamaan veden epäpuhtauksien saostumista suuremmiksi partikkeleiksi, jotka pystytään poistamaan vedestä helpommin. Tyypillisesti veden epäpuhtaudet ovat suurikokoisia molekyyliä, joilla on negatiivinen varaus, joten ne hylkivät toisiaan. Saostuskemikaalit reagoivat veden ja edelleen epäpuhtauksien kanssa ja pienentävät niiden negatiivista pintavarausta mahdollistaen epäpuhtauksien saostumisen flokeiksi. Yleisimmin käytettyjä saostuskemikaaleja ovat ferrisulfaatti, alumiinisulfaatti ja polyalumiinikloridi.

Harjakankaan tekopohjavesilaitoksella on käytössä saostuskemikaalina polyalumiinikloridi, joten sitä käytettiin laboratoriokokeissa ja suuremman mittakaavan kokeissa Dynasand-hiekkasuodattimella. Lisäksi kokeita tehtiin käyttäen ferrisulfaattia saostuskemikaalina. Laboratoriokokeilla haettiin optimaalisia kemikaaliannostuksia suuremman mittakaavan kokeisiin. Laboratoriokokeet tehtiin vedellä, joka oli otettu prosessista selkeytyksen jälkeen ja ennen kuin vesi menee hiekkasuotimelle. Kummallakin saostuskemikaalilla tehdyistä kokeista huomattiin, että veden permanganaattilukua laski, mutta metalleja kulkeutui saostuskemikaalilisäyksen jälkeen suotimen läpi enemmän.

Suuremman mittakaavan kokeet tehtiin yhdellä Dynasand-hiekkasuotimella, joka oli koko ajan normaalissa toiminnassa. Saostuskemikaalit lisättiin veteen juuri ennen kuin vesi syötettiin hiekkasuotimeen. Suuremmissakin mittakaavassa suodosten analyysituloksista pystyttiin näkemään, että permanganaattiluku laski kummallakin saostuskemikaalilla enemmän kuin pelkkä hiekkasuodin ilman kemikaalilisäystä tekee. Lasku oli jopa selkeästi enemmän kuin laboratoriotutkimuksissa, mutta metallit kulkeutuivat paremmin suodattimen läpi. Tutkimuksesta huomattiin, että kaksoissaostuksesta on hyötyä veden permanganaattiluvun alentamisessa, mutta vastakohtana on se miten paljon metallien kulkeutuminen suotimen läpi vaikuttaa veden laatuun. Tämä vaatisi laajempaa jatkotutkimusta, jossa kaikkien parametrien vaikutukset pystyttäisiin selvittämään.

DUAL PRECIPITATION IN THE PRODUCTION OF ARTIFICIAL GROUNDWATER

Vittaniemi, Jussi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Chemical Engineering

February 2016

Supervisor: Hannelius, Timo

Number of pages: 42

Appendices: 0

Keywords: Drinking water, artificial ground water, dual precipitation, Dynasand-filter

The topic of this thesis was dual precipitation in the production of artificial groundwater. The aim was to study if dual precipitation is useful method in Harjakangas groundwater plant to reduce the burden to the impregnation pool caused by the impurities that are carried there with water.

Dual precipitation is a chemical water treatment method where coagulant is added to the purified water in two different stages. The aim for using coagulants is to ease the precipitation of the water impurities to bigger particles that are easier to remove from water. Typically water impurities are large molecules that have negative surface charge and therefore they repel each other. Coagulants react with water and further with the impurities and neutralize some of their negative charge making it possible for them to form flocs. Most common coagulants are ferric sulphate, aluminium sulphate and polyaluminiumchloride.

The coagulant used normally in the water treatment process in Harjakangas artificial groundwater plant is polyaluminiumchloride so it was used in both the laboratory experiments and in the bigger scale experiments with Dynasand-sandfilter. Experiments were made also with ferric sulphate as coagulant. The aim of the laboratory experiments was to find out optimal chemical dosages for the large scale experiments. Laboratory experiments were made with water taken from the process after clarification and before it goes into the sand filter. With both coagulants it was seen that the permanganate number of the water decreased, but metals were carried through the filter better after the coagulant addition.

Larger scale experiments were made with one Dynasand-filter that was in normal operation. Coagulants were added to the water just before the water was fed into the filter. Also with the larger scale analysis results could be seen that the permanganate number decreased with both coagulants more than the sand filter can do without the addition of coagulants. The decrease was even more than in laboratory tests, but metals were carried through the filter. From this research it can be said that the dual precipitation is suitable method for decreasing the permanganate number, but the opposite is how the metals carried through the filter affect the water quality. Further experiments are needed in order to find out how all the different parameters affect to the process.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	PORIN VESI.....	8
3	JUOMAVEDEN VALMISTUS.....	9
3.1	Suomessa yleisesti.....	9
3.2	Harjakankaan tekopohjavesilaitos.....	10
4	VEDENPUHDISTUKSESSA KÄYTETYT SAOSTUSKEMIKAALIT.....	11
5	DYNASAND HIEKKASUODIN.....	13
5.1	Toimintaperiaate.....	13
5.2	Kontaktisaostus / kaksoissaostus.....	15
6	KOKEELLINEN OSA.....	16
6.1	Laboratoriokokeet.....	16
6.2	Kokeet Dynasand-hiekkasuodattimella.....	25
7	TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	38
	LÄHTEET.....	41

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Porin Vedelle. Työssä on tarkoituksena tutkia mahdollisuuksia tekopohjaveden valmistusprosessin parantamiseen käyttämällä kaksoissaostusta. Kaksoissaostuksessa veteen syötetään saostuskemikaalia kahteen prosessivaiheeseen ja tällä pyritään parantamaan veteen liunneen kiintoaineen saostamista ja muodostuneen sakan poistamista. Työn kirjallisessa osassa selvitetään minkälaisia toteutuksia ja tutkimuksia aiheesta on olemassa. Kokeellisessa osassa pyritään optimoimaan prosessiolosuhteita muun muassa kemikaalisyötön ja pH:n suhteen, sekä laboratorio-olosuhteissa ja myös isommassa mittakaavassa Dynasand-hiekkasuotimella.

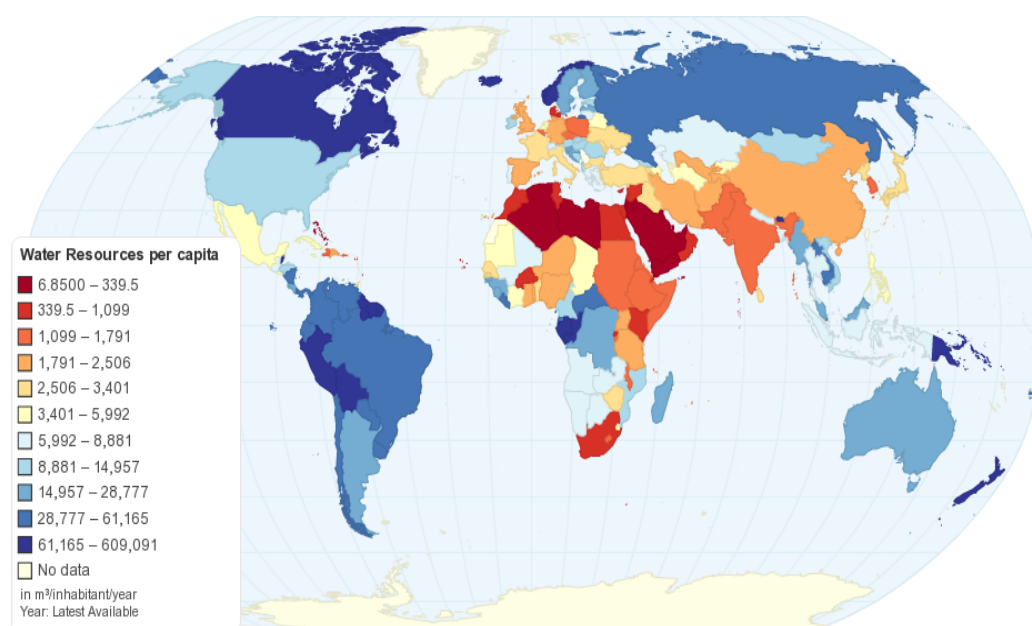
Puhtaan, turvallisen, juomaveden saatavuus on jo nykyisin ongelma joissain osissa maailmaa ja tämä ongelma on tulevaisuudessa pahenemassa maailman väestönkasvusta johtuen. Puhtaan juomaveden saatavuus on tärkeää ihmisten terveyden ja hyvinvoinnin kannalta ja se katsotaan perusihmisoikeudeksi. (WHO 2011, Preface xv). Maailman terveysjärjestö, WHO, arvioi että noin 20 prosentilla maapallon väestöstä ei ole saatavilla turvallista ja puhdasta juomavettä (Qtaishat & Banat 2013, 186).

Yli kaksi kolmasosaa maapallon pinta-alasta on vettä, mutta 99,3 prosenttia tästä vesimäärästä on juomavedeksi kelpaamatonta, se on joko liian suolaista, merivettä tai saavuttamatonta, kuten jäätiköt. Veden ajatellaan olevan juomakelpoista kun se sisältää alle 500 ppm eri suoloja. (Qtaishat & Banat 2013, 186) Taulukossa 1 on esitetty joitain juomavedelle asetettuja standardiarvoja, taulukossa on esitetty Yhdysvaltalaiset, Euroopan Unionin ja Maailman terveysjärjestön asettamat standardit (Hanrahan 2012, 121).

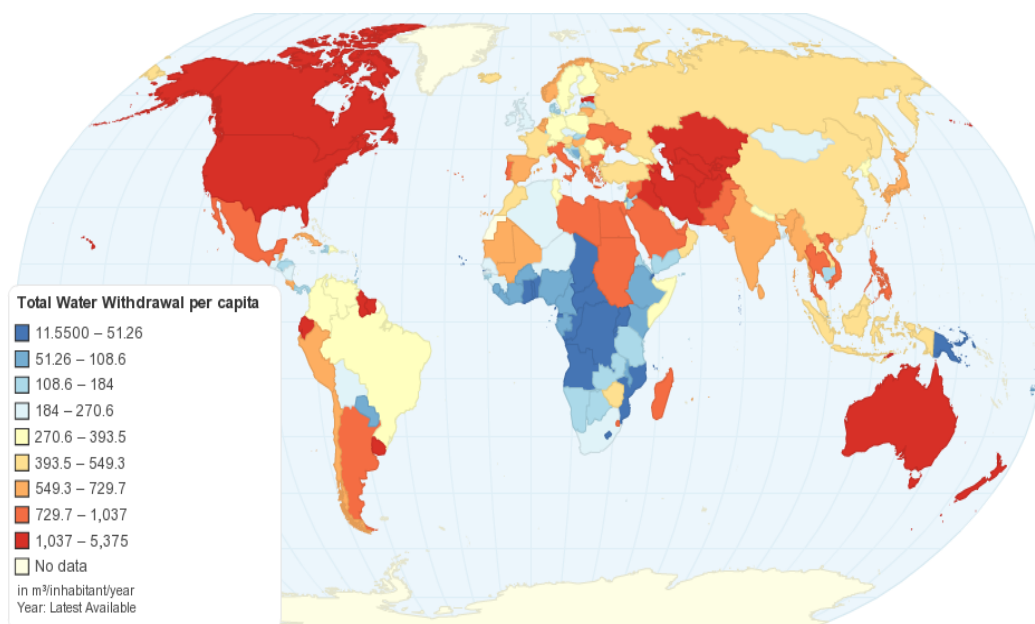
Taulukko 1. Vertailutaulukko juomavedelle Yhdysvaltojen, Euroopan Unionin ja Maailman terveysjärjestön asetetuista standardeista (Hanrahan 2012, 121).

Epäpuhtaus	US EPA Standardi (1996)	EU standardi (1998)	WHO standardi (1993)
Akryyliamidi	Zero	0,0001 mg/l	0,0005 mg/l
Arsenikki	0,01 mg/l	0,01 mg/l	0,01 mg/l
Barium	2 mg/l	2 mg/l	Ei listattu
Bentseeni	0,005 mg/l	0,001 mg/l	0,001 mg/l
Bentso(a)pyreeni	0,0002 mg/l	0,0001 mg/l	Ei listattu
Cadmium	0,005 mg/l	0,005 mg/l	0,003 mg/l
Väri	15 väri yksikköä	Ei listattu	Ei listattu
Kupari	1 mg/l	2 mg/l	2 mg/l
1,2-Dikloorietaani	0,005 mg/l	0,003 mg/l	0,003 mg/l
Rauta	0,3 mg/l	0,2 mg/l	Ei listattu
Lyijy	0,015 mg/l	0,01 mg/l	0,01 mg/l
Elohopea (epäorgaaninen)	0,002 mg/l	0,001 mg/l	0,001 mg/l
Nitraatti	10 mg/l	50 mg/l	50 mg/l
Haju	3 haju kynnystä	Ei listattu	Ei listattu
pH	6,5-8,5	Ei listattu	Ei listattu
Seleeni	0,05 mg/l	0,01 mg/l	0,01 mg/l
Sulfaatti	250 mg/l	250 mg/l	500 mg/l
Kokonais liuennut kiintoaine	500 mg/l	Ei listattu	Ei listattu
Sinkki	5 mg/l	Ei listattu	3 mg/l

Kuvissa 1 ja 2 on esitetty maapallon uusiutuvien vesivarojen kokonaismäärä asukasta kohden ja veden kokonaiskulutus asukasta kohden vuonna 2012.



Kuva 1. Uusiutuvien vesivarojen kokonaismäärä asukasta kohden eri maissa (Chartsbin 2013).



Kuva 2. Veden kokonaiskulutus asukasta kohden eri maissa (Chartsbin 2013).

Ihminen tarvitsee vuorokaudessa puhdasta vettä ainakin 20-50 litraa. Suomalaisten nykyinen vedenkulutus on keskimäärin noin 155 litraa henkilöä kohden vuorokaudessa. Suomessa on asetettu vedenkulutuksen tavoitteeksi 130 litraa henkilöä kohden, eli jonkin verran kulutusta pitäisi vähentää. Kuvassa 3 on esitetty karkea arvio miten vuorokauden vedenkulutus jakautuu. (Pelto-Huikko & Vieno 2009, 4)



Kuva 3. Karkea jakauma vuorokautisesta vedenkulutuksesta (Pelto-Huikko & Vieno 2009, 4).

