

Aija Kurkinen

**SAOSTUKSEN TEHOSTAMINEN KURKELANRANNAN  
VEDENPUHDISTAMOLLA VETYPEROKSIDIN AVULLA**

# **SAOSTUKSEN TEHOSTAMINEN KURKELANRANNAN VEDENPUHDISTAMOLLA VETYPEROKSIDIN AVULLA**

Aija Kurkinen

Opinnäytetyö

Syksy 2015

Rakennustekniikan  
koulutusohjelma

Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, yhdyskuntatekniikan  
suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Aija Kurkinen

Opinnäytetyön nimi: Puhdistuksen tehostaminen Kurkelanrannan  
vedenpuhdistamolla vetyperoksidin avulla

Työn ohjaajat: Sara Alanära, Oulun Vesi; Pekka Leiviskä, Oulun  
ammattikorkeakoulu

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2015 Sivumäärä: 50 + 2 liitettä

---

Oulun Vesi valmistaa Oulun kaupunkialueella käytettävän talousveden puhdistamalla Oulujoen vettä. Raakaveden orgaanisen aineksen eli humuksen määrä on jo kymmenen vuoden ajan lisääntynyt. Siksi saostuskemikaaleja on käytettävä yhä suurempia määriä, mikä lisää talousveden valmistamisen kustannuksia.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, saadaanko vetyperoksidin lisäyksellä pienennettyä saostukseen tarvittavien ferrisulfaatin ja kalkin määrää. Lisäksi tutkittiin, voidaanko puhdistusta tehostaa nykyisestä lisäämällä peroksidia prosessiin nykyisellä saostuskemikaalimäärällä.

Laitosmittakaavan vetyperoksidikoeajot tehtiin Oulun Veden Kurkelanrannan vedenpuhdistamolla. Ensimmäisen tutkimusviikon aikana kerättiin vertailutietoa pitämällä ferrisulfaatin annos ja valmistettavan veden määrä vakiona. Vetyperoksidia ei vielä lisätty. Sen jälkeen tehtiin neljä viikon kestävä koeajoa. Kullakin viikolla käytettiin erilaista ferrisulfaatin ja vetyperoksidin annostusta. Prosessin eri vaiheista otettiin säännöllisesti näytteitä ja vetyperoksidin vaikutusta prosessin eri vaiheisiin seurattiin myös online-mittareilla.

Tutkimuksessa havaittiin, että vetyperoksidin lisäys ei juuri parantanut puhdistustulosta. Syynä tähän oli ferrisulfaatin tarpeeseen nähden liian suuri käyttömäärä. Jatkossa kannattaisi ensin optimoida ferrisulfaatin syöttömäärä ja sen jälkeen tehdä uusi vetyperoksidikoeajo.

---

Asiasanat: talousvesi, humus, ferrisulfaatti, vetyperoksidi, saostus

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Civil Engineering, Option of Municipal Engineering

---

Author: Aija Kurkinen

Title of thesis: Improvement of Water Purification Process by Hydrogen Peroxide at Kurkelanranta Purification Plant of Oulu Waterworks

Supervisors: Pekka Leiviskä Oulu University of Applied Sciences, Sara Alanära Oulu Waterworks

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2015

Pages: 50 + 2 appendices

---

The household water in Oulu city area is purified from surface water taken from the Oulu River. This work is made at Kurkelanranta purification plant of Oulu Waterworks.

The amount of natural organic matter, mainly humus, in the water of the Oulu River has increased during the past decade. For this reason more purification chemicals, ferric sulphate and lime have to be used.

The aim of this research was to test if added hydrogen peroxide could decrease the amounts of ferric sulphate and lime needed. Furthermore, it was studied if the purification process could be enhanced by adding hydrogen peroxide using the same purification chemical doses as nowadays.

A plant scale test run was conducted. Background information was collected for one week by keeping the amount of input ferric sulphate and amount of water purified stable. No hydrogen peroxide was added at this stage. After this four test runs lasting one week each were performed. The amounts of ferric sulphate and hydrogen peroxide were varied. Samples were taken during different process phases and also online measurements were made.

The use of hydrogen peroxide did not improve the purification result. This was because too much ferric sulphate had been used. In the future it would be reasonable to optimise the amount of ferric sulphate needed first and to test the effect of the hydrogen peroxide again after that.

---

Keyword: drinking water, humus, hydrogen peroxide, precipitation, ferric sulphate

## **ALKULAUSE**

Haluan kiittää Oulun Vettä mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta. Kiitokset opinnäytetyön ohjauksesta käyttöinsinööri Sara Alanärälle. Kiitän myös käyttömestari Reima Otamoa puhdistamon toimintaan perehdyttämisestä sekä käyttöpäällikkö Jarmo Lahtista. Kiitos Kurkelanrannan puhdistamon käytönvalvojille lukemattomien vesinäytteiden ottamisesta ja käyttölaboratorion henkilökunnalle niiden analysoimisesta.

Kiitän Oulun ammattikorkeakoulun tuntiopettaja Pekka Leiviskää ohjauksesta ja kannustuksesta sekä tuntiopettaja Soili Fabritiusta tekstinohjauksesta.

Oulussa 7.12.2015

Aija Kurkinen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	10
2 VEDENKÄSITTELYPROSESSI KURKELANRANNAN VESILAITOKSELLA	12
2.1 Raakaveden otto	13
2.2 Alkukalkin lisäys	13
2.3 Pikasekoitus ja koagulaatio	14
2.4 Flokkaus	14
2.5 Flotaatioselkeytys	14
2.6 Hiekkasuodatus	15
2.7 Välipumppaamo	15
2.8 Otsonointi	15
2.9 Aktiivihiihliuodatus	16
2.10 Desinfionti UV-valolla ja kloorilla	16
2.11 Alkalointi	16
2.12 Verkostoon johtaminen	17
3 ORGAANISEN AINEKSEN POISTO VEDESTÄ	18
3.1 Koagulaatio, flokkaus ja flotaatio	19
3.2 Hapettimien vaikutus koagulaatioon ja flokkaukseen	20
3.3 Fenton-reaktiot vedenpuhdistuksessa	20
4 VETYPEROKSIDIKOEAJOT	22
4.1 Tutkimusjärjestelyt	22
4.1.1 Ferrisulfaatin syöttö	24
4.1.2 Vetyperoksidin syöttö	24
4.1.3 Online UVAS -mittari	26
4.2 Analyysit ja määritykset	26