Taulukossa 2 on esitetty vertailun vuoksi veden vuorokausikulutuksia eri maissa (Pelto-Huikko & Vieno 2009, 5).

Taulukko 2. Puhtaan veden vuorokausikulutuksia henkilöä kohden eri maissa (Pelto-Huikko & Vieno 2009, 5).

Maa	Vedenkulutus (l/asukas/vrk)
Suomi	155
Espanja	170
Tanska	128
Australia	315 – 330
Senegal	30
Eritrea	10 – 20
USA	> 400

2 PORIN VESI

Porin vesi on Porin kaupungin omistama liikelaitos, joka vastaa veden käsittelystä aina raakaveden hankinnasta jäteveden käsittelyyn Porin kaupungin alueella. Porin vesi on jaettu kahteen toiminnalliseen yksikköön, toinen vastaa talousveden valmistuksesta ja jäteveden käsittelystä, toinen vastaa vesijohtoverkoston toiminnasta. Taulukossa 3 on esitetty joitain tilastotietoja Porin veden toiminnasta vuonna 2012. (Porin kaupungin www-sivut 2015)

Taulukko 3. Tilastotietoja Porin veden toiminnasta vuonna 2014 (Porin kaupungin www-sivut 2015).

Pumpattu vesimäärä, 1000m ³	6272
Laskutettu vedenkuluttajilta, 1000m ³	5246
Puhdistettu jätevesimäärä, 1000m ³	10552
Laskutettu jätevesi, 1000m ³	4483
Verkostopituudet, km	
Vesijohtoverkosto	715
Jätevesiverkosto	557
Hulevesiverkosto	368

Porin seudun talousvesi on pääasiassa valmistettu Harjakankaan tekopohjavesilaitoksella, Ahlaisissa talousvesi on normaalia pohjavettä, Laviaan vesi ostetaan Kankaanpäästä. Porissa, Lukkarinsannassa, on täyden mittakaavan varavesilaitos, joka voidaan ottaa käyttöön tarvittaessa. Porin jätevedet käsitellään pääasiallisesti Luotsinmäen jätevedenpuhdistamolla. Pienempiä jätevedenpuhdistamoja on myös Ahlaisissa ja Reposaaressa (Porin kaupungin www-sivut 2015).

3 JUOMAVEDEN VALMISTUS

3.1 Suomessa yleisesti

Suomessa juomavesi valmistetaan pohjavedestä tai jokien ja järvien pintavesistä. Merivedestäkin on mahdollista valmistaa juomavettä, mutta käytettävät menetelmät ovat huomattavasti kalliimpia käyttää. Suomessa meriveden käyttö juomaveden valmistukseen ei ole tarpeellista johtuen runsaasta ja puhtaasta pinta- ja pohjaveden saatavuudesta. Juomavettä valmistetaan merivedestä pääasiallisesti Lähi-idässä ja muilla vastaavilla alueilla joissa ei ole tarpeeksi pinta- tai pohjavettä saatavilla tai nämä ovat pahasti saastuneita.

Suomessa pohjavedet ovat yleisesti ottaen juotavaksi kelpavia sellaisenaan. Suurelta osin ainoa tarvittava vedenkäsittely menetelmä on veden pH:n nosto, eli alkalointi, ennen verkostoon pumppaamista. Tämä tehdään sen vuoksi, että Suomalaiset pohjavedet ovat lievästi happamia ja tästä johtuen vesi saattaa aiheuttaa putkistoissa syöpymistä ja siten lyhentää putkistojen käyttöikää. (Pelto-Huikko & Vieno 2009, 8).

Pintavesissä on huomattava määrä erilaisia epäpuhtauksia, esimerkiksi liuennutta kiintoainetta tai mikrobeja, joten vedet puhdistetaan eri menetelmiä käyttäen ennen verkostoon johtamista. Pintavesilaitoksella suurin osa veden epäpuhtauksista poistetaan kemiallisen saostuksen avulla. Saostuksessa veteen lisätään saostuskemikaalia hitaasti sekoittaen. Kemikaali muodostaa veden epäpuhtauksien kanssa suurempia yhdisteitä, flokkeja, jotka puhdistetaan vedestä joko painovoiman avulla antamalla flokkien laskeutua saostusaltaan pohjalle tai nostamalla ne pinnalle ilmakuplien avulla flotaatiossa. Sakka poistetaan ja puhdistunut vesi johdetaan jatkokäsittelyyn. Saostuksen jälkeen yleinen vedenkäsittelymenetelmä on suodatus hiekan läpi, tällä poistetaan kemiallisen saostuksen jälkeen veteen jääneitä pieniä hiukkasia. Vesi voidaan suodattaa myös aktiivihiekin läpi. Tätä menetelmää käytetään erityisesti jos vedessä on yhdisteitä jotka voivat aiheuttaa pahaa makua tai hajua veteen. Puhdistettu vesi on usein liian hapanta johdettavaksi suoraan vesijohtoverkostoon, joten se alkaloidaan, eli pH nostetaan yleensä välillä 7,5 – 8,5. Veden alkaloimiseen käytetään yleensä kalkkia tai lipeää. Juomavesi myös desinfioidaan ennen kuin se johdetaan vesijohto-

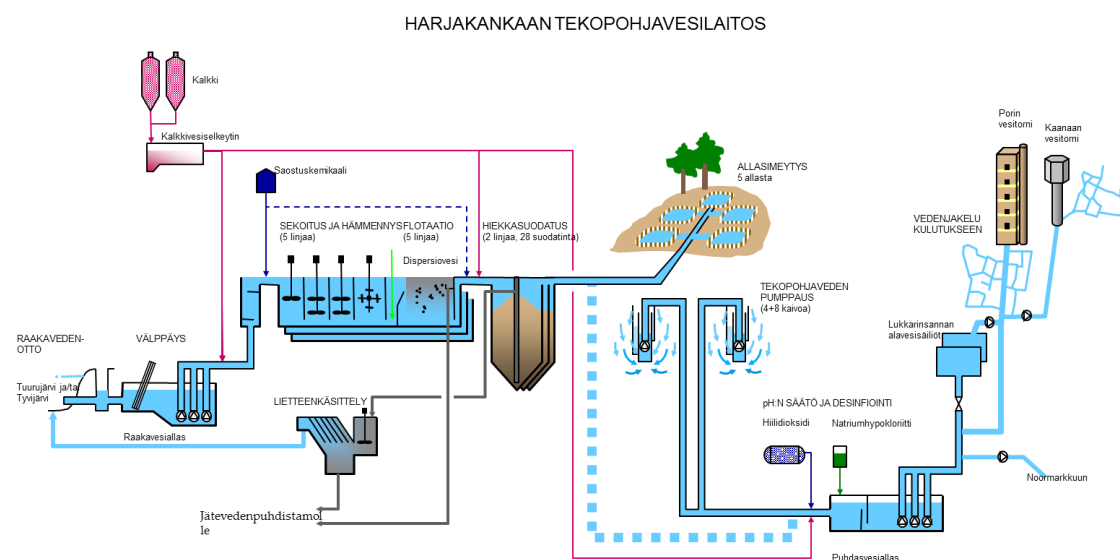
verkostoon. Tällä estetään terveydelle haitallisten mikrobin kulkeutuminen kuluttajille veden mukana. Desinfiointi toteutetaan klooraamalla, otsonoinnilla tai UV-valolla. Klooraus on yleisimmin käytetty menetelmä, jossa veteen lisätään kloorikemikaalia, jolloin veteen jäävä klooriylijäämä ylläpitää veden laatua myös verkostossa. UV-valoon perustuva desinfiointi on käytössä erityisesti pohjavesilaitoksilla. (Pelto-Huikko & Vieno 2009, 9-10) Suomessa toimivat vesilaitokset ovat joko pinta-pohja- tai tekopohjavesilaitoksia.

3.2 Harjakankaan tekopohjavesilaitos

Tekopohjavesi on maahan imeytettyä pintavettä, jolla lisätään luonnollisen pohjaveden määrää. Tekopohjavesilaitokset sijaitsevat tavallisesti harjualueilla, joiden maaperä on veden imeytyksen kannalta suotuisaa. Pintavesi yleensä käsitellään ennen imeyttämistä, mutta joissain tapauksissa se voidaan imeyttää myös ilman käsittelyä. Harjakankaan tekopohjavesilaitos sijaitsee Noormarkussa, Tyvijärven rannalla ja tuottaa talousveden Porin alueelle. Talousvesi valmistetaan kahden järven, Tuurujärven ja Tyvijärven vesistä. Laitoksen pääasiallinen raakaveden lähde on Tuurujärvi, joka sijaitsee Kullaalla noin 9 kilometrin päässä laitokselta, sieltä vesi johdetaan laitokselle putkea pitkin. Tyvijärven veden humuspitoisuus on huomattavasti suurempi kuin Tuurujärven, joten sen veden puhdistus on hankalampaa, joten sitä käytetään yleensä vain varavesilähteenä. (Porin kaupungin www-sivut 2015)

Vesi puhdistetaan Harjakankaalla kahdessa vaiheessa, ensin on mekaaninen ja kemiallinen epäpuhtauksien saostus ja sen jälkeen tekopohjaveden valmistus imeyttämällä. Puhdistusprosessin ensimmäinen vaihe on, että raakavesi johdetaan laitokselle koneväljän, 3 millimetrin siivilän, läpi. Tässä vaiheessa vedestä poistetaan isommat roskat, kuten puitten lehdet. Välppä myös estää kalojen joutumisen puhdistusprosessiin. Väljän jälkeen veden pH säädetään kalkin avulla halutulle tasolle ja saostuskemikaali lisätään veteen. Harjakankaalla saostuskemikaalina käytetään polyalumiinikloridia. Kemikaalien lisäyksen jälkeen vesi pumpataan saostusaltaisiin, joissa sitä sekoitetaan ensimmäisessä vaiheessa voimakkaasti ja toisessa rauhallisemmin. Saostuksen jälkeen vesi kulkeutuu flotaatioaltaisiin, joissa saostumat nousevat pinnalle ilman avulla. Muodostunut liete kaavitaan veden pinnalta ja johdetaan viemärin kaut-

ta jätevedenpuhdistamolle Luotsinmäelle. Flotaation jälkeen selkeytynyt vesi johdetaan Dynasand-hiekkasuodattimiin, jotka poistavat vedestä lisää epäpuhtauksia, joita siihen on vielä jäänyt. Dynasand suodattimien pesuvedet johdetaan selkeyttimelle, jossa epäpuhtaudet saostetaan lietteeksi. Selkeyttimeltä tuleva vesi johdetaan takaisin prosessiin raakaveden joukkoon ja syntynyt liete menee jätevedenpuhdistamolle. Hiekkasuotimien jälkeen vesi johdetaan imeytysaltaisiin, joista se imeytyy harjuun. Harjussa vesi viipyy 2-3 viikkoa jonka jälkeen se pumpataan takaisin laitokselle desinfiointia ja pH säätöä varten. Tämän jälkeen vesi on valmista pumpattavaksi asiakkaille. Kuvassa 4 on esitetty kaaviokuva Harjakankaan tekopohjavesilaitoksen prosessista. (Porin kaupungin www-sivut 2015)



Kuva 4. Kaaviokuva Harjakankaan tekopohjavesilaitoksesta (Porin kaupungin www-sivut 2015).

4 VEDENPUHDISTUKSESSA KÄYTETYT SAOSTUSKEMIKAALIT

Juomaveden valmistuksessa humuksen ja muun kiintoaineen poistaminen raakavedestä tapahtuu yleensä lisäämällä veteen saostuskemikaalia. Yleisimmät käytetyt saostuskemikaalit ovat ferrisulfaatti ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), alumiinisulfaatti ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ja polyalumiinikloridi. Polyalumiinikloridi on yleisnimi alumiinipohjaisille saostuskemikaaleille.

leille, joita valmistetaan alumiinihydraatista ja suolahaposta (Kemiran www-sivut 2016). Polyalumiinikloridilla ei ole yksittäistä selkeää molekyylikaavaa, vaan polyalumiinikloridin kohdalla kaava esitetään yleisessä muodossa $Al_n(OH)_mCl(3n-m)$ (NCSU:n www-sivut 2016). Yhteinen tekijä kaikilla saostuskemikaaleilla on se, että ne ovat happamia ja laskevat huomattavasti veden pH:ta. Tästä johtuen veteen lisätään saostuskemikaalin lisäksi alkalointikemikaalia, suurilla vedenkäsittelylaitoksilla yleensä kalkkia ja pienemmillä laitoksilla soodaa tai lipeää, jotta saavutettaisiin saostuskemikaalin toiminnan kannalta optimaalinen pH arvo. Optimi pH on ferrisulfaattilla noin 5 ja alumiinipohjaisilla kemikaaleilla noin 6. (Wikipedian www-sivut 2015) Saostuskemikaaleista ferrisulfaatti on pH säädön suhteen hankalampi käyttää, pH:n tulee olla hyvin lähellä optimaalista, jotta saataisiin hyvä puhdistustulos. Alumiinipohjaiset saostuskemikaalit eivät ole ihan yhtä tarkkoja pH säädön suhteen, sillä niillä on laajempi pH alue, millä ne toimivat hyvin. Tämän työn kokeellisessa osassa käytettiin kahta eri saostuskemikaalia: polyalumiinikloridia (Pac) ja ferrisulfaattia (PIX). Käytetty polyalumiinikloridi oli Harjakankaan tekopohjavesilaitoksella nykyisin käytettävä Eka Chemicalsin polyalumiinikloridi Eka WT 91. Ferrisulfaattina käytettiin Kemiran tuotetta PIX-322.