5 KOEAJOTULOSTEN ANALYSOINTI	31
5.1 TOC eli orgaanisen aineksen kokonaismäärä	34
5.2 Sameus hiekkasuodattimilta lähtevässä vedessä	35
5.3 Peroksidin syötön vaikutukset prosessiin	35
5.4 Rautapitoisuus hiekkasuodattimilta ja flotaatiosta lähtevässä vedessä	36
5.5 Kenttätestillä määritetyt peroksidipitoisuudet	38
5.6 Muutokset lähtevän veden laadussa	39
5.7 LC-OCD–analyysien tulokset	40
5.8 Online UVAS - ja sameusmittareiden vertailu	43
5.9 Tulosten arvioinnissa huomioitavia seikkoja	44
6 POHDINTA	46
LÄHTEET	48
Liite 1 Vetyperoksidikoeajon laboratoriotulokset	
Liite 2 Lähtevän veden laatu	

## SANASTO

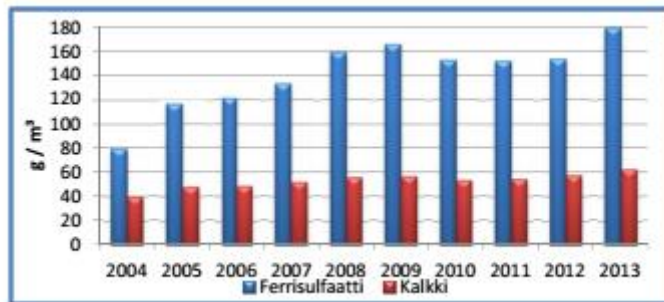
AOP	tehostettu hapetusprosessi, jossa hydroksyyli-radikaaleja syntyy huoneenlämpötilassa ja normaalipaineessa (advanced oxidation process)
DOC	liuennut orgaaninen hiili (dissolved organic carbon)
flokki	hiukkasten kasauma
flotaatio	flokkien erottaminen pinnassa ilma- tai kaasukuplien avulla
flot n	Kurkelanrannan puhdistamon flotaatioallas nro n (n = 1,2 tai 3)
fraktio	jae; seoksesta erotettu, samanlaisten aineiden muodostama osa
FTU	sameuden mittayksikkö (Formazin Turbidity Unit)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	vetyperoksidi
hydrofiilinen	vesihakuinen
hydrofobinen	vesipakoinen
koaguloida	suurentaa hiukkaskokoa liittämällä pienempiä hiukkasia yhteen
LC-OCD	nestekromatografia, jossa havaitaan orgaanisia hiilyhdisteitä (liquid chromatography-organic carbon detector)
NOM	luonnosta peräisin oleva orgaaninen aines (natural organic matter)



O3K	Kurkelanrannan puhdistamon otsonaattorilta lähtevä vesi, kokoomanäyte
PIX	ferrisulfaatti $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (Kemira)
RV	raakavesi
S1-6K	Kurkelanrannan puhdistamon hiekkasuodattimilta 1-6 lähtevän veden kokoomanäyte
TOC	orgaanisen hiilen kokonaismäärä (total organic carbon)
UVAS	UV-absorptio 254 nm:n aallonpituudella

# 1 JOHDANTO

Oulun Vedellä on kaksi pintavettä puhdistavaa vesilaitosta (Hintta ja Kurkelanranta), jotka valmistavat Oulun kaupunkialueella käytettävän talousveden Oulujoesta otettavasta raakavedestä. Oulujoen pintaveden orgaanisen aineksen, käytännössä humuksen, määrä on jo kymmenen vuoden ajan kasvanut ja siksi saostuskemikaaleja on käytettävä yhä suurempia määriä (kuva 1). Talousveden valmistamisen kustannukset ovat nousseet kemikaalien käyttömäärän kasvun ja kemikaalien hintojen kohoamisen vuoksi kymmenessä vuodessa noin kolmikertaisiksi ollen vuonna 2013 jo 480 400 €. (Oulun kaupungin vesihuollon kehittämissuunnitelma 2015–2030. 2015, 11–12.)



KUVA 1. Ferrisulfaatin ja kalkin syöttö vuosina 2004–2013 (Oulun kaupungin vesihuollon kehittämissuunnitelma 2015–2030. 2015, 12)

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, saadaanko vetyperoksidin lisäyksellä pienennettyä saostukseen tarvittavan ferrisulfaatin ja kalkin määrää. Lisäksi selvitetään, voidaanko puhdistusta tehostaa nykyisestä lisäämällä peroksidia prosessiin nykyisellä saostuskemikaalimäärällä.

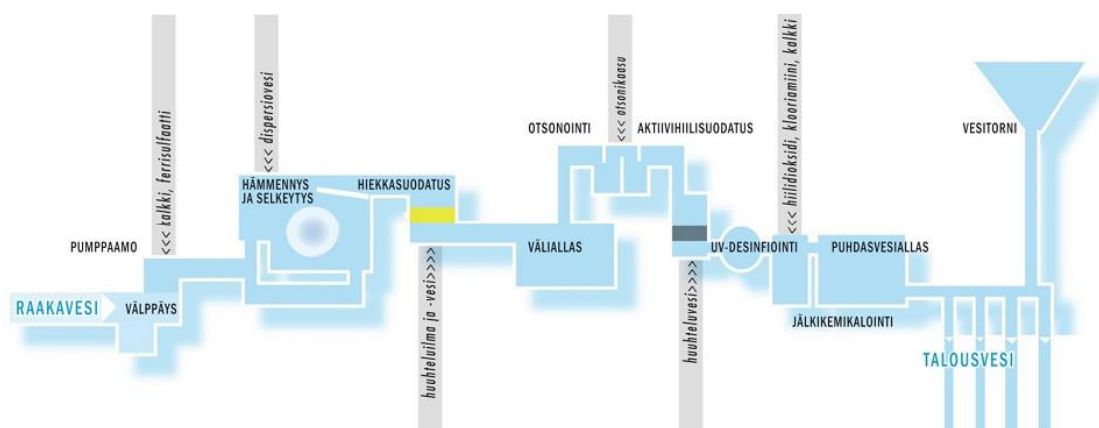
Tutkimus toteutetaan tekemällä laitosmittakaavan koeajo Kurkelanrannan vedenpuhdistamolla. Koeajon suunniteltu kokonaispituus on 1 + 4 viikkoa. 0-vaiheessa kerätään viikon ajan vertailunäytteitä tavanomaisesta puhdistusprosessista. Sen jälkeen tutkimuksessa tehdään neljä viikon kestävää keskeytymätöntä koeajoa käyttäen kahta eri vetyperoksidiannosta ja kahta eri

ferrisulfaattiannosta. Tutkimus toteutetaan kylmän veden aikaan tammi-helmikuussa, koska talviaikana raakaveden laatu pysyy tasaisempuna kuin muina vuodenaikoina. Saostus-pH pyritään pitämään vakiona koko koeajon ajan ja muiden muuttujien vaikutus vastaavasti minimoimaan. Prosessin eri vaiheista otetaan säännöllisesti näytteitä, joista analysoidaan laboratoriossa useita eri muuttujia.