Saostuskemikaalien käytöllä, eli kemiallisella saostuksella, pyritään poistamaan vedestä siinä olevat orgaaniset aineet, mikrobit sekä liuenneet epäorgaaniset aineet kuten rauta. Kemiallinen saostus poistaa suurimman osan näistä epäpuhtauksista vedestä. Suurin osa vedessä olevasta orgaanisesta aineksestä on humusaineita. Humuksella tarkoitetaan humifioitunutta ainesta, joka antaa vedelle sen tunnusomaisen tumman värin. Humusaineet esiintyvät vedessä liukoisina, kolloideina sekä kiinteässä muodossa ja ne jaotellaan yleensä kolmeen osaan: humushappoihin, fulvohappoihin ja humiineihin. Humushapot ovat se osa humusaineista, joka liukenee veteen, kun pH on yli 2, fulvohapot ovat vesiliukoisia pH-arvosta riippumatta ja humiinit eivät liukene veteen missään pH:ssa. Humusaineet koostuvat useista erilaisista suurista ja monimutkaisista hiilyyhdisteistä ja vaikka niitä on tutkittu runsaasti, niin siltikään niiden tarkkaa rakennetta ei ole pystytty selvittämään. (Kurri 2011, 4,9)

Veden epäpuhtaudet kuten humusaineet ovat suurikokoisia molekyylijä, joilla on negatiivinen pintavaraus, joten ne hylkivät toisiaan. Epäpuhtauksien saostuminen alkaa, kun veteen lisätään saostuskemikaalia. Kemikaalin tarkoituksena on neutraloi-

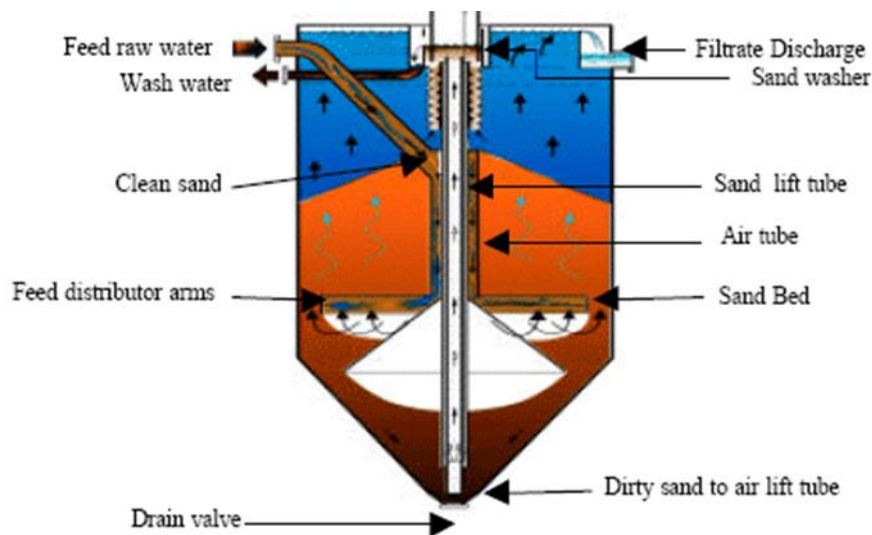
da epäpuhtauksien negatiivista pintavarausta, jolloin epäpuhtaudet voivat kerääntyä yhteen ja muodostaa suurempia hiutaleita, flokkeja. Esimerkiksi kun veteen lisätään rautasulfaattia (FeSO_4), se liukenee veteen muodostaen Fe^{2+} - ja SO_4^{2-} -ioneiksi. Fe^{2+} hapettuu edelleen Fe^{3+} :ksi ja hydrolysoituu edelleen erilaisiksi positiivisiksi ioneiksi, kuten $\text{Fe}(\text{OH})_2^-$. Nämä hydroksidi-ionit neutraloivat epäpuhtauksien negatiivista pintavarausta. (Pelto-Huikko & Vieno 2009, 9) Aluksi vettä sekoitetaan nopeasti, jotta saostuskemikaali saadaan sekoittumaan veteen kunnolla ja saostusprosessi alkuun. Pikasekoituksen aikana alkaa muodostua hienojakoista sakkaa. Tämän sakan kokoa kasvatetaan sekoittamalla vettä hitaasti hämmennysaltaassa, jolloin veteen muodostuu suurempia hiutaleita. Hidas sekoitus kestää yleensä noin 30-45 minuuttia. Sekoituksen jälkeen vesi menee selkeytykseen, jossa veteen muodostuneet flokit erotetaan vedestä joko laskeuttamalla ne altaan pohjalle, tai nostamalla ilmakuplien avulla veden pinnalle (flotaatio). Suomessa flotaatio on yleisin selkeytystapa. Selkeytynyt vesi johdetaan tämän jälkeen suodatukseen, yleensä hiekkakerroksen läpi, jossa hiekka poistaa suurimman osan veteen selkeytyksessä jääneestä kiintoainejäämästä. (Wikipedian www-sivut 2016)

5 DYNASAND HIEKKASUODIN

5.1 Toimintaperiaate

Dynasand-hiekkasuodin on vedenkäsittelyyn Ruotsissa 1970-luvun loppupuolella kehitetty jatkuvatoiminen suodin, jossa veden epäpuhtaudet tarttuvat suodattimen hiekkapatjaan. Jatkuvatoimisena suodattimena Dynasand-suodatinta ei tarvitse erikseen pysäyttää puhdistamista varten, kuten perinteisiä suodattimia, joissa hiekkapatjan puhdistus tehdään takaisinvirtauksen avulla. Dynasandissa suodatushiekan puhdistus tapahtuu siten, että pieni osa suodatetusta vedestä johdetaan suodattimessa olevaan hiekan pesuriin ja käytetään siellä hiekan puhdistamiseen. Jatkuvatoimisuuden lisäksi muita Dynasandin etuja ovat se, että suodattimessa ei ole liikkuvia osia, joten huollon ja kunnossapidon tarve on minimaalinen sekä se, että energian ja kemikaalien kulutus on vähäisempää kuin monessa muussa veden puhdistukseen käytettävässä sovelluksessa. Dynasand-suodattimista on useita eri malleja, joilla on hieman

eri toimintaperiaatteet ja joita voidaan käyttää eri tarkoituksiin. Dynasand-suodattimia käytetään erityisesti juomaveden ja teollisuuden prosessivesien valmistukseen sekä jätevesien puhdistukseen. (Hyxon www-sivut 2015, Nordicwaterin www-sivut 2015) Kuvassa 5 on esitetty kaaviokuva Dynasand-suodattimesta (Magram & Azeem 2008, 53).



Kuva 5. Kaaviokuva Dynasand-suodattimen toiminnasta (Magram & Azeem 2008, 53).

Kuvasta 5 nähdään Dynasand-hiekkasuodattimen toimintaperiaate. Puhdistettava vesi syötetään suodattimen yläosaan (feed raw water), josta se johdetaan putkea pitkin jakotukille (feed distributor arms), hiekkapatjan (sand bed) alapuolelle. Syötetty vesi nousee tämän jälkeen hiekkapatjan läpi ja epäpuhtaudet sitoutuvat hiekkaan. Samanaikaisesti likaantunut hiekka valuu hiljalleen vastavirtaan alaspäin mammuttipumpuun, josta se ilman välityksellä nousee ylös hiekan pesuriin (sand washer). Pesurissa hiekan jo mammuttipumpussa alkanut puhdistus jatkuu, kun se valuu pesurissa alaspäin puhtaan suodatetun veden läpi. Likaantunut pesuvesi poistuu suodattimesta pesuvesiyhteen (wash water) kautta ja puhdistettu vesi poistuu ylivuotoreunan ja pois-tyhteen kautta (filtrate discharge). (Magram & Azeem 2008, 53)

5.2 Kontaktisaostus / kaksoissaostus

Kontaktisaostus tai kontaktisuodatus perustuu siihen, että suodatettava neste johdetaan suodattimeen, joka on täytetty hiekalla, aktiivihieillä tai jollain muulla sopivalla suodatusmateriaalilla. Suodatettavan nesteen sisältämät epäpuhtaudet tarttuvat suodattimen täytemateriaaliin. Juomaveden valmistuksessa kontaktisuodattimen täyteenä on yleensä hiekka, jätevesien puhdistuksessa täyteaine voi olla muukin. Vedenpuhdistuksessa käytettäviä hiekkasuodattimia on kolmea päätyyppiä: nopea hiekkasuodin, vastavirtatoiminen hiekkasuodin ja hidas hiekkasuodatin. Kaikki hiekkasuotimet toimivat saman periaatteen mukaan, hiekkapatja sieppaa veden epäpuhtaudet hiekanjyvästen pinnalle joko suoran törmäyksen aiheuttaman tarttumisen takia tai sähkökemiallisten voimien takia. Kaksi ensimmäistä tyyppiä, nopea- ja vastavirtasuodin tarvitsevat saostuskemikaalin lisäystä veteen toimiakseen tehokkaasti. Tämä johtuu siitä, että vesi pumpataan suodattimen läpi ja kontaktiaika hiekkaan on sen vuoksi niin alhainen, että ilman saostuskemikaalien muodostamia suurempia epäpuhtausflokkeja epäpuhtaudet pääsevät hiekkasuotimen läpi. Hidas hiekkasuodin taas toimii painovoimaisesti ja sillä on yleensä niin pitkä kontaktiaika, jottei erillisiä saostuskemikaaleja tarvitse käyttää. (Wikipedian www-sivut 2016)

Kaksoissaostuksella tarkoitetaan yleensä kaksivaiheista kemiallista saostusprosessia, jossa molemmissa vaiheissa käytetään saostuskemikaalia saostuksen apuna. Kaksoissaostus ei ole kovin yleinen menetelmä juomaveden valmistuksessa siten, että vaikka saostuksessa syntyneen lietteen puhdistusprosessi on yleensä kaksivaiheinen, flotaatio plus hiekkasuodin/muu selkeytin, niin vain ensimmäinen vaihe on kemiallinen eli saostuskemikaalia syötetään prosessiin vain saostusvaiheeseen alussa. Toinen puhdistusvaihe perustuu mekaaniseen erotukseen.

Turun vesilaitoksella on käytössä kaksoissaostus juomaveden valmistuksessa. Raakaveden käsittely tapahtuu kaksivaiheisella kemiallisella saostuksella, jossa molemmissa vaiheissa saostuskemikaalina on ferrisulfaatti. Ensimmäisessä saostusvaiheessa käytetty erotustekniikka on flotaatio, ja toisessa vaiheessa noin puolet vedestä käsitellään pystyselkeytyksellä ja loput flotaatiolla. Saostuksessa lietteen erottumista tehostetaan vielä polymeerisyötöllä, ensimmäiseen vaiheeseen sitä syötetään kylmän veden aikana ja toiseen vaiheeseen jatkuvasti. Saostusvaiheiden välissä veteen syöte-

tään klooridioksidia, jotta liukoinen rauta ja mangaani saadaan hapetettua saostuksella erottuvaan muotoon. Toisen saostusvaiheen jälkeen vesi menee vielä aktiivihiilisuodatuksen läpi. Tämä aktiivihiilisuodatus toimii sekä mekaanisena suodattimena, että makua ja hajua aiheuttavien yhdisteiden poistajana. (Turun kaupungin www-sivut 2016)

6 KOKEELLINEN OSA

6.1 Laboratoriokokeet

Laboratoriokokeiden avulla etsittiin sopivia kemikaaliannostuksia käytettäväksi suuren mittakaavan tutkimuksissa, jotka tehtiin Dynasand-hiekkasuotimella. Laboratoriokokeissa käytettiin Harjakankaan pohjavesilaitoksen selkeytyksestä tulevaa vettä, joka menee selkeytyksen jälkeen hiekkasuotimeen. Tämä vesi suodatettiin laboratoriossa hiekkasuotimesta otetun hiekan läpi kemikaaliannostuksia vaihdellen, jolloin pyrittiin löytämään optimaaliset kemikaalilisäykset ja paras mahdollinen suodatus pH. Jokaiselle päivälle, kun laboratoriossa tehtiin suodatusta, selkeytyksestä tulevasta vedestä mitattiin alkuarvot. Mitatut arvot olivat aina pH, sameus, permanganaattiluku (KMnO₄), alumiinipitoisuudet (Al). Rautapitoisuuden (Fe) lähtöarvo mitattiin aina, jos ferrisulfaattia käytettiin laboratoriosuodatuksissa. Taulukossa 4 on esitetty alkuarvot laboratoriotutkimuksissa käytetyille vesille.

Taulukko 4. Alkuarvot laboratoriotutkimuksissa käytetyille vesille.

Päivämäärä	pH	Sameus [NTU]	KMnO ₄ [mg/l]	Al [mg/l]	Fe [mg/l]
17.3.2015	6,22	0,404	13	0,242	-
18.3.2015	6,14	0,442	11,5	0,283	0,015
19.3.2015	6,13	0,489	13,2	0,215	0,02
20.3.2015	6,23	0,44	12,6	0,223	-
23.3.2015	6,22	0,409	15,2	0,296	-
25.3.2015	6,27	0,382	11,5	0,286	0,015
26.3.2015	6,22	0,384	11,0	0,243	0,019

Jokaisessa laboratoriosuodatuksessa on käytetty 1 litra selkeytyksen jälkeistä vettä, joka on suodatettu ison suppilon läpi, jossa oli 1000 ml hiekkasuotimesta otettua

hiekkaa. Suppilon korkissa oli pieni, halkaisijaltaan 1 millimetrin, reikä josta vesi valui läpi. Suppilon kärkeen laitettiin pieni pumpulituppo estämään hiekan kulkeutumista veden mukana suodokseen. Myös suodatusajat mitattiin kaikissa kokeissa. Tällä haluttiin nähdä miten kontaktaika hiekan kanssa vaikuttaa suodatustulokseen. Lopulta näistä mitatuista suodatusajoista ei ollut oikeastaan mitään hyötyä, koska ajoissa oli huomattavia, jopa useiden minuuttien eroja eri suodatusten välillä. Koska suodatettava vesimäärä oli pieni, 1 litra/koe, kemikaalilisäykset ovat mikrolitroja suodatettavaa vesilitraa kohden ($\mu\text{l/l}$). Suodatuksen jälkeen on mitattu uudelleen arvot pH:lle, sameudelle, permanganaattiluvulle, sekä alumiini- ja rautapitoisuuksille. Saaduista tuloksista on sen jälkeen laskettu muutokset lähtöarvoihin verrattuna. Alumiini ja rautapitoisuuksien muutoksia laskettaessa ei ole otettu erikseen huomioon alumiinin ja raudan lisäystä joka on johtunut saostuskemikaalien lisäyksestä.

Vertailun vuoksi ensimmäinen suodatus laboratoriossa suoritettiin ilman kemikaalilisäyksiä. Tässä testissä veden pH laski alkuarvosta 6,22 suodoksen arvoon 6,03, eli pH laski hieman suodatuksen aikana. KMnO_4 arvo laski suodatuksessa selkeytyksen veden pitoisuudesta 13 mg/l pitoisuuteen 11,2 mg/l eli laskua oli noin 14%. Sameus aleni hieman alle 60% arvosta 0,404 NTU arvoon 0,172 NTU. Suodoksen alumiinipitoisuus oli 0,038 mg/l, kun se alussa oli 0,242 mg/l eli alumiinista lähes 85% jäi hiekkään.

Suodatukset polyalumiinikloridilla haluttiin suorittaa kahdessa eri pH:ssa, 5,8 ja 6,0. Yksi suodatus tehtiin myös korkeammalla pH arvolla. PH säätö suoritettiin siten, että litraan selkeytyksestä tulevaa vettä lisättiin ensin 1-prosenttinen natriumhydroksidi ja magneettisekoittajalla suoritettua minuutin sekoituksen jälkeen saostuskemikaali. Tämän jälkeen veden annettiin sekoittua vielä neljä minuuttia ennen suodatusta. PH mitattiin sekä suodatettavasta vedestä että suodoksesta. Pac:n kanssa tehtiin laboratoriossa suodatukset 5, 10, 15, 20 ja 30 $\mu\text{l/l}$ lisäyksillä. Lisäysten ääripäillä eli 5 ja 30 $\mu\text{l/l}$ lisäyksillä tehtiin yhdet suodatukset ja muilla suodatukset on tehty kahteen kertaan molemmissa halutuissa pH arvoissa, lisäksi 10 ja 20 $\mu\text{l/l}$ lisäyksellä tehtiin molemmilla yksi suodatus noin 6,4 pH:ssa. Taulukossa 5 on esitetty analyysitulokset polyalumiinikloridilla suoritetuille laboratoriosuodatuksille.

Taulukko 5. Polyalumiinikloridilla suoritettujen laboratoriosuodatusten analyysitulokset.

Pac lisäys [µl/l]	NaOH lisäys [µl/l]	pH vesi	pH suodos	Sameus [NTU]	KMnO ₄ [mg/l]	Al-jäämä [mg/l]
5	-	5,90	6,16	0,186	11,2	0,077
10	100	5,88	6,07	0,248	11,1	0,162
10	120	6,02	6,01	0,147	10,4	0,145
10	90	5,86	6,02	0,170	13,5	0,100
10	120	6,06	6,08	0,115	11,1	0,134
10	180	6,42	6,33	0,081	15,5	0,080
15	160	5,87	5,98	0,197	16,8	0,219
15	200	6,01	5,98	0,162	16,5	0,102
15	160	5,96	6,10	0,088	9,8	0,199
15	200	6,08	6,10	0,102	9,7	0,137
20	240	5,74	5,95	0,291	10,9	0,257
20	285	6,01	5,98	0,179	10,9	0,234
20	240	5,73	6,03	0,103	10,4	0,159
20	285	6,21	6,07	0,058	11,3	0,098
20	320	6,37	6,26	0,138	12,8	0,168
30	400	5,7	6,05	0,204	9,7	0,315

Taulukossa 6 on esitetty laboratoriosuodatuksissa tapahtuneet prosentuaaliset muutokset sameudessa, KMnO₄-luvussa ja alumiinijäämässä, kun polyalumiinikloridia on käytetty saostuskemikaalina.

Taulukko 6. Laboratoriosuodatuksissa tapahtuneet prosentuaaliset muutokset sameudessa, KMnO_4 -luvussa ja alumiinijäämässä käytettäessä Pac:ia saostuskemikaalina.

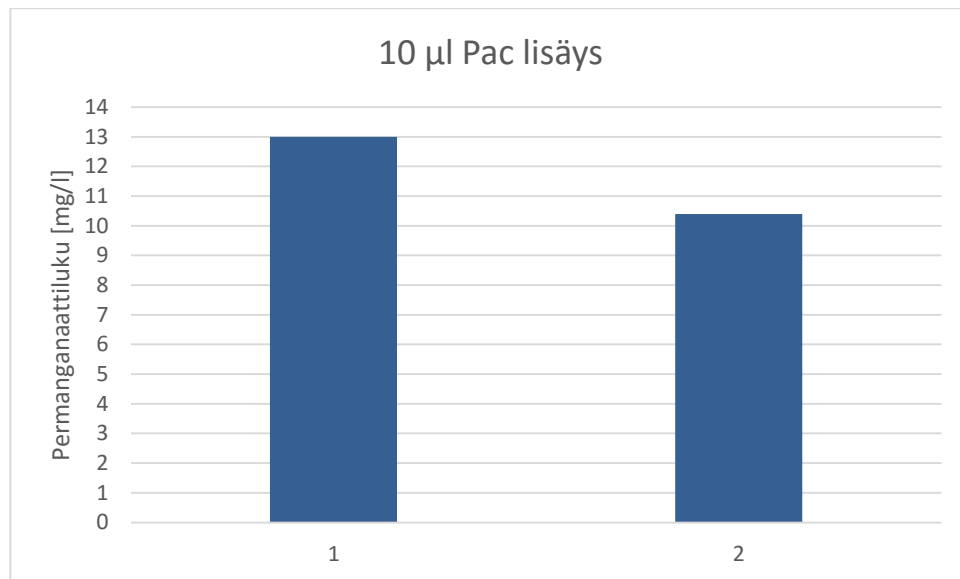
Pac lisäys [µl/l]	NaOH lisäys [µl/l]	Sameus muutos [NTU]	Sameus muutos [%]	KMnO_4 muutos [mg/l]	KMnO_4 muutos [%]	Al- muutos [mg/l]	Al- muutos [%]
5	-	-0,198	-51,6	0,2	1,8	-0,166	-68,3
10	100	-0,156	-38,6	-1,9	-14,6	-0,08	-33,1
10	120	-0,259	-63,6	-2,6	-20,0	-0,095	-40,1
10	90	-0,27	-61,4	0,9	7,1	-0,123	-55,2
10	120	-0,325	-73,9	-1,5	-11,9	-0,089	-39,9
10	180	-0,328	-80,2	0,3	2,0	-0,216	-73,0
15	160	-0,292	-59,7	3,6	27,3	0,004	1,9
15	200	-0,327	-66,9	3,3	25,0	-0,113	-52,5
15	160	-0,294	-77,0	-1,7	-14,8	-0,087	-30,4
15	200	-0,28	-73,3	-1,8	-15,7	-0,149	-52,1
20	240	-0,151	-34,2	-0,6	-5,2	-0,026	-9,2
20	285	-0,263	-59,5	-0,6	-5,2	-0,049	-17,3
20	240	-0,337	-76,6	-2,2	-17,5	-0,064	-28,7
20	285	-0,382	-86,8	-1,2	-10,3	-0,125	-56,1
20	320	-0,271	-66,3	-2,4	-15,8	-0,128	-43,2
30	400	-0,18	-46,9	-1,3	-11,8	0,072	29,6

Polyalumiinikloridilla suoritetuista suodatuksista huomattiin, että 5 µl Pac lisäys ei juurikaan vaikuttanut KMnO_4 -arvoon, itse asiassa arvo nousi hieman, tosin niin vähän, että voi johtua analyysivirheestä. Toisessa ääripäässä Pac lisäyksen suhteen, eli 30 µl lisäyksellä KMnO_4 -arvo laski noin 12 prosenttia, mutta suodokseen kulkeutui alumiinia yli 30 prosenttia enemmän kuin vedessä oli ennen laboratoriossa tehtyä Pac lisäystä. Eli hiekka ei enää pystynyt sitomaan lisättyä alumiinia.

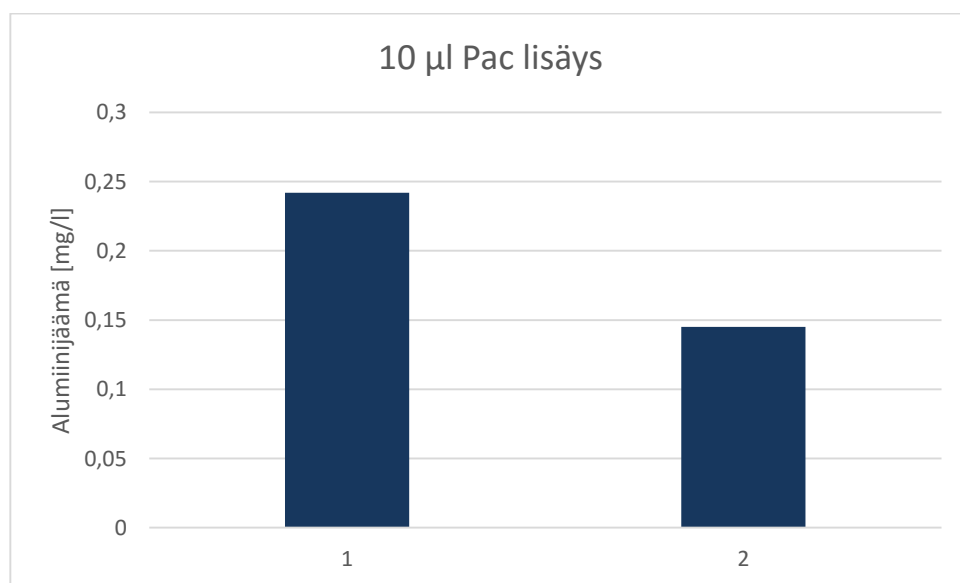
Pac lisäyksellä 10 µl on tehty kaksi kertaa suodatus kahdessa eri pH:ssa, NaOH lisäykset olivat 100 ja 120 µl, jolloin pH:t suodatuksen alussa olivat noin 5,8 ja 6,0. Molemmilla kerroilla KMnO_4 -arvon muutos oli suurempi korkeammalla pH:lla, ensimmäisellä suodatuskerralla KMnO_4 -arvo laski 20% ja toisella suodatuskerralla noin 12%. Sameuden muutos oli myös parempi korkeammalla pH:lla, alumiinin kohdalla tulokset ovat vähän ristiriitaiset, ensimmäisellä suodatuskerralla hiekkaan sitoutui enemmän alumiinia kuin alemmalla pH:lla ja toisella suodatuskerralla päinvastoin. 10 µl pac lisäyksellä on tehty myös yksi suodatus korkeammassa lähtöpH:ssa 6,4, tässä suodatuksessa KMnO_4 -arvo ei laskenut, vaan itse asiassa nousi hieman. Sameus laski selvästi ja hiekkaan sitoutui yli 70% suodatettavassa vedessä alun perin olleesta alumiinista.

Pac lisäyksellä 15 µl on tehty kahteen kertaan suodatukset 160 ja 200 µl NaOH lisäyksillä. Ensimmäisellä kerralla on ollut jotain virhettä KMnO_4 -arvon mittauksessa, arvot nousivat yli 20%. Toisella kerralla, kun suodatukset tehtiin, pH:t ennen suodatusta olivat 5,96 ja 6,08, eli niissä ei ollut juuri eroa. Kummassakin pH:ssa KMnO_4 -arvo laski noin 15%. Korkeammassa pH:ssa KMnO_4 -arvon lasku oli hieman suurempi, samoin alumiinia pääsi suodokseen vähemmän korkeammalla pH:lla. Sameuden muutoksessa ei ollut merkittävää eroa eri pH:n välillä, molemmissa tapauksissa sameus laski noin 75%.

20 µl pac lisäyksellä on tehty kahteen kertaan suodatukset 240 ja 285 µl NaOH lisäyksillä. Pienemmällä NaOH lisäyksellä molemmissa suodatuksissa suodatettavan veden lähtö pH oli hieman yli 5,7. Suuremmalla pH lisäyksellä suodatettavan veden pH oli ensimmäisessä suodatuksessa 6 ja toisessa 6,2. Ensimmäisillä suodatuksilla 20 µl pac lisäyksen kanssa KMnO_4 -arvo laski molemmissa pH:ssa vain noin 5%, sameuden ja alumiinin muutokset olivat hieman paremmat korkeammalla pH:lla. Jälkimmäisissä suodatuksissa KMnO_4 -arvo laski enemmän alhaisemmassa pH:ssa, noin 17,5%, kuin korkeammalla pH:lla, jolla laskua oli noin 10%. Edelleen sameuden ja alumiinin muutokset olivat parempia korkeammassa pH:ssa. 20 µl pac lisäyksellä on tehty myös yksi suodatus hieman korkeammassa pH:ssa, NaOH lisäys oli 320 µl ja suodatettavan veden pH oli 6,37. Tällä suodatuksella saatiin noin 16% alenema KMnO_4 -arvoon. Kuvassa 6 on esitetty pylväsdiagrammeilla analyysitulokset permanganaattiluvun aleneman suhteen parhaasta suodatuksesta polyalumiinikloridilla ja kuvassa 7 samasta suodatuksesta diagrammi alumiinijäämän muutoksesta suodatuksessa. Näiden tulosten perusteella tehtiin laskelmat kemikaalisyötöstä Dynasand-suodatuksiin.



Kuva 6. Pylväsdiagrammi permanganaattiluvun aleneman suhteen parhaasta laboratoriosuodatuksesta. Pylväs 1 kuvaa KMnO_4 -lukua ennen laboratoriosuodatusta ja pylväs 2 lukua suodatuksen jälkeen.



Kuva 7. Pylväsdiagrammi alumiini jäämän aleneman suhteen parhaasta laboratoriosuodatuksesta. Pylväs 1 kuvaa alumiini jäämää ennen laboratoriosuodatusta ja pylväs 2 jäämää suodatuksen jälkeen.

Ferrisulfaattia, PIX, käytettäessä koemenetelmät olivat samat kuin Pac:lla. Myös ferrisulfaatin kanssa suodatukset tehtiin kahdessa eri pH:ssa, vesinäytteiden pH:t pyrittiin säätämään arvoihin 4,2 ja 4,5. Yleisesti ottaen KMnO_4 -arvot laskivat hieman enemmän PIX:iä käytettäessä kuin polyalumiinikloridilla. Taulukossa 7 on esitetty PIX:n kanssa suoritettujen koesuodatusten analyysitulokset.

Taulukko 7. PIX:n kanssa suoritettujen koesuodatusten analyysitulokset.