Oulun Veden Hintan vedenpuhdistamolla on testattu vuonna 2013 astiakokeilla vetyperoksidilisäyksen vaikutusta koagulaatio-flokkaus-prosessien toimintaan. Laitostason koeajo talvella 2013–2014 jäi kuitenkin poikkeuksellisten sääolosuhteiden takia riittämättömäksi, minkä vuoksi tässä tutkimuksessa täydennetään tuolloin aloitettuja koeajoja. (Alanära 2015.)

## 2 VEDENKÄSITTELYPROSESSI KURKELANRANNAN VESILAITOKSELLA

Oulussa sekä Kurkelanrannan että Hintan vedenpuhdistamo ovat flotaatiosuodatinlaitoksia. Tämä työ on tehty Kurkelanrannan puhdistamolle ja jatkossa esitettävät tiedot koskevat tätä laitosta. Kurkelanrannan puhdistamon normaali mitoitustuotto on 600 m<sup>3</sup>/h ja maksimituotto 900 m<sup>3</sup>/h. Laitoksen puhdistusprosessin vaiheet on esitetty kuvassa 2. (Oulun Veden vedenpuhdistamot Kurkelanranta ja Hintta. 2012.) Luvuissa 2.1–2.12 prosessin vaiheita käsitellään yksityiskohtaisemmin.



KUVA 2. Kurkelanrannan puhdistusprosessi (Oulun Veden vedenpuhdistamot Kurkelanranta ja Hintta. 2012)

## 2.1 Raakaveden otto

Raakavesi otetaan Oulujoesta painovoimaisesti välppäkaivoon. Välppä poistaa veden mukana tulevat yli 5 mm:n kokoiset kiinteät epäpuhtaudet. Kaivossa on jatkuvatoiminen UV-absorptiomittari, jonka lukeman perusteella ferrisulfaatti annostellaan prosessiin. Lisäksi mitataan jatkuvatoimisesti pH-arvoa, sähkönjohtavuutta ja sameutta. (Ferrisulfaatin annostelun toimintaohje 3.2.50. 2008; Raakaveden pumppauksen toimintaohje 3.2.30. 2007; Oulun Veden vedenpuhdistamot Kurkelanranta ja Hintta. 2012.)

## 2.2 Alkukalkin lisäys

Raakaveteen lisätään kalkkia  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  veteen liotettuna eli kalkkimaitona. Kalkki nostaa raakaveden pH:n arvoon 10–11. Epäpuhtauksien saostuskemikaalina käytettävä ferrisulfaatti on hyvin hapanta ( $\text{pH} < 1$ ) ja kalkin lisäyksellä reaktio-pH saadaan saostusreaktiolle optimaaliseksi. Kylmän veden aikaan saostuksen tavoite-pH on 4,7 ja lämpimän veden aikana noin 4,4. (Kalkin annostelun toimintaohje 3.2.40. 2007.)

Kalkkimaito valmistetaan syöttämällä kalkkijauhetta siilosta ruuviannostelijalla liuotusaltaaseen, jossa se sekoittuu välipumppaamosta altaaseen tulevaan liuotusveteen. Selkeytyksen jälkeen liuotus jatkuu kahdessa säiliössä, joihin johdetaan lisää liuotusvettä välipumppaamolta. Liuotussäiliöstä kalkkivesi johdetaan varastoaltaaseen. Kalkkiveden väkevyyttä valvotaan johtokyky mittauksilla. (Kalkin annostelun toimintaohje 3.2.40. 2007.)

Ongelmat alkukalkin syötössä (yli- tai alisyöttö) häiritsevät flotaatioprosessin toimintaa. Koska epäpuhtaudet eivät saostu optimaalisesti, sameutta aiheuttavia aineita ja rautaa karkaa puhdistusprosessin seuraaviin vaiheisiin. Tämä vaikuttaa myös verkostoon johdettavan veden laatuun. (Kalkin annostelun toimintaohje 3.2.40. 2007.)

### **2.3 Pikasekoitus ja koagulaatio**

Raakavesi, johon on lisätty kalkkivesi, johdetaan pikasekoitustornin yläosaan. Altaassa on pystyvirtaus ja veden viipymäaika siellä on 2-3 minuuttia. Veteen liuotettu ferrisulfaatti lisätään veteen vasta pikasekoitustornin alaosassa, jotta epäpuhtauksista syntyvät mikroflokkit eivät ehdi muodostua liian suuriksi ja rikkoutua ennen kuin päätyvät flotaatioaltaaseen (koagulaatiota ja flokkausta käsitellään tarkemmin luvussa 3). Ferrisulfaatin annos määräytyy automaattisesti raakavesikaivon UV-absorptiolukeman ja raakavesivirtaaman perusteella. (Ferrisulfaatin annostelun toimintaohje 3.2.50. 2008; Pikasekoituksen toimintaohje 3.2.120. 2008.)

Koeajossa peroksidi annosteltiin pikasekoitustorniin kalkkimaidon syötön jälkeen ja ennen ferrisulfaatin syöttöä. Syöttö tapahtui veden pinnan alle vapaaseen tilaan, joten paineenpurkuventtiiliä ei tarvittu.

### **2.4 Flokkaus**

Pikasekoitustornista vesi johdetaan kolmelle rinnakkaiselle flokkausaltaalle. Hitaalla hämmennyksellä mikroflokkit saadaan liittymään toisiinsa ja muodostuu erottelukykyisiä flokkeja. Flokkausaltailta vesi johdetaan niiden päällä oleviin flotaatioselkeytsaltaisiin. (Flotaation toimintaohje 3.2.130. 2008.)

### **2.5 Flotaatioselkeytys**

Välipumppaamosta otettua vettä kyllästetään ilmalla ja tätä dispersiovetä kuplitetaan flotaatioaltaiden pohjissa olevien lukuisten suuttimien kautta altaisiin. Ilmakuplat nostavat flokit ja rautahydroksidisaostuman altaiden pinnalle, josta liete kaavitaan 1–3 tunnin välein kellokytkimen ohjaamalla kaapimella viemäriin. (Flotaation toimintaohje 3.2.130. 2008.)

Tavoitteena on esipuhdistaa vesi flotaatiossa mahdollisimman puhtaaksi ennen seuraavia puhdistusprosessin vaiheita. Dispersioveden pH on nostettu tasolle 5,9–6,5, jolloin flotaatioaltaasta karkaava kahdenarvoinen rauta saostuu hydroksidina hiekkasuodattimille. Hiekkasuodattimilta karkaavan raudan määrä

täytyy pitää mahdollisimman alhaisena, koska se tukkii otsonoinnin diffuusoreita ja lisäksi likaa aktiivihiilisuodattimia. Jälkisaostuminen aktiivihiilisuodattimille lyhentää suodattimien käyttöikä ja lisää niiden pesutarvetta, mistä aiheutuu lisäkustannuksia. Flotaatioprosessin toimintaa seurataan mittaamalla veden sameutta online-mittareilla ja laboratorianalyysien (TOC, pH, hiilidioksidi, rauta, sameus) avulla. (Kalkin syöttöhäiriön toimintaohje 3.2.45. 2007; Flotaation toimintaohje 3.2.130. 2008.)

## **2.6 Hiekkasuodatus**

Flotaatioaltaista vesi johdetaan hiekkasuodattimille, joiden läpi vesi kulkee ylhäältä alaspäin. Suodattimille jää mekaanisesti kiinni suurin osa flotaatioaltailta karanneista flokeista. Laitoksella on 6 rinnakkaista hiekkasuodatinta. Kurkelanrannan puhdistamon hiekkasuodattimiin on lisätty kalkkikivirouhetta, joka nostaa suodattimissa pH:n alueelle 6,2–6,4 ja varmistaa raudan saostumisen sekä vähentää myös välikalkin syöttötarvetta. (Otamo 2015; Oulun Veden vedenpuhdistamot Kurkelanranta ja Hintta 2012; Hiekkasuodatuksen toimintaohje 3.2.150. 2008.)

## **2.7 Välipumppaamo**

Hiekkasuodattimilta vesi johdetaan välipumppaamoon ja sieltä edelleen otsonointiin. Välipumppaamon vettä käytetään myös dispersiovetenä flotaatioaltailla, kalkin ja ferrisulfaatin liuotukseen/kuljetukseen sekä hiili- ja hiekkasuodattimien pesuvedenä. (Välipumppaamon toimintaohje 3.2.160. 2008.)

## **2.8 Otsonointi**

Johtamalla veteen otsonikaasua vedestä saadaan poistettua kaikki tunnetut bakteerit ja virukset, hajua ja makua aiheuttavia aineita ja samalla pilkotaan hiilivetyketjuja pienemmiksi, jotta aktiivihiilisuodattimien pinnalla elävät bakteerit voivat käyttää niitä ravinnokseen. (Otsonoinnin/otsonaattorin toimintaohje 3.2.170. 2008). Otsoni valmistetaan suoraan hapesta (Oulun Veden vedenpuhdistamot Kurkelanranta ja Hintta 2012).

## **2.9 Aktiivihiihisiuodatus**

Otsonoinnin puhdistustulosta tehostavavat aktiivihiihisiuodattimet, joissa vesi kulkee aktiivihiihisiuodattajan läpi. Suodattimet toimivat mekaanisina, kemiallisina ja biologisina puhdistimina ja niillä saadaan poistettua vedestä hajuja ja makuja aiheuttavia epäpuhtauksia. Käytössä on 4 suodatinta, jotka on kytketty pareittain sarjaan. Suodattimien aktiivihiihi regeneroidaan 3-4 vuoden välein. Hiilien puhdistaminen on kallista ja siksi onkin tärkeä saada vesi puhdistettua riittävän hyvin jo aiemmissa prosessin vaiheissa. (Oulun Veden vedenpuhdistamot Kurkelanranta ja Hintta 2012; Aktiivihiihisiuodatuksen toimintaohje 3.2.180. 2008.)

## **2.10 Desinfiointi UV-valolla ja kloorilla**

Aktiivihiihisiuodatuksen jälkeen vesi desinfioidaan vielä UV-laitteella. Tämä tuhoaa mahdollisesti otsonoinnista jäljelle jääneet tai aktiivihiihisiuodattimilta tulleet mikrobit. Sitten vesi johdetaan desinfiointialtaaseen, jossa siihen lisätään klooria 11 % natriumhypokloriittina, joka tuhoaa vedessä vielä mahdollisesti olevat mikrobit. Kloorijäännökset sidotaan ammoniumkloridilla kloramiineiksi, jotta mikrobien kasvua estävä vaikutus säilyy vesijohtoverkostossakin. (Desinfioinnin toimintaohje 3.2.190. 2007; Oulun Veden vedenpuhdistamot Kurkelanranta ja Hintta 2012.)

## **2.11 Alkalointi**

Desinfiointialtaasta vesi johdetaan alkalointialtaaseen. Alkalointi tarkoittaa veden kalkki- ja hiilidioksidikäsittelyä, joka nostaa veden kovuutta ja pH:ta ja parantaa puskurointikykyä. Alkaloinnilla vesijohtoverkostoa suojataan korroosiolta. (Alkaloinnin/hiilidioksidin annostelun toimintaohje 3.2.100. 2008.)

Kalkilla veden kokonaiskovuus nostetaan noin 0,6 mmol/l suuruiseksi. Kalkki muodostaa hiilidioksidin kanssa verkostossa kalsiumkarbonaattia, joka pinnoittaa putkistot. Tämä estää veden mukana kulkevaa happea ruostuttamasta rautaputkia. Liian alhainen veden kokonaiskovuus aiheuttaa



korroosiota putkistossa ja liian korkea taas lisää kalkin saostumista putkistoon. (Alkaloinnin/hiilidioksidin annostelun toimintaohje 3.2.100. 2008.)

Veteen liuennut hiilidioksidi nostaa alkaliteettia eli veden puskurointikykyä pH-muutoksia vastaan. Lähtevän veden alkalitetin tavoitearvo on 0,7 mmol/l. Lähtevän veden pH nostetaan kalkilla arvoon 8,3–8,5. (Alkaloinnin/hiilidioksidin annostelun toimintaohje 3.2.100. 2008.)