PIX li- säys [µl/l]	NaOH lisäys [µl/l]	pH vesi	pH suodos	Sameus [NTU]	KMnO ₄ [mg/l]	Al- jäämä [mg/l]	Fe- jäämä [mg/l]
10	-	4,52	6,02	0,173	11,4	0,022	0,097
15	-	4,14	5,92	0,29	9,7	0,031	0,15
15	30	4,21	5,91	0,104	10,4	0,01	0,064
15	130	4,67	5,97	0,147	10,3	0,001	0,056
15	130	4,85	6,19	0,087	10,0	0,046	0,019
Raudan mittaus näytteestä toiseen kertaan.							0,074
20	200	4,49	5,98	0,165	11,2	0,002	0,098
20	100	4,21	5,94	0,112	10,7	0,014	0,08
20	100	4,21	6,08	0,134	9,7	0,074	0,124
30	300	4,19	6,10	0,062	9,4	0,04	-
30	600	4,58	6,18	0,072	8,8	0,032	-

Ferrisulfaattia käytettäessä suodoksen pH on kaikissa suodatuksissa selkeästi korkeampi kuin pH kemikaalilisäyksen jälkeen ennen suodatusta. Tämä todennäköisesti johtuu siitä, että koska näytteet suodatettiin Dynasandista otetun hiekan läpi, tämä hiekka ei ollut kuivaa, vaan siinä oli kosteutta mukana. Tämä sitoutunut kosteus siten nosti suodatettavan veden pH:ta. Normaalisti selkeytyksestä tulevan veden pH on noin 6,2, Dynasandeissa on hiekalla sama pH. Taulukossa 8 on esitetty laboratoriosuodatuksissa tapahtuneet prosentuaaliset muutokset sameudessa, KMnO₄-luvussa sekä alumiini- ja rautajäämissä, kun ferrisulfaattia on käytetty saostuskemikaalina.

Taulukko 8. Laboratoriosuodatuksissa tapahtuneet prosentuaaliset muutokset sameudessa, KMnO₄-luvussa sekä alumiini- ja rautajäämissä käytettäessä PIX:iä saostuskemikaalina.

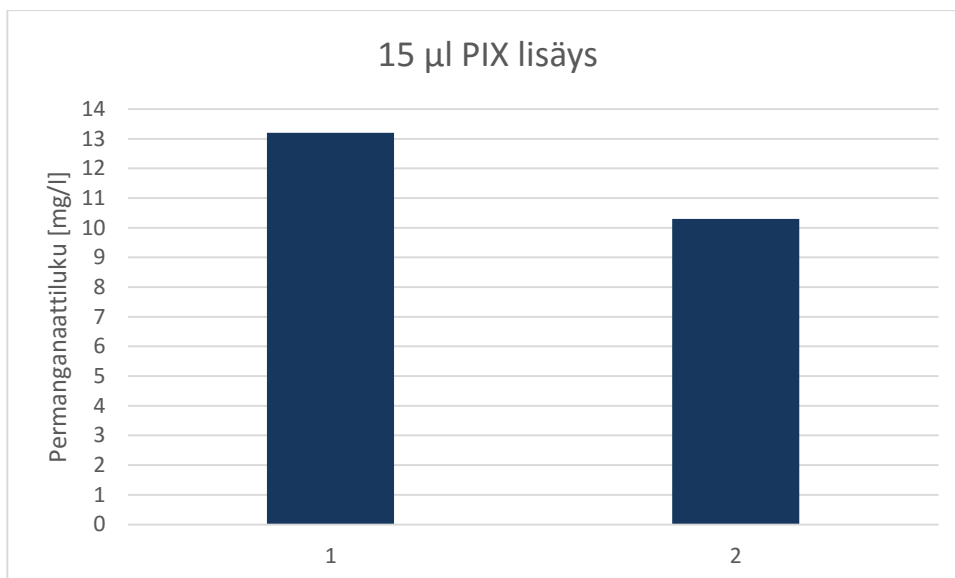
PIX li- säys [µl/l]	NaOH lisäys [µl/l]	Sameus muutos [%]	KMnO ₄ muutos [mg/l]	KMnO ₄ muutos [%]	Al- muutos [%]	Fe- muutos [mg/l]	Fe- muutos [%]
10	-	-60,9	-0,1	-0,9	-92,2	0,082	546,7
15	-	-34,4	-1,8	-15,7	-89,0	0,135	900
15	30	-78,7	-2,8	-21,1	-95,3	0,044	220
15	130	-69,9	-2,9	-22,0	-99,5	0,036	180
15	130	-77,2	-1,5	-13,0	-83,9	0,004	0,03
Raudan mittaus näytteestä toiseen kertaan.						0,056	373,3
20	200	-66,3	-2,0	-15,2	-99,1	0,078	390
20	100	-77,1	-2,5	-18,9	-93,5	0,06	300
20	100	-74,1	-1,8	-15,7	-74,1	0,109	726,7
30	300	-83,9	-1,6	-14,5	-83,5	-	-
30	600	-81,3	-2,2	-20,0	-86,8	-	-

Ensimmäisessä suodatuksessa PIX:n kanssa sitä lisättiin selkeytyksestä tulleeseen veteen 10 µl ilman että NaOH:ia lisättiin yhtään. Suodatettavan veden pH laski 4,5:een. Tällä PIX lisäyksellä ei juuri ollut vaikutusta KMnO_4 -arvoon, se laski vain 0,1 mg/l eli alle prosentin, sameus kuitenkin laski selkeästi ja alumiini sitoutui suodatushiekkaan, mutta raudan määrä suodoksessa kasvoi yli viisinkertaiseksi.

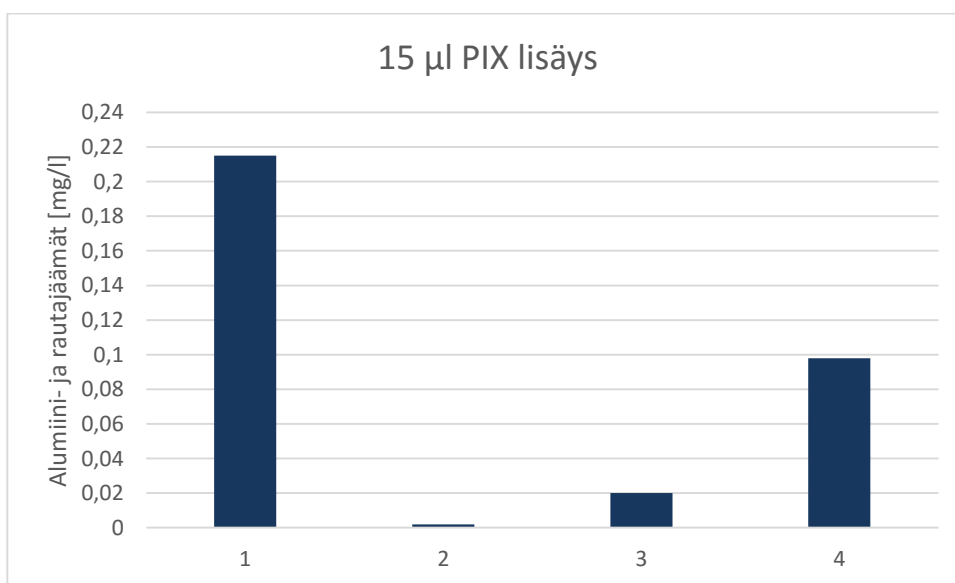
15 µl PIX lisäyksellä on tehty useita koesuodatuksia. Kertaalleen ilman NaOH lisäystä, jolloin pH oli 4,14, kerran 30 µl lisäyksellä, pH 4,21 ja kahdesti 130 µl lisäyksellä, pH:t näissä suodatuksissa 4,67 ja 4,85. Näistä suodatuksista parhaat tulokset KMnO_4 -arvon, laski noin 22%, alumiinin- ja raudan sitoutumisen suhteen saatiin pH:ssa 4,67. Rauta analyysi tehtiin kahteen kertaan pH:ssa 4,85, koska ensimmäisellä kerralla analyysi näytti siltä, että lähes kaikki lisätty rauta olisi sitoutunut hiekkaan, toisella analyysikerralla tulos näytti yli 350% lisäystä suodoksen raudassa.

20 µl PIX lisäyksellä tehtiin kolme koesuodatusta, kerran 200 µl NaOH lisäyksellä, pH 4,49 ja kahdesti 100 µl NaOH lisäyksellä, pH molemmilla kerroilla 4,21. Parhaat tulokset KMnO_4 -arvon, laski noin 19%, sameuden ja raudan sitoutumisen suhteen saatiin ensimmäisellä suodatuskerralla pH:ssa 4,21. Alumiinin sitoutuminen oli tässä pH:ssa hieman heikompaa kuin korkeammassa pH:ssa.

30 µl PIX lisäyksellä on tehty kaksi koesuodatusta, NaOH lisäyksillä 300 ja 600 µl, pH:n ollessa 4,19 ja 4,58. Korkeampi pH antoi tällä PIX lisäyksellä, samoin kuin 15 µl lisäyksessä, paremman tuloksen KMnO_4 -arvon laskun suhteen, laskua tuli 20%. Rauta-analyysin kanssa oli hieman vaikeuksia. Kun laittoi saman näytteen kaksi kertaa peräkkäin analyysiin, niin tuli kaksi eri tulosta ja heitto oli pahimmillaan moninkertainen. Rautapitoisuudet ovat ilmeisesti niin pieniä, että analyysit ovat melkoisen herkkiä virheille. Kuvassa 8 on esitetty pylväsdigrammeilla analyysitulokset permanganaattiluvun aleneman suhteen parhaasta suodatuksesta ferrisulfaatilla ja kuvassa 9 samasta suodatuksesta diagrammi alumiini- ja rautajäämien muutoksista suodatuksessa. Näiden tulosten perusteella tehtiin laskelmat kemikaalisyötöstä Dynasand-suodatukseen.



Kuva 8. Pylväsdiagrammi permanganaattiluvun aleneman suhteen parhaasta laboratoriosuodatuksesta. Pylväs 1 kuvaa KMnO_4 -lukua ennen laboratoriosuodatusta ja pylväs 2 lukua suodatuksen jälkeen.



Kuva 9. Pylväsdiagrammi alumiinijäämän aleneman suhteen parhaasta laboratoriosuodatuksesta. Pylväs 1 kuvaa alumiinijäämää ennen laboratoriosuodatusta ja pylväs 2 jäämää suodatuksen jälkeen. Pylväs 3 kuvaa rautajäämää ennen laboratoriosuodatusta ja pylväs 4 rautajäämää suodatuksen jälkeen.

6.2 Kokeet Dynasand-hiekkasuodattimella

Suuremman mittakaavan kokeet suoritettiin yhdellä Dynasand-hiekkasuotimella. Kyseistä suodatin oli koko ajan jatkuvassa toiminnassa, siihen vain lisättiin ylimääräinen yhde, josta pystyttiin syöttämään kokeissa tarvittavat kemikaalit suodattimeen. Kemikaalien tarvittava syöttövirtaus oli erittäin pieni, joten ne syötettiin ensin jakotukin avulla kantoveteen, joka syötettiin uppopumpun avulla hiekkasuotimeen. Tällä kantoveden käytöllä parannettiin kemikaalien sekoittumista ja pyrittiin lisäämään hiekkasuotimeen tulevaa kokonaisvirtausta 10 litraan sekunnissa, normaalioloissa virtaus on jonkin verran alle 10 l/s. Tätä 10 l/s kokonaisvirtausta käytettiin alkuarvona, kun laskettiin laboratoriokokeiden perusteella tarvittavia kemikaalisyöttöjä ja määritettiin kemikaalien syöttöön käytettyjen kahden kalvopumpun asetuksia.

Laboratoriokokeiden perusteella lasketut halutut kemikaalivirtaukset 10 l/s kokonaisvesivirtauksella olivat: polyalumiinikloridille (Pac) 6 ml/min, ferrisulfaatille (PIX) 9 ml/min ja natriumhydroksidille (NaOH) 72 ml/min. Kemikaalien syöttöön käytettiin kahta eri kokoista kalvopumppua, pienempää käytettiin Pac ja PIX syöttöön ja suurempaa NaOH:lle. Pumppujen asetukset määritettiin kellottamalla, pumpua käytettiin minuutin ajan ja mittalasisista katsottiin minuutissa kertynyt nestemäärä. Pac:n ja PIX:n kohdalla kellottamiseen käytettiin kyseistä kemikaalia ja NaOH:n kohdalla puhdasta vettä. Natriumhydroksidin kohdalla meneteltiin näin, koska kokeissa käytetty NaOH oli alussa 1-% vesiliuos ja myöhemmin kokeiden aikana liuos muutettiin 2 prosenttiseksi. Koska kemikaalien syötön haluttiin olevan mahdollisimman tasaista, pumppuille haluttiin löytää asetukset, joissa pumpun iskunpituus olisi mahdollisimman lyhyt ja käyntinopeus mahdollisimman suuri. Taulukoissa 9, 10 ja 11 on esitetty pumppujen kellotuksen tulokset eri kemikaaleille.

Taulukko 9. Pumpun kellotustulokset polyalumiinikloridille (Pac).

Pac		
Iskun pituus [%]	Nopeus [%]	Virtaus [ml/min]
100	100	55
100	50	30
50	50	10,5
20	55	5
40	60	6,5
20	70	6,5
30	60	10
20	50	5
20	60	6

Taulukko 10. Pumpun kellotustulokset ferrisulfaatile (PIX).

PIX 320		
Iskun pituus [%]	Nopeus [%]	Virtaus [ml/min]
25	70	12
20	70	10
20	65	9,5
20	60	9

Taulukko 11. Pumpun kellotustulokset natriumhydroksidille (NaOH).

NaOH		
Iskun pituus [%]	Nopeus [%]	Virtaus [ml/min]
20	69	80
15	69	64
20	60	69
20	62	72

Vedelle laskettiin viipymäaika suodattimessa käyttäen 10 l/s kokonaisvirtausta lähtöarvona. Yhden Dynasand-suodattimen pinta-ala on 5 m² ja hiekkapatjan korkeus on 2 metriä, joten hiekan kokonaistilavuus on 10 m³. Viipymäajaksi hiekassa näillä arvoilla laskettaessa tuli 1000 sekuntia eli noin 17 minuuttia, eli tässä ajassa kontaktisaostuminen tapahtui suodattimessa. Hiekkapatjan päällä on vielä noin 1,8 metriä vettä ennen kuin suodos poistuu suodattimen yläosasta eteenpäin. Eli veden kokonaisviipymäksi suodattimessa saatiin noin 1900 sekuntia eli noin 32 minuuttia.