## **2.12 Verkostoon johtaminen**

Alkaloinnin jälkeen vesi on valmista pumpattavaksi verkostoon. Puhdistettu vesi varastoidaan puhtasvesialtasiin, jotka tasaavat virtausta ja turvaavat jatkuvan talousveden saannin esimerkiksi prosessin huolto- ja korjaustoiden ajaksi. Verkostoon lähtevän veden kokonaisklooripitoisuutta, sähkönjohtavuutta ja pH-arvoa seurataan jatkuvatoimisilla mittareilla. Lisäksi käyttölaboratoriossa vedestä analysoidaan useita kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia. (Oulun Veden vedenpuhdistamot Kurkelanranta ja Hintta 2012; Puhtasvesialtaiden toimintaohje 3.2.230. 2007.)

### 3 ORGAANISEN AINEKSEN POISTO VEDESTÄ

Luonnosta peräisin olevaa orgaanista ainesta (NOM) on kaikissa luonnonvesissä. 1990-luvulta lähtien on havaittu NOM:n määrän lisääntyneen merkittävästi Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Tähän johtaneita syitä ei täysin ymmärretä, mutta ilmastonmuutos ja sen aiheuttamat muutokset esimerkiksi sademäärissä lienee yksi tärkeimmistä syistä. Myös esimerkiksi maankäytön muutoksilla voi olla vaikutusta. (Eikebrokk – Vogt – Liltved 2004, 47–50.)

Orgaanisen aineksen poisto vedestä on tärkeää useista syistä. Orgaaninen aines heikentää veden laatua aiheuttamalla väri-, maku- ja hajuongelmia. Se lisää myös saostus- ja desinfiointikemikaalien tarvetta. Lisäksi orgaaninen aines voi kuljettaa mukanaan kompleksoituneita raskasmetalleja ja adsorboituneita orgaanisia epäpuhtauksia. NOM voi reagoida desinfektioaineiden, esimerkiksi kloorikemikaalien, kanssa tuottaen terveydelle haitallisia sivutuotteita. (Sillanpää 2015, 6.) Oulujoen vedessä orgaaninen aines on pääosin humusta (Alanära 2015).

Humuksessa on useita monimutkaisia, hiiltä sisältäviä, kemiallisia yhdisteitä, jotka ovat syntyneet maatumisprosessissa hajoavasta eläin- tai kasviaineksesta sekä eliöiden eritteistä. Humus on erittäin hienojakoista ainesta, jonka hiukkaskoko on aina alle 0,45 mikrometriä. Se esiintyy vedessä liuenneena tai kolloidina eikä sitä voida poistaa suodattamalla. Humus siis eroaa kiintoaineesta, joka on vedessä hiukkasina ja suodattamalla poistettavissa. Sadevesiin liuennut humus huuhtoutuu vesistöihin aiheuttaen kellertävänruskeaa väriä. (Vapo, linkit Vastuullisuus -> Ympäristö -> Turvetuotantoa vastuullisesti -> Turvetuotannon ympäristökuormitus -> Tietoa humuksesta.)

### 3.1 Koagulaatio, flokkaus ja flotaatio

Vesilaitoksella humus poistetaan yleensä koagulaatio-flokkaus-selkeytysprosessilla. Vedessä olevat kolloidiset hiukkaset (hiukkaskoko  $10^{-9}$ – $10^{-6}$  m), esimerkiksi savi ja humus, ovat yleensä negatiivisesti varautuneita ja ne hylkivät toisiaan eivätkä siksi voi liittyä yhteen. Niitä ei voida poistaa ilman, että hiukkasten kokoa kasvatetaan. Tämä saadaan aikaan koagulaatio- ja flokkausprosessin avulla. Koagulaatiossa hiukkasten pintavaraus neutraloidaan kemikaalin avulla, jotta hiukkaset voivat liittyä yhteen suuremmiksi hiukkasiksi, joita kutsutaan mikroflokeiksi. Flokkausprosessissa mikroflokkit törmäävät toisiinsa ja muodostavat edelleen suurempia rakenteita, flokkeja. Hitaan hämmennyksen avulla hiukkaskasaumia kasvatetaan yhä suuremmiksi, laskeutuskelpoisiksi hiukkasiksi, makroflokeiksi. (Karttunen 2004, 133, 415.)

Selkeytyksessä makroflokkit poistetaan vedestä. Selkeytysmenetelmiä ovat laskeutus ja flotaatio. Laskeutuksessa makroflokkit, jotka ovat vettä raskaampia, laskeutuvat painovoiman vaikutuksesta selkeytysaltaan pohjalle. Pohjalle jäävä liete poistetaan. Flotaatiossa veteen johdetaan pieniä kaasukuplia, tavallisesti ilmaa. Kuplat kiinnittyvät makroflokkeihin ja nostavat ne veden pinnalle, josta ne voidaan kerätä pois. (Karttunen 2004, 77, 97.)

Koagulantteina käytetään yleensä alumiini- tai rautasuoloja. Suola hajaantuu (dissosioituu) vedessä muodostaen kolmiarvoisia ioneja ( $Al^{3+}$  tai  $Fe^{3+}$ ). Ionit hydrolysoituvat ja muodostavat monia vesiliukoisia komplekseja, joilla on korkea positiivinen varaus. Kompleksit adsorboituvat negatiivisesti varautuneiden kolloidien pinnalle. Tämä pienentää kolloidihukkasten sähköisen kaksoiskerroksen hylkivää potentiaalia ja tästä seuraa, että mikroflokkeja voi muodostua. Koagulaation tehokkuus NOM:n poistossa riippuu useista tekijöistä, muun muassa koagulantin tyypistä ja annoksesta, sekoitusolosuhteista, pH:sta, lämpötilasta, partikkelien ja NOM:n ominaisuuksista sekä muista liuoksessa olevista ioneista. (Matilainen – Vepsäläinen – Sillanpää 2010, 189–197.)

### 3.2 Hapettimien vaikutus koagulaatioon ja flokkaukseen

Suurin osa NOM:sta voidaan poistaa koaguloimalla, vaikka hydrofobiset (vesipakoiset) molekyylit ja korkeamolekyyliinmassaiset yhdisteet ovatkin helpoimmin poistettavia kuin hydrofiiliset (vesihakuiset) yhdisteet tai matalamolekyyliinmassaiset aineet. Juomaveden valmistuksen tehostamiseksi tutkijat pyrkivät parantamaan koagulointia ja kehittämään uusia prosessivaihtoehtoja NOM:n poistamiseksi. (Matilainen ym. 2010, 189–197.)

Esihapetusta on perinteisesti käytetty koagulointiprosessin parantamiseen. Tehostetuissa hapetusprosesseissa, joista käytetään lyhennettä AOP (advanced oxidation process), prosessiin luodaan huoneenlämpötilassa ja normaalipaineessa hydroksyyliiradikaaleja, jotka ovat eräitä vahvimista tunnetuista hapettimista. (Goslana – Gurses – Banks – Parsons. 2006.) Esimerkiksi seuraavia hapettimien, säteilyn ja katalyyttien yhdistelmiä on käytetty AOP:ssä:  $O_3/H_2O_2$  (peroksoni),  $UV/H_2O_2$ ,  $UV/O_3$ ,  $UV/TiO_2$ ,  $Fe^{2+}/H_2O_2$  (Fenton),  $Fe^{2+}/H_2O_2$  + säteily (foto-Fenton), tyhjiöultravioletisäteily (VUV) ja ionisoiva säteily. (Sillanpää 2014, 160.) Fenton-reaktiota käsitellään tarkemmin luvussa 3.3.

Kun puhdistettavaa vettä esikäsitellään jollakin AOP-menetelmällä, hapetus muuttaa NOM:n rakenteellisia ominaisuuksia ja siten vaikuttaa orgaanisen aineen adsorption- ja koagulaatio-ominaisuuksiin (Sillanpää 2014, 276). Koska NOM:n poistotulokset riippuvat puhdistettavan veden ominaisuuksista, kuten orgaanisen aineen määrästä, NOM:n sisältämien yhdistetyyppien laatu ja määrät on selvitettävä ennen AOP:n suunnittelua ja optimointia. Käsitellyn veden orgaanisten aineiden ominaispiirteet täytyy myös määrittää, jotta voidaan arvioida hapetuksen vaikutus seuraaviin prosessivaiheisiin. (Sillanpää 2014, 160.)

### 3.3 Fenton-reaktiot vedenpuhdistuksessa

Humuksenpoiston tehostaminen rautapohjaisilla koagulanteilla (esim. ferrisulfaatti, ferrikloridi) ja peroksiedeilla perustuu todennäköisesti peroksidien

hapettavaan vaikutukseen. Vetyperoksidi itsessään ei ole erityisen voimakkaasti hapettava, ellei sitä aktivoida esimerkiksi metallisuoloilla. Vetyperoksidin ja  $Fe^{2+}$ -ionien välillä tapahtuu matalassa pH:ssa (2,8–3,0) ns. Fenton-reaktio. (Kaava 1.) (Murray – Parsons 2014, 1018.)

Fenton-reaktiossa hydroksyyliiradikaaleja muodostuu vetyperoksidin hajotessa katalyytin (metallisuola tai oksidi) vaikutuksesta. Yleensä katalyyttinä käytetään kahdenarvoista rautasuolaa (Crittenden – Hand – Howe - Tchobanoglous - Trussell 2012, 1477).



Mikäli vetyperoksidi reagoi  $Fe^{3+}$ -ionien kanssa, reaktio voidaan esittää kaavan 2 mukaisesti.



Edellä kuvattujen reaktioiden perusteella voidaan sanoa, että sekä ferro- ( $Fe^{2+}$ ) että ferrisuolat ( $Fe^{3+}$ ) soveltuvat käytettäväksi Fenton-tyyppisissä reaktioissa, sillä reaktiosykli on katalyyttinen. (Murray – Parsons 20014, 1018.)

Rautapohjaisia koagulantteja käytettäessä saostus-pH on noin 4,5–4,8. Tämä on korkeampi kuin Fenton-reaktioille optimaalisena pidetty pH-arvo 3. Kuitenkin laboratoriokokeissa Fenton-reaktiolla on saatu poistettua NOM:a tehokkaasti kun pH on ollut alueella 3–7. (Goslan – Gurses – Banks – Parsons 2006, 1116.)

## 4 VETYPEROKSIDIKOEAJOT

Raakaveden laadun heikkenemisen takia puhdistuskemikaaleja tarvitaan vuosi vuodelta enemmän. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, saadaanko vetyperoksidin lisäyksellä pienennettyä saostukseen tarvittavien ferrisulfaatin ja kalkin määrää tai voidaanko puhdistusta tehostaa nykyisestä lisäämällä peroksidia prosessiin nykyisellä saostuskemikaalimäärällä. Tutkimuksessa toteutettiin 1+4 viikkoa kestävä laitosmittakaavan koeajo, jonka vaiheet on esitetty taulukossa 1.

*TAULUKKO 1. Tutkimussuunnitelman mukaiset koeajon vaiheet*

Kalenteriviikko	Koeajoviikko	ferrisulfaatti-annos (g/m <sup>3</sup> )	vetyperoksidi (g/m <sup>3</sup> )
5/2015	0	taulukon 3 mukainen	-
6/2015	1	taulukon 3 mukainen	15,0
7/2015	2	taulukon 3 mukaisesta vähennetty 20 g/m <sup>3</sup>	15,0
8/2015	3	taulukon 3 mukaisesta vähennetty 20 g/m <sup>3</sup>	6,0
9/2015	4	taulukon 3 mukainen #	6,0

# Toteutunut koeajo viikko 4: taulukon 3 mukaisesta vähennetty 30 g/m<sup>3</sup>

Lisäksi tutkittiin koekäytössä olevan online UVAS -mittarin soveltuvuutta veden laadun seuraamiseen eri prosessivaiheissa. Mittarin toimivuutta verrattiin nykyisin käytössä olevien sameusmittareiden toimivuuteen. Kertyviä mittaustietoja hyödynnettiin myös peroksidikoeajon seurannassa.

### 4.1 Tutkimusjärjestelyt

Prosessin olosuhteet (raakaveden laatu, valmistettavan veden määrä ja saostus-pH) pyrittiin pitämään mahdollisimman vakioina, jotta tutkimustulokset olisivat luotettavampia. Koeajot tehtiin talvella, koska talviaikaan jokiveden laatu on tasaisempi. Koeajon tekniset tiedot on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Koeajon tekniset tiedot

<b>Kemikaali</b>	<b>kaava</b>	<b>toimittaja</b>
ferrisulfaatti (PIX-322)	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	Kemira
vetyperoksidi (50 %)	$\text{H}_2\text{O}_2$	Kemira
kalkki	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Nordkalk
<b>Laite</b>	<b>merkki/malli</b>	<b>ominaisuudet</b>
kemikaalipumppu	Grundfos Alldos DDa	maksimivirtaus 30 l/h maksimipaine 4 bar
UVAS-mittari	anturi UVAS plus sc lähetin sc200	itsepuhdistuva (pyyhin) digitaalinen/analoginen
Peroksiditestilaite	RQFlex 10 –reflektometri	määritysalue 0,2–20,0 mg/l
<b>Prosessin parametrit</b>		
valmistusmäärä	500 m <sup>3</sup> /h	
reaktio-pH (tavoite)	4,7	

#### 4.1.1 Ferrisulfaatin syöttö

Saostukseen käytettävä ferrisulfaatin annostus riippuu raakaveden sisältämän orgaanisen aineen määrästä, jota mitataan raakavesikaivossa olevalla jatkuvatoimisella UV-absorptiomittarilla. Syöttömäärä määräytyy automaattisesti taulukon 3 perusteella. Normaalitilanteessa talvella absorbanssi on alueella 35–40 1/m. Tällainen tilanne vallitsee noin 6–7 kuukauden ajan vuodessa, keskitalvella ja kesällä. Tulva-aikoina ferrisulfaatin syöttömäärää kasvaa, kun UV-absorbanssi nousee jopa 90 1/m asti. (Otamo 2015.)