Dynasandilla tehtiin molemmilla saostuskemikaaleilla useita 4 – 6 tunnin suodatusta, PIX:n kanssa myös kaksi suodatusta, joissa kemikaalisyötöt olivat päällä yli vuorokauden. Jokaisella suodatuskerralla otettiin aluksi näytteet selkeytyksen jälkeisestä vedestä ja mitattiin siitä alkuarvot. Lisäksi suodatusten aluksi, ennen kuin kemikaalisyötöt käynnistettiin, otettiin näytteet Dynasandin suodoksesta, jolloin pystyttiin nä-

kemään, miten suodatin toimii ilman kemikaalilisäyksiä. Tämän jälkeen näytteitä otettiin suodatuksesta aina tunnin välein. Taulukossa 12 on esitetty alkuarvot Dynasandilla tehdyille suodatuksille kun Pac:ia on käytetty saostuskemikaalina.

Taulukko 12. Alkuarvot Dynasand suodatuksissa käytetyille vesille, kun suodatuskemikaalina on ollut Pac.

Päivämäärä	pH	Sameus [NTU]	KMnO ₄ [mg/l]	Al [mg/l]
2.4.2015	6,26	0,423	11,2	0,283
8.4.2015	6,24	0,427	11,6	0,300
9.4.2015	6,26	0,442	11,9	0,326
13.4.2015	6,33	0,443	11,8	0,250
14.4.2015	6,23	0,447	9,9	0,294
15.4.2015	5,92	0,548	12,2	0,329
16.4.2015	6,16	0,368	11,6	0,238
21.4.2015	6,28	0,341	11,4	0,202
22.4.2015	6,46	-	11,2	0,190

Taulukossa 13 on esitetty analyysitulokset Dynasand suodatuksista, kun polyalumiinikloridia on käytetty saostuskemikaalina.

Taulukko 13. Polyalumiinikloridilla suoritettujen Dynasand suodatusten analyysitulokset.

Päivämäärä	Suodos	pH suodos	Sameus [NTU]	KMnO ₄ [mg/l]	Al-jäämä [mg/l]
2.4.2015	1	6,18	0,069	9,7	0,053
	2	6,29	0,048	9,6	0,051
	3	6,02	0,150	8,9	0,307
	4	5,83	0,110	9,2	0,340
	5	5,81	0,108	9,2	0,372
	6	5,88	0,131	8,3	0,428
8.4.2015	1	6,15	0,059	8,4	0,065
	2	6,42	0,060	11,1	0,044
	3	6,16	0,112	8,8	0,120
	4	6,01	0,104	8,8	0,346
	5	5,95	0,129	8,6	0,401
	6	5,91	0,132	9,2	0,492
	7	5,92	0,177	8,8	0,426
9.4.2015	1	6,12	0,062	10,2	0,084
	2	6,43	0,051	33	0,035
	3	6,42	0,068	8,1	0,110
	4	6,32	0,130	8,3	0,278
	5	6,11	0,169	9,1	0,502
	6	6,16	0,187	8,5	0,625
	7	6,13	0,156	8,8	0,532

13.4.2015	1	6,22	0,081	9,7	0,053
	2	6,56	0,061	10,4	0,034
	3	6,46	0,069	9,0	0,085
	4	6,30	0,093	9,0	0,178
	5	6,25	0,114	8,2	0,265
	6	6,22	0,121	8,5	0,353
14.4.2015	1	6,13	0,056	9,4	0,040
	2	6,46	0,064	10,7	0,032
	3	6,57	0,057	8,4	0,039
	4	6,39	0,086	8,3	0,099
	5	6,25	0,116	8,5	0,170
	6	6,29	0,120	9,2	0,308
15.4.2015	1	5,92	0,077	11,2	0,095
	2	6,23	0,064	11,3	0,047
	3	6,24	0,075	10,2	0,096
	4	6,23	0,119	9,5	0,133
	5	6,16	0,127	10,5	0,245
	6	6,26	0,105	10,1	0,262
16.4.2015	1	6,03	0,064	11,1	0,083
	2	6,37	0,065	13,4	0,040
	3	6,49	0,062	11,6	0,073
	4	6,46	0,072	10,4	0,099
	5	6,38	0,089	10,4	0,125
	6	6,35	0,095	10,4	0,184
21.4.2015	1	6,17	0,061	10,9	0,044
	2	6,52	0,065	11,9	0,039
	3	6,70	0,056	11,0	0,063
	4	6,67	0,072	9,4	0,072
	5	6,63	0,066	9,5	0,064
	6	6,61	0,062	9,3	0,088
22.4.2015	1	6,26	-	10,6	0,038
	2	6,59	-	-	0,063
	3	6,75	-	10,0	0,044
	4	6,67	-	10,0	0,063
	5	6,64	-	9,0	0,070

Taulukossa 14 on esitetty Dynasand suodatuksissa tapahtuneet prosentuaaliset muutokset sameudessa, KMnO_4 -luvussa ja alumiinijäämässä, kun polyalumiinikloridia on käytetty saostuskemikaalina.

Taulukko 14. Dynasand suodatuksissa tapahtuneet prosentuaaliset muutokset sameudessa, KMnO_4 -luvussa ja alumiinijäämässä käytettäessä Pac:ia saostuskemikaalina.

Päivämäärä	Suodos	Sameus muutos [%]	KMnO_4 muutos [mg/l]	KMnO_4 muutos [%]	Al- muutos [mg/l]	Al- muutos [%]
2.4.2015	1	-83,7	-1,5	-13,4	-0,214	-81,3
	2	-88,7	-1,6	-14,3	-0,232	-82,0
	3	-64,5	-2,3	-20,5	0,024	8,5
	4	-74,0	-2,0	-17,9	0,057	20,1
	5	-74,5	-2,0	-17,9	0,089	31,4
	6	-69,0	-2,9	-25,9	0,145	51,2
8.4.2015	1	-86,2	-3,2	-27,6	-0,235	-78,3
	2	-85,9	-0,5	-4,3	-0,256	-85,3
	3	-73,8	-2,8	-24,1	-0,180	-60,0
	4	-75,6	-2,8	-24,1	0,046	15,3
	5	-69,8	-3,0	-25,9	0,101	33,7
	6	-69,1	-2,4	-20,7	0,192	64,0
	7	-58,5	-2,8	-24,1	0,126	42,0
9.4.2015	1	-86,0	-1,7	-14,3	-0,242	-74,2
	2	-88,5	21,1	143,7	-0,291	-89,3
	3	-84,6	-3,8	-31,9	-0,216	-84,6
	4	-70,6	-3,6	-30,3	-0,048	-14,7
	5	-61,8	-2,8	-23,5	0,176	54,0
	6	-57,7	-3,4	-28,6	0,299	91,7
	7	-64,7	-3,1	-26,1	0,206	63,2
13.4.2015	1	-81,7	-2,1	-17,8	-0,197	-78,8
	2	-86,2	-1,4	-11,9	-0,216	-86,4
	3	-84,4	-2,8	-23,7	-0,165	-66,0
	4	-79,0	-,8	-23,7	-0,072	-28,8
	5	-74,3	-3,6	-30,5	0,015	6,0
	6	-72,7	-3,3	-28,0	0,103	41,2
14.4.2015	1	-87,5	-0,5	-5,1	-0,254	-86,4
	2	-85,7	0,8	8,1	-0,262	-89,1
	3	-87,2	-1,5	-15,2	-0,255	-86,7
	4	-86,8	-1,6	-16,2	-0,195	-66,3
	5	-74,0	-1,4	-14,1	-0,124	-42,2
	6	-73,2	-0,7	-7,1	0,014	4,8
15.4.2015	1	-85,9	-1,0	-8,2	-0,234	-71,1
	2	-88,3	-0,9	-7,4	-0,282	-85,7
	3	-86,3	-2,0	-16,4	-0,233	-70,8
	4	-78,3	-2,7	-22,1	-0,196	-59,8
	5	-76,8	-1,7	-13,9	-0,084	-25,5
	6	-80,8	-2,1	-17,2	-0,067	-20,4
16.4.2015	1	-82,6	-0,5	-4,3	-0,155	-65,1
	2	-82,3	1,8	15,5	-0,198	-83,2
	3	-83,2	0	0	-0,165	-69,3
	4	-80,4	-1,2	-10,3	-0,139	-58,4
	5	-75,8	-1,2	-10,3	-0,113	-47,5
	6	-74,2	-1,2	-10,3	-0,054	-22,7

21.4.2015	1	-82,1	-0,5	-4,4	-0,158	-78,2
	2	-80,9	0,5	4,4	-0,163	-80,7
	3	-83,6	-0,4	-3,5	-0,139	-68,8
	4	-78,5	-2,0	-17,5	-0,130	-64,4
	5	-80,6	-1,9	-16,7	-0,138	-68,3
	6	-81,8	-2,1	-18,4	-0,114	-56,4
22.4.2015	1	-	-0,6	-5,4	-0,152	-80,0
	2	-	-	-	-0,127	-66,8
	3	-	-1,2	-10,7	-0,146	-76,8
	4	-	-1,2	-10,7	-0,127	-66,8
	5	-	-2,2	-19,6	-0,120	-63,2

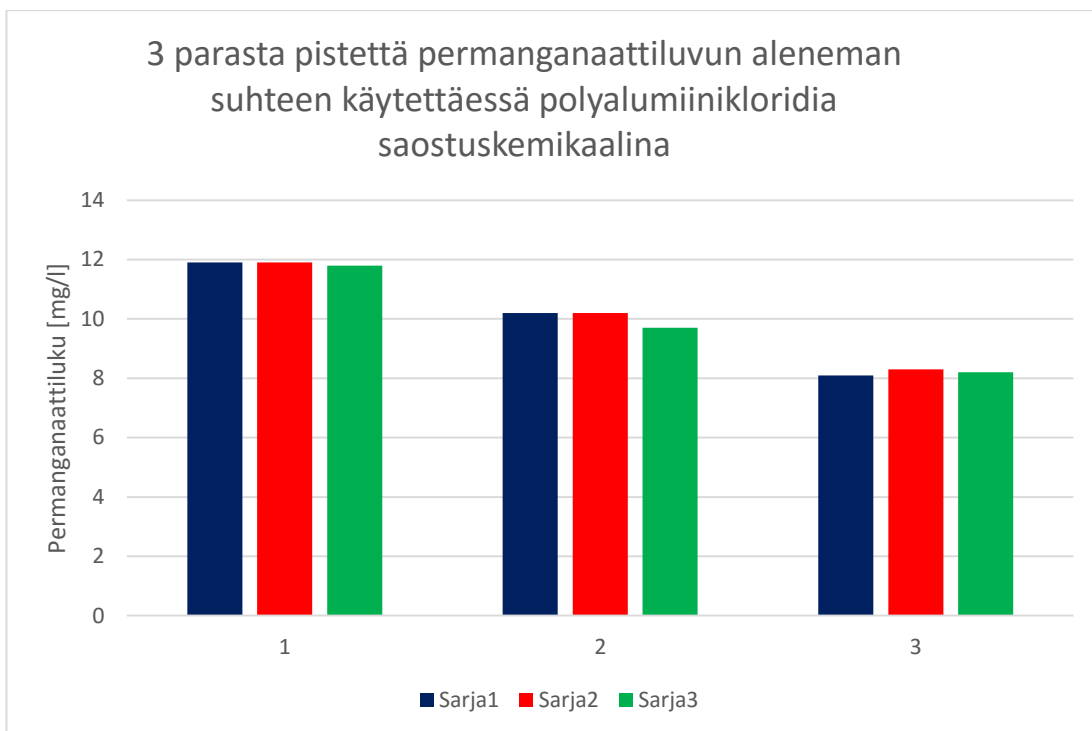
Jokaisessa suodatuksessa ensimmäinen suodos on aina otettu heti ennen kuin kemikaalisyyttö on aloitettu. Suodatusta Dynasandilla, kun polyalumiinikloridia käytettiin saostuskemikaalina, tehtiin yhdeksänä päivänä. Pyrkimyksenä oli saada suoritettua suodatukset siten, että suodosten pH olisi välillä 5,8 – 6,4. Tarkoitus oli saada pidettyä pH mahdollisimman tasaisena suodatuksen ajan. Ensimmäisissä seitsemässä suodatuksessa suodoksen pH ensimmäisessä näytepisteessä kemikaalilisäyksen aloittamisen jälkeen on keskimäärin 6,4 ja laskee tästä arvosta suodatuksen edetessä. Ensimmäisinä kahtena suodatuspäivänä suodos pH muuttui eniten, molempina päivinä pH laski suodatuksen edetessä selkeästi alle kuuteen. Mitä pidemmälle suodatukset etenivät, sitä paremmin pH pysyi tasaisena. Viimeisinä kahtena päivänä polyalumiinikloridilla tehdyissä suodatuksissa käytettiin tarkoituksella korkeampaa pH:ta 6,5 – 6,6.

Sameuden kohdalla yhteistä kaikissa suodatuksissa on se, että sameus vähenee selkeästi, reilusti yli 50 prosenttia, lähtötilanteeseen verrattuna jokaisessa mittauspisteessä. Kaikissa muissa suodatuksissa kuin 21.4. 2015 tehdyssä suodatuksessa sameus lisääntyy selkeästi suodatuksen edetessä.