*TAULUKKO 3. Ferrisulfaatin tavanomainen syöttömäärä raakaveden eri UV-absorbanssiarvoilla*

<b>UV-absorbanssi (1/m)</b>	<b>ferrisulfaatti (g/m<sup>3</sup>)</b>
20	80
30	120
35	127
40	137
45	153
50	171
60	200
65	215
70	230
90	260

#### 4.1.2 Vetyperoksidin syöttö

Vetyperoksidikontille ja pumpulle oli rakennettu suoja-allas ja valvontakamera oli asetettu kuvaamaan konttia ja pumppua. Järjestely on esitetty kuvassa 3 ja tekniset tiedot on esitetty taulukossa 2 (sivulla 23).





*KUVA 3. Peroksidikontti suoja-altaassa*

Vetyperoksidin syöttömäärä määräytyi taulukon 4 mukaisesti.

*TAULUKKO 4. Vetyperoksidin syöttö eri veden valmistusmäärillä (koeajossa 500 m<sup>3</sup>/h)*

valmistus m <sup>3</sup> /h	vetyperoksidipitoisuus	
	6 g/m <sup>3</sup> syöttö l/h	15 g/m <sup>3</sup> syöttö l/h
750	3,77	9,41
700	3,51	8,79
650	3,26	8,16
600	3,01	7,53
550	2,76	6,90
500	2,51	6,28
450	2,26	5,65

### 4.1.3 Online UVAS -mittari

Kokeiltava UVAS-mittari sijoitettiin hiekkasuodattimelle 1. Mittarin tekniset tiedot on esitetty taulukossa 2 (sivulla 23). Kuvassa 4 on esitetty mittari asennettuna altaaseen.



*KUVA 4. Online UVAS -mittari hiekkasuodattimella 1, mittausanturi on 4–5 cm pinnan alapuolella (merkitty nuolella)*

## 4.2 Analyysit ja määritykset

Vetyperoksidin lisäämisen vaikutusta orgaanisen aineen poistoon arvioitiin vertaamalla raakaveden ja flotaatiosta lähetävän veden TOC:a, sameutta ja UV-absorbanssia 0-vaiheessa kerättyihin arvoihin. Näytteistä määritettiin taulukossa 5 esitetyt arvot. Taulukossa ovat mukana myös ne normaaliin käytönseurantaan kuuluvat analyysit, joiden tuloksia käytettiin koeajojen arviointiin, sekä online-mittareiden kautta saatavat tiedot. Kaikki koeajojen analyysitulokset on esitetty liitteessä 1.

TAULUKKO 5. Eri prosessin vaiheista otetuista vesinäytteistä tehdyt analyysit ja mittaukset (lyhenteiden selitykset taulukon alla)

Mitattu muuttuja	Näytteenotto kohta prosessissa							näytteen ottotiheys	Mitä tietoa saadaan
	RV	KK	Flot	S1-6K	O3K	HS	LV		
TOC (mg/l)	LAB		LAB					3 x vrk	orgaanisen hiilen kokonaismäärä
sameus (FTU)	OL		OL					jatkuva	orgaanisen aineen määrä
alkaliteetti (mmol/l)	LAB		LAB	LAB*				3 x vrk	puskurointikyky
Fe (mg/l)	KS		LAB	LAB				3 x vrk	prosessiin pääsevä rauta
pH	OL		LAB	LAB *				3 x vrk	prosessin seuranta
UVAS (1/m)	OL		LAB OL					3 x vrk	liuennneiden orgaanisten aineiden kokonaismäärä
CO <sub>2</sub> (mg/l)				LAB				3 x vrk	vaikuttaa korroosioon putkistossa
kok.pesäkkeet (pmy/ml)								2 x vko	hygieenisuus

(jatkuu)

TAULUKKO 5 (jatkuu)

Mitattu muuttuja	Näytteenotto kohta prosessissa							näytteen ottotih eys	Mitä tietoa saadaan
	RV	KK	Flot	S1-6K	O3K	HS	LV		
peroksidi (mg/l)			KT	KT	KT	KT&	KT&	3 x vko	prosessin läpi kulkevan vetyperoksidin määrä
redox (mV)					OL				hapetuksen tehokkuus
LC-OCD		KEM	KEM					#	orgaanisen aineen jakeet ja niiden suhteet
sähkönjohto- kyky (mS/m)	KS								ionien, mm. sulfaatin määrä
kovuus (mmol/l)							KS		vaikuttaa verkoston syöpymiseen

Lyhenteet:

RV	raakavesi	LAB	laboratoriokokeet
KK	kemialoitu	OL	online-mittaus
S1-6K	hiekkakokooma	KT	kenttätesti
Flot	flotaatiosta lähtevä vesi	KEM	Kemiralla analysoitu
O3K	otsonoinnista lähtevä vesi	KS	käyttöseurantanäyte
HS	aktiivihiihluodattimelta lähtevä vesi		
LV	verkostoon lähtevä vesi		

\* 3.2.2015 otetuista näytteistä alkaen

# kertonäytteet 0-vaiheesta ja 1-vaiheesta

& muutamia pistokokeita

Käytönvalvojat ottivat näytteet kerran työvuorossa eli vuorokaudessa otettiin yhteensä 3 näytettä järjestyksessä ilta-yö-aamu. Näin näytteet saatiin arki-aamuisin lähtevän näytelaukun mukana Oulun Veden käyttölaboratorioon analysoitaviksi. Näytteitä ei siten tarvinnut säilyttää kauan ja tulokset saatiin nopeammin. Näytteet säilytettiin jääkaapissa ja ne yhdistettiin laboratoriossa 1 vuorokauden kokoomanäytteeksi. Poikkeuksena otsonoidusta vedestä otettiin vain yksi näyte vuorokaudessa kahtena päivänä viikossa kokonaispesäkeluvun määrittystä varten.