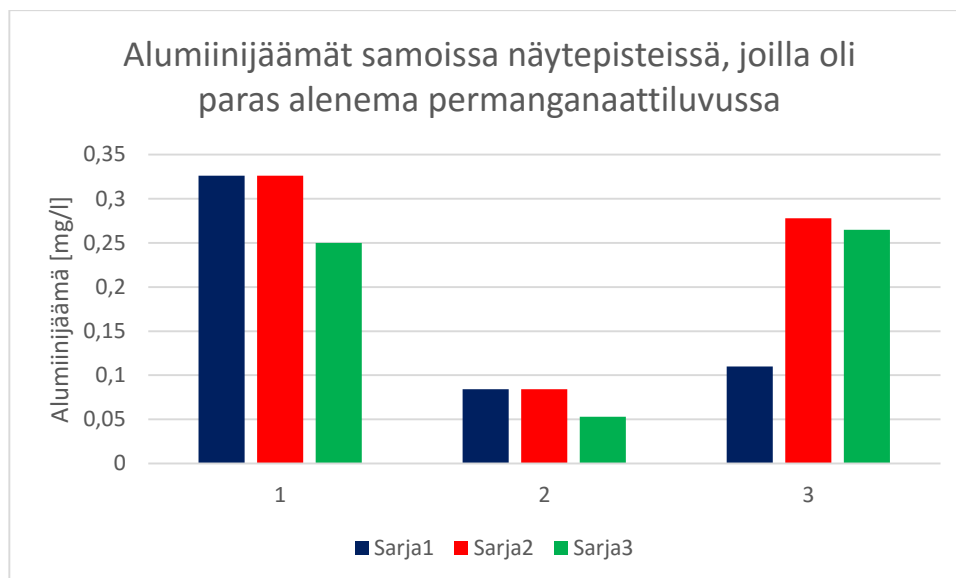
Permanganaattiluvun kohdalla on nähtävissä, että hiekkasuodin itsessään poistaa jonkin verran kiintoainetta suodatettavasta vedestä, jokaisen suodatuspäivän ensimmäinen näyte on otettu ennen kuin kemikaalipumppaus on aloitettu. Näissä näytteissä on nähtävissä noin 5 – 15 prosentin laskua permanganaattiluvussa verrattuna selkeytyksestä tulevasta vedestä otettuun näytteeseen, 8.4. tämä pelkän hiekkasuotimen aiheuttama permanganaattiluvun lasku oli yli 27 %. Suurimmassa osassa näytepisteitä kemikaalilisäys on lisännyt permanganaattiluvun laskua, neljässä näytteessä perman-

ganaattiluku on suurempi kuin lähtötilanne, nämä ovat todennäköisesti analyysivirheitä. Kokonaisuutena suurimmat laskut KMnO_4 -luvussa saavutettiin neljän ensimmäisen suodatuspäivän aikana, näissä suodatuksissa suodoksen pH oli alempi kuin myöhemmissä suodatuksissa. Parhaat tulokset permanganaattiluvun laskun suhteen on saatu, kun suodoksen pH on ollut välillä 6 – 6,4. Suurimmillaan KMnO_4 -luvun lasku oli yli 30 prosenttia.

Kun alumiinikloridia käytetään saostuskemikaalina, niin se lisää suodatettavassa vedessä olevaa alumiinijäämää. Tämä näkyy suodosten analyysituloksissa selkeästi siten, että suodatusten edetessä suodokseen jäävän alumiinin määrä kasvaa selkeästi. Lähes kaikkina suodatuspäivinä, kemikaalisyötön aloittaminen paransi ensimmäisessä näytepisteessä hieman alumiinin sitoutumista Dynasandin hiekkaan muutamalla prosentilla. Tämän jälkeen kaikissa muissa suodatuksissa paitsi kahdessa viimeisessä, alumiinin määrä suodoksessa alkoi selkeästi lisääntyä. Alumiinia jäi suodokseen sitä enemmän mitä alempi suodoksen pH oli. Suodatusten aikana otettiin näytteitä myös Dynasandin pesurista aika ajoin. Näiden näytteiden analyyseistä saatiin lähinnä selville, että pesuri toimii hyvin. Samalla kun suodokseen jääneen alumiinin pitoisuus kasvoi, myös pesurista poistuvan pesuveden sisältämän alumiinin pitoisuus kasvoi. Kuvassa 10 on esitetty pylväsdiagrammeina analyysitulokset permanganaattiluvun aleneman suhteen kolmesta parhaasta analyysipisteestä, kun polyalumiinikloridia on käytetty saostuskemikaalina Dynasand-suodatuksissa. Kuvassa 11 on samoista analyysipisteistä diagrammi alumiinijäämien muutoksista suodatuksissa.



Kuva 10. Pylväsdiagrammi kolmesta permanganaattiluvun aleneman suhteen parhaasta analyysipisteestä Dynasand-suodatuksissa, kun polyalumiinikloridia on käytetty saostuskemikaalina. Sarja 1 kuvaa KMnO_4 -lukua ennen Dynasand-suodatinta. Sarja 2 kuvaa KMnO_4 -lukua Dynasand suodoksessa ennen kuin saostuskemikaaleja on alettu syöttää prosessiin. Sarja 3 kuvaa KMnO_4 -lukua Dynasand suodoksessa, kun polyalumiinikloridia käytetään saostuskemikaalina.



Kuva 11. Pylväsdiagrammi alumiinijäämän suhteen samoissa näytepisteissä, joissa oli paras alenema KMnO_4 -luvussa. Sarja 1 kuvaa alumiinijäämää ennen Dynasand-suodatinta. Sarja 2 kuvaa jäämää Dynasand suodoksessa ennen kuin saostuskemikaaleja on alettu syöttää prosessiin. Sarja 3 kuvaa alumiinijäämää Dynasand suodoksessa, kun polyalumiinikloridia käytetään saostuskemikaalina.

Dynasandilla tehtiin kolme suodatusta käyttäen ferrisulfaattia, Kemiran PIX-322, saostuskemikaalina. Yksi näistä suodatuksista oli lyhyt suodatus, jossa kokeiltiin laboratorikokeiden perusteella lasketun ferrisulfaattisyötön, 9 ml/min, vaikutusta. Toiset kaksi suodatusta olivat pitkiä suodatuksia, joissa ferrisulfaattisyöttö jätettiin päälle yön yli, eli kokonaissuodatusaika näissä kokeissa oli yli vuorokausi. Taulukossa 15 on esitetty alkuarvot Dynasandilla tehdyille suodatuksille, kun Kemiran PIX-322 ferrisulfaattia on käytetty saostuskemikaalina.

Taulukko 15. Alkuarvot Dynasand suodatuksissa käytetyille vesille, kun suodatuskemikaalina on ollut PIX-322.

Päivämäärä	pH	Sameus [NTU]	KMnO_4 [mg/l]	Al [mg/l]	Fe [mg/l]
27.4.2015	6,42	0,386	11,4	0,168	0,033
28.4.2015	6,42	0,342	12,1	0,179	0,031
29.4.2015	6,27	0,384	12,6	0,215	0,026
4.5.2015	6,28	0,438	12,4	0,206	0,024
5.5.2015	6,21	0,419	12,2	0,218	0,034

Molempina aamuina, 29.4. ja 5.5. kemikaalisyöttö on ollut päällä yön yli. Kumpanakin aamuna selkeytyksestä tulevasta vedestä on otettu näyte ja mitattu alkuarvot, joiden avulla on sitten kyseisenä päivänä otetuista suodatusnäytteistä laskettu tulokset.

Tämä on tehty sen takia, että laitokselle tulevan raakavesi muuttuu hieman koko ajan ja näin ollen myös puhdistusprosessi elää koko ajan. Taulukossa 16 on esitetty analyysitulokset Dynasand suodatuksista, kun ferrisulfaattia on käytetty saostuskemikaalina.

Taulukko 16. Ferrisulfaatilla suoritettujen Dynasand suodatusten analyysitulokset.

Päivämäärä	Suodos	pH suodos	Sameus [NTU]	KMnO ₄ [mg/l]	Al-jäämä [mg/l]	Fe-jäämä [mg/l]
27.4.2015	1	6,21	0,386	11,4	0,168	0,033
	2	5,82	0,096	-	-	0,027
	3	5,48	0,089	-	-	0,040
	4	5,34	0,074	6,4	0,229	0,047
28.4.2015	1	6,29	0,063	11,8	0,026	0,003
	2	6,08	0,064	9,0	-	0,021
	3	5,72	0,094	8,8	-	0,063
	4	5,54	0,082	9,0	-	0,059
	5	5,49	0,093	8,9	0,162	0,081
	6	5,43	0,089	9,0	-	0,082
	7	5,40	0,100	9,2	-	0,065
	8	5,34	0,068	9,0	0,227	0,058
29.4.2015	1	4,86	0,107	9,8	0,411	0,077
	2	4,84	0,095	9,7	0,388	0,085
	3	4,79	0,104	9,2	0,422	0,090
	4	4,75	0,124	8,7	0,400	0,110
4.5.2015	1	6,24	0,061	10,8	0,011	0,006
	2	5,42	0,072	8,5	0,149	0,053
	3	5,01	0,066	9,2	0,301	0,069
	4	5,08	0,079	10,1	0,221	0,043
5.5.2015	1	4,58	0,096	9,7	0,218	0,131
	2	4,54	0,143	9,7	0,459	0,142
	3	4,54	0,166	9,2	0,445	0,139
	4	4,56	0,148	9,3	0,390	0,138

Taulukossa 17 on esitetty Dynasand suodatuksissa tapahtuneet prosentuaaliset muutokset sameudessa, KMnO₄-luvussa sekä alumiini- ja rautajäämissä, kun ferrisulfaattia on käytetty saostuskemikaalina.

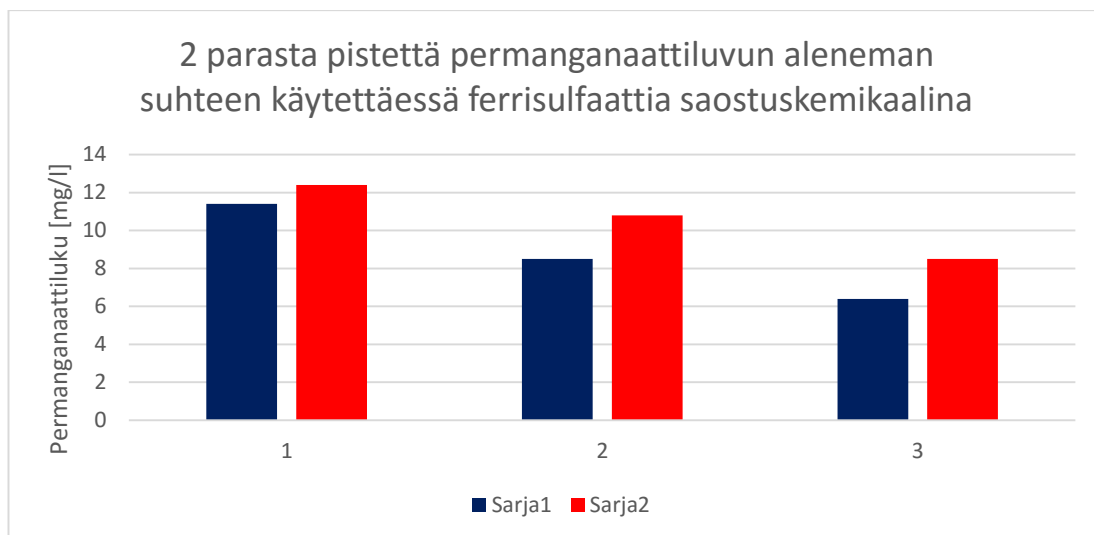
Taulukko 17. Dynasand suodatuksissa tapahtuneet prosentuaaliset muutokset sameudessa, KMnO_4 -luvussa sekä alumiini- ja rautajäämissä käytettäessä PIX-322:sta saostuskemikaalina.

Päivämäärä	Suodos	Sameus muutos [%]	KMnO_4 muutos [mg/l]	KMnO_4 muutos [%]	Al- muutos [%]	Fe- muutos [mg/l]	Fe- muutos [%]
27.4.2015	1	-52,3	-2,9	-25,4	-80,4	-0,006	-18,2
	2	-75,1	-4,1	-36,0	-	-0,006	-18,2
	3	-76,9	-3,3	-28,9	-	0,007	21,2
	4	-80,8	-5,0	-43,9	36,3	0,014	42,4
28.4.2015	1	-81,6	-0,3	-2,5	-85,5	-0,028	-90,3
	2	-81,3	-3,1	-25,6	-	-0,010	-32,3
	3	-72,5	-3,3	-27,3	-	0,032	103,2
	4	-76,0	-3,1	-25,6	-	0,028	90,3
	5	-72,8	-3,2	-26,4	-9,5	0,050	161,3
	6	-74,0	-3,1	-25,6	-	0,051	164,5
	7	-70,8	-2,9	-24,0	-	0,034	109,7
	8	-80,1	-3,1	-25,6	26,8	0,027	87,1
29.4.2015	1	-72,1	-2,8	-22,2	91,2	0,051	196,2
	2	-75,3	-2,9	-23,0	80,5	0,059	226,9
	3	-72,9	-3,4	-27,0	96,3	0,064	246,2
	4	-67,7	-3,9	-31,0	86,0	0,084	323,1
4.5.2015	1	-86,1	-1,6	-12,9	-94,7	-0,018	-7,5
	2	-83,6	-3,9	-31,5	-27,7	0,029	120,8
	3	-84,9	-3,2	-25,8	46,1	0,045	187,5
	4	-82,0	-2,3	-18,5	7,3	0,019	79,2
5.5.2015	1	-77,1	-2,5	-20,5	72,5	0,097	285,3
	2	-65,9	-2,5	-20,5	110,6	0,108	317,6
	3	-60,4	-3,0	-24,6	104,1	0,105	308,8
	4	-64,7	-2,9	-23,8	78,9	0,104	305,9

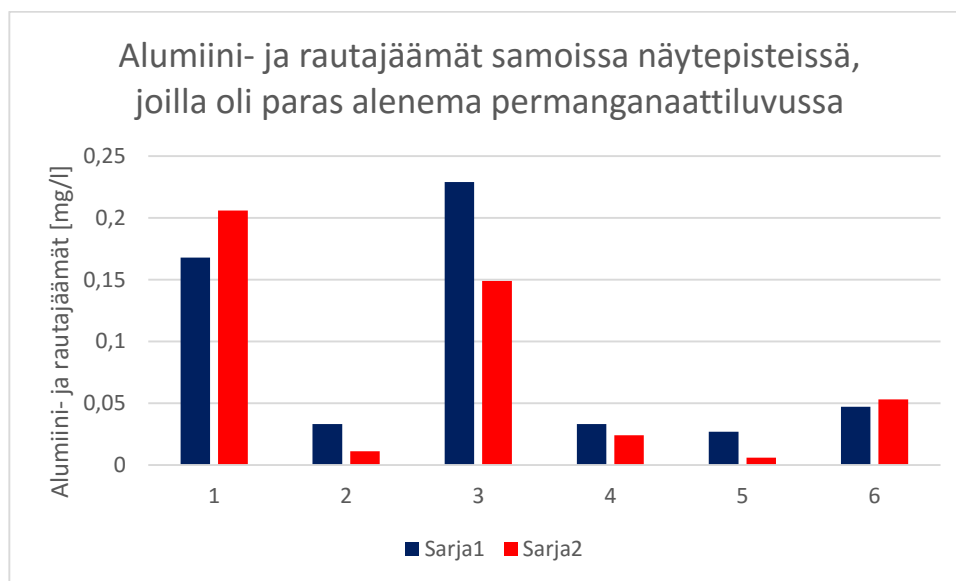
Ferrisulfaattia saostuskemikaalina käyttäen tehdyistä kolmesta suodatuksesta ensimmäinen oli 27.4.2015 lyhyt kokeilu siitä, miten ferrisulfaatti toimii Dynasandissa laboratorioskokeiden perusteella lasketulla kemikaalisuotolla 9 ml/min. Tässä suodatuksessa ei käytetty ollenkaan natriumhydroksidia pH:n säätöön. Jälkimmäiset kaksi suodatusta 28. – 29.4. ja 4.5. – 5.5. olivat pitkiä suodatuksia, kemikaalisuotot olivat päällä yli vuorokauden. Ensimmäisessä pitkässä suodatuksessa oli natriumhydroksidisuotot muutaman tunnin päällä, mutta se sammutettiin, koska näytti siltä, että käytetyllä ferrisulfaattisuotolla veden pH Dynasandissa ei laske alle ferrisulfaatin optimaalisen pH alueen. Jälkimmäinen pitkä suodatus tehtiin kokonaan ilman NaOH lisäystä ja kaiken kaikkiaan pH oli suodatuksessa tämän ansiosta koko ajan alempi kuin ensimmäisellä kerralla. Toki myös selkeytyksestä tulevan veden pH oli jälkimmäisellä suodatuskerralla alempi. Kaikissa suodatuksissa veden sameus laskee selke-

ästi ja sameuden muutokset ovat melkein samanlaiset kuin käytettäessä polyalumiinikloridia saostukseen.

Permanganaattiluvun suhteen ferrisulfaatti toimii paremmin kuin polyalumiinikloridi, kun sitä syötetään Dynasandiin menevään veteen. PIX:llä permanganaattiluvun lasku on tasaisesti yli 20 prosenttia, keskimäärin noin 25 % kaikissa analyysipisteissä. Alumiini ja rauta käyttäytyvät ferrisulfaattia käytettäessä samalla tavalla. Molempien metallien kohdalla suodokseen jäänyt pitoisuus kasvaa, kun suodatus etenee. Raudan kohdalla tämä on ymmärrettävää, koska veteen tulee rautaa lisää, kun ferrisulfaattia syötetään Dynasandiin. Kummankin pitkän suodatuksen lopussa Dynasandin suodoksessa oli yli 300 prosenttia enemmän rautaa kuin Dynasandiin tulevassa selkeytyssä vedessä oli. Alumiinin kohdalla suodoksessa on noin kaksinkertainen alumiinipitoisuus pitkien suodatusten lopussa verrattuna Dynasandiin syötössä tulevaan alumiiniin. Suodatusten aikana otetuista pesurinäytteistä nähdään myös, että suodatuksen edetessä pesurista poistuvan veden alumiini- ja rautapitoisuudet kasvavat, eli pesuri toimii normaalisti. Kuvassa 12 on esitetty pylväsdiagrammeina analyysitulokset permanganaattiluvun aleneman suhteen kahdesta parhaasta analyysipisteestä, kun ferrisulfaattia on käytetty saostuskemikaalina Dynasand-suodatuksissa. Kuvassa 13 on samoista analyysipisteistä diagrammi alumiini- ja rautajäämien muutoksista suodatuksissa.



Kuva 12. Pylväsdiagrammi kahdesta permanganaattiluvun aleneman suhteen parhaasta analyysipisteestä Dynasand-suodatuksissa, kun ferrisulfaattia on käytetty saostuskemikaalina. Sarja 1 kuvaa KMnO_4 -lukua ennen Dynasand-suodatinta. Sarja 2 kuvaa KMnO_4 -lukua Dynasand suodoksessa ennen kuin saostuskemikaaleja on alettu syöttää prosessiin. Sarja 3 kuvaa KMnO_4 -lukua Dynasand suodoksessa, kun ferrisulfaattia käytetään saostuskemikaalina.



Kuva 13. Pylväsdiagrammi alumiini- ja rautajäämien suhteen samoissa näytepisteissä, joissa oli paras alenema KMnO_4 -luvussa. Sarja 1 kuvaa alumiinijäämää ennen Dynasand-suodatinta. Sarja 2 kuvaa jäämää Dynasand suodoksessa ennen kuin saostuskemikaaleja on alettu syöttää prosessiin. Sarja 3 kuvaa alumiinijäämää Dynasand suodoksessa, kun polyalumiinikloridia käytetään saostuskemikaalina. Sarja 4 kuvaa rautajäämää ennen Dynasand-suodatinta. Sarja 5 kuvaa jäämää Dynasand suodoksessa ennen kuin saostuskemikaaleja on alettu syöttää prosessiin. Sarja 6 kuvaa rautajäämää Dynasand suodoksessa, kun ferrisulfaattia käytetään saostuskemikaalina.

7 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Laboratoriokokeiden perusteella huomattiin, että sekä polyalumiinikloridin, että ferrisulfaation kohdalla pystytään pääsemään suhteellisen pienillä kemikaalilisäyksillä saostuskemikaalin toiminnan kannalta optimaaliselle pH alueelle. Laboratoriossa päästiin KMnO_4 -luvun suhteen parhaimmillaan noin 20 prosentin laskuun molemmilla saostuskemikaaleilla, ferrisulfaatilla saavutettiin hieman parempi tulos kuin polyalumiinikloridilla. Laboratoriossa suoritetuissa kokeissa alumiini sitoutui suodatushiekkään kohtuullisen hyvin Pac:n kohdalla ja erittäin hyvin PIX:n kanssa. PIX:iä käytettäessä oli jo laboratoriossa huomattavissa, että rautaa kulkeutui suodokseen selkeästi enemmän kuin mitä sitä oli syötössä alun perin.

Suuremman mittakaavan suodatukset tehtiin yhdellä Dynasand-hiekkasuodattimella. Näissä suodatuksissa käytettävät kemikaalivirtaukset laskettiin laboratoriokokeiden perusteella, käyttäen lähtöarvona 10 l/s kokonaisvirtausta hiekkasuodattimeen. Koska käytössä ei ollut erillistä virtausmittaria, ei voitu tarkistaa miten lähellä oikeaa tämä käytetty arvo oli. Kemikaalisyötöt tehtiin kahdella eri kalvopumpulla, joille pyrittiin optimoimaan pumpun iskunpituus ja käyntinopeus siten, että pumpun tuottama kemikaalivirtaus olisi mahdollisimman tasaista, eli käytettiin mahdollisimman pientä iskunpituutta ja suurta käyntinopeutta.

Dynasandilla suodatettaessa on selvästi huomattavissa, että molemmilla saostuskemikaaleilla saadaan paremmat tulokset KMnO_4 -luvun laskun suhteen kuin laboratoriossa, PIX:n kanssa saadaan hieman paremmat tulokset myös isossa mittakaavassa kuin Pac:lla. Polyalumiinikloridilla saavutetaan 20 – 25 prosentin alenema KMnO_4 -luvussa, kun suodoksen pH on alle 6,4. Tätä korkeammassa pH:ssa saostuskemikaali ei ole enää optimaalisella toiminta-alueellaan. Ferrisulfaatilla KMnO_4 -luvun lasku on keskimäärin 25 prosenttia kaikissa suodatuksissa.

Molemmilla saostuskemikaalilla on isossa mittakaavassa samanlainen ongelma. Pac:ia käytettäessä suodoksen alumiinipitoisuus kasvaa koko ajan suodatuksen edessä, kun suodoksen pH on alle 6,4. Suodoksen pH:n ollessa tätä korkeampi polyalumiinikloridin syötön aiheuttama alumiinin lisäys suodattimessa sitoutuu lähes ko-

konaan suodattimen hiekkaan. Tässä tapauksessa ongelmana vain on se, että saostuskemikaalin teho KMnO_4 -luvun laskun suhteen heikkenee liian korkean pH:n takia. Ferrisulfaatin kohdalla ongelma on se, että suodatuksen edetessä sekä suodoksen alumiini- että rautapitoisuus kasvaa. Rautapitoisuuden kasvu selittyy sillä, että rautaa tulee lisää suodattimeen ferrisulfaatin mukana. Alumiinin lisääntymisen syy saattaa olla se, että tutkimukseen käytetty Dynasand-suodin oli normaali käytössä koko sen ajan, kun tutkimusta tehtiin. Normaalioloissa suotimeen tulee koko ajan alumiinijäämää selkeytyksestä ja mahdollisesti osa tästä alumiinista sitoutuu hiekkasuotimen hiekkaan ja nyt kun ferrisulfaattia käytetään saostuskemikaalina, suotimen pH laskee selvästi alaspäin, aina 4,5 asti, osa tästä hiekkaan sitoutuneesta alumiinista lähtee taas liikkeelle. Suodatusten aikana myös hiekkasuotimen pesurista otettiin näytteitä ja näistä näytteistä mitattiin alumiini- ja rautapitoisuudet, myös pesurista poistuvan veden metallipitoisuudet kasvoivat molempien metallien osalta suodatuksen edistyessä. Eli näyttää siltä, että pesuri pystyy kunnolla toimiessaan poistamaan suodattimen vedestä jonkinlaisen prosenttiosuuden veden sisältämistä metalleista. Ongelmana vain on se, että miksi metallit tuntuvat konsentroituvan suodattimeen, vaikka suodattimesta poistuu pesurin ja suodoksen kautta saman verran vettä kuin siihen tulee.

Kaiken kaikkiaan tässä tutkimuksessa selvisi se, että suhteellisen pienillä kemikaalilisäyksillä ennen hiekkasuodinta on mahdollista laskea hiekkasuotimen suodoksen KMnO_4 -luvua noin 20 prosenttia. Tämä suodos kulkeutuu hiekkasuotimelta imeytysaltaille ja sieltä se imeytyy harjuun tekopohjavedeksi. Ongelmana on saostuskemikaalien lisäyksen aiheuttama metallipitoisuuksien kasvu Dynasandin suodoksessa, nämä metallit kulkeutuvat myös imeytysaltaan kautta harjuun.

Jatkotutkimuksena voisi olla mielenkiintoista miksi metallit tuntuvat konsentroituvan suotimeen suodatuksen edetessä. Muutenkin kaksoissaostus kaipaa lisätutkimusta siitä onko sillä saavutettava hyöty KMnO_4 -luvun laskun suhteen tarpeeksi verrattuna lisääntyneeseen kemikaalikulutukseen ja siihen nähden aiheuttaako lisääntynyt metallien kulkeutuminen imeytysaltaisiin ongelmia myöhemmin. Mahdollisia jatkotutkimuksia varten koejärjestelyä pitää todennäköisesti muuttaa muutamalta osin tarkempien tulosten varmistamiseksi. Ainakin tarvitaan virtausmittarit Dynasandin syöttöön ja tarkat mittaukset syötettävien kemikaalien virtauksesta. Optimaalista olisi, jos yhden hiekkasuotimen saisi eristettyä, mutta tämä lienee hankala toteuttaa.

Toinen asia mikä aiheuttaa tuloksiin epävarmuutta on se, että vesilaitokselle tulevan raakaveden laatu vaihtelee koko ajan ja tästä johtuen puhdistusprosessin eri vaiheissa on koko ajan pientä vaihtelua veden laadussa, tästä aiheutuu ongelmia jos yritetään optimoida kemikaalikulutuksia ja pH:ta tarkalleen.

LÄHTEET

Chartsbin. 2013. Total renewable water resources per capita by country. Viitattu 23.2.2015. <http://chartsbin.com/view/1470>

Chartsbin. 2013. Total water use per capita by country. Viitattu 23.2.2015. <http://chartsbin.com/view/1455>

Hanrahan, G., 2012. Key concepts in environmental chemistry. Waltham: Academic Press.

Hyxon www-sivut 2015. Viitattu 6.3.2015. <http://www.hyxo.fi>

Magram, S.F & Azeem, M.M.A. 2008. Evaluatio of the Performance of Dynamic Sand Filtration Under Real Working Conditions. Research Journal of Environmental Sciences 2, 53-57. Referred 23.3.2015. <http://scialert.net/fulltext/?doi=rjes.2008.52.57>

NCSU:n www-sivut 2016. Viitattu 4.2.2016. <http://www4.ncsu.edu/~hubbe/PAC.htm>

Nordic Waterin www-sivut 2015. Viitattu 6.3.2015. <http://www.nordicwater.com>

Kemiran www-sivut 2016. Viitattu 4.2.2016. <http://www.kemira.com>

Kurri, A-K. 2011. Humuksen karakterisointi ja analytiikka. Jyväskylän yliopisto. Kemian laitos. Pro gradu -tutkielma ja erikoistyö. Viitattu 10.2.2016. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BAD95B56C-56C7-479C-9BCA-AA3119DEA7AF%7D/91725>

Pelto-Huikko, A & Vieno, N. 2009. Vesikoulu – Tietopaketti juomavedestä ja sen valmistuksesta Suomessa. Viitattu 19.2.2015. http://www.vesikoulu.fi/assets/docs/vesikoulu_tietopaketti_juomavedesta.pdf

Porin kaupungin www-sivut 2015. Viitattu 10.2.2015. <http://www.pori.fi/>

Qtaishat, M. & Banat, F., 2013. Desalination by solar powered membrane distillation systems. Desalination 308, 186-197.

Turun kaupungin www-sivut 2016. Viitattu 14.2.2016. <http://ah.turku.fi/perla/2011/0119001x/Images/1023043.pdf>

WHO. 2011. Guidelines for drinking-water quality. 4th edition. Geneva: WHO Press.

Wikipedian www-sivut 2015. Viitattu 25.2.2015. <https://fi.wikipedia.org>

Wikipedian www-sivut 2016. Viitattu 10.2.2016. <https://fi.wikipedia.org>

Wikipedian www-sivut 2016. Viitattu 12.2.2016. <https://en.wikipedia.org>