Näytteet analysoitiin pääasiassa 24 tunnin sisällä. Joskus rautanäytteitä kerättiin 2 vuorokauden ajan. Viikonloppuna otetut näytteet analysoitiin vasta seuraavalla viikolla. Näitä näytteitä ei kestävyty, koska Oulun Veden käyttölaboratorion kokemusten mukaan muutokset analysoitavien yhdisteiden pitoisuuksissa muutaman päivän säilytyksen aikana eivät ole merkittäviä. Kokonaispesäkelukua ei määritetty viikonloppuna otetuista näytteistä.

Näytteet otettiin flotaatiosta lähtevästä vedestä sellaisena ajankohtana, että flotaation lietteenpoistosta aiheutuva tilapäinen veden sameneneminen ei haitannut. Käytännössä käytettiin vähintään 30 minuutin rauhoittumisaikaa lietteenpoiston jälkeen.

Kemiran tutkimuskeskuksessa tehtävillä LC-OCD-määrityksillä arvioitiin, onko eri kemikaaliannostuksilla vaikutusta orgaanisen aineksen laatuun, esimerkiksi pilkkoutumiseen ja eri jakeiden määräsuhteisiin. LC-OCD-näytteet otti laboratorion henkilökunta. Näytteiden säilymistä varten ne suodatettiin näytteenoton jälkeen 0,45 µm suodattimen läpi, jotta liuennut fraktio säilyisi varmasti stabiilina ja lisäksi näytteet säilytettiin pakastettuina.

LC-OCD-menetelmällä voidaan erotella toisistaan vesinäytteen eri orgaanista hiiltä sisältävät aineosat ja määrittää niiden pitoisuudet. Laitteisto koostuu putkesta, jonka sisällä oleva materiaali erottelee läpivirtaavan näytteen aineosakoon ja kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Eri aineet tarttuvat eri voimakkuudella putken sisällä olevaan materiaaliin. Ensin ulos tulevat

heikommin kiinnittyvät aineet ja viimeisinä vahvimmin tarttuvat molekyylit. Ulostulevien aineiden laatu ja määrä määritetään orgaanisen hiilen ilmaisimen (detektori) ja UV-ilmaisimen avulla (254 nm:n aallonpituudella).

## 5 KOEAJOTULOSTEN ANALYSOINTI

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää vetyperoksidin lisäämisen vaikutus orgaanisen aineen poistoon, prosessin toimintaan ja veden laatuun prosessin eri vaiheissa. Vaikutuksia arvioitiin mittaustulosten ja koeajojen (taulukko 6) kokemusten perusteella. Orgaanisen aineen poiston kannalta oleellisia muuttujia olivat veden TOC-, sameus ja UVAS-arvot.

*TAULUKKO 6. Koeajon vaiheet*

koeviikko	ferrisulfaatin vähennys (g/m <sup>3</sup> )	vetyperoksidin lisäys ( g/m <sup>3</sup> )
1	0	15
2	20	15
3	20	6
4	toteutunut 30	6

Koekäytössä oli online UVAS -mittari, jonka soveltuvuutta prosessin seurantaan arvioitiin vertaamalla tuloksia online-sameusmittareiden antamiin lukemiin ja laboratoriotutkimusten antamiin arvoihin. Tärkeimmät laboratoriotulokset on esitetty taulukoissa 7.

TAULUKKO 7. Koeajoen tärkeimmät tulokset

PVM	RV	FLOT1K			FLOT2K			FLOT3K			S1-6K
	TOC, mg/l	TOC, mg/l	Fe, mg/l	UV-abs, 1/m	TOC, mg/l	Fe, mg/l	UV-abs, 1/m	TOC, mg/l	Fe, mg/l	UV-abs, 1/m	Fe, mg/l
<b>vko 0</b>											
26.1.15	9,8	2,6	1,7	12,4	2,5	1,6	12,0	2,6	1,9	11,9	0,02
27.1.15	9,7	2,7	1,9	13,5	2,8	2,3	15,0	2,4	1,2	10,4	0,03
28.1.15	9,5	2,7	2,2	14,8	2,8	3,0	15,9	2,4	1,2	10,3	0,03
30.1.15	9,6	2,6	1,9	12,9	2,4	1,5	11,1	2,4	1,3	10,2	0,04
k.a.	9,7	2,7	1,9	13,4	2,6	2,1	13,5	2,5	1,4	10,7	0,03
<b>vko 1</b>											
3.2.15	9,7	2,6	1,7	12,7	2,8	2,4	15,3	2,4	1,2	11,2	0,03
4.2.15	9,7	2,5	1,8	12,9	2,6	1,9	14,2	2,4	1,5	11,5	0,05
5.2.15	9,8	2,5	1,4	11,1	2,6	1,7	12,5	2,4	1,2	10,4	0,03
6.2.15	9,7	2,7	2,0	14,0	2,3	2,9	16,8	2,4	1,3	10,7	0,04
k.a.	9,7	2,6	1,7	12,7	2,6	2,2	14,7	2,4	1,3	11,0	0,04
<b>vko 2</b>											
11.2.15	9,8	2,9	2,3	15,5	2,9	2,7	16,5	2,5	1,2	10,8	0,05
14.2.15	10,0	2,5	2,1	12,2	2,6	2,0	12,8	2,4	1,2	9,5	0,04
15.2.15	10,2	2,4	1,3	10,1	2,5	1,6	11,4	2,5	1,2	10,2	0,03
16.2.15	10,1	2,7	1,6	12,6	2,9	2,1	14,9	2,6	1,2	10,9	0,04
k.a.	10,0	2,6	1,8	12,6	2,7	2,1	13,9	2,5	1,2	10,4	0,04
<b>vko 3</b>											
18.2.15	9,9	2,6	1,4	11,5	2,6	1,5	12,3	2,5	1,2	10,7	0,06
19.2.15	9,9	2,7	2,0	14,7	2,8	2,7	15,6	2,5	1,2	10,9	0,04
20.2.15	9,7	2,5	1,4	10,9	2,6	1,3	11,7	2,5	1,3	10,7	0,04
21.2.15	9,9	2,7	1,5	10,4	2,9	2,5	13,3	2,5	1,3	9,5	0,06
22.2.15	9,9	2,7	1,6	11,8	3,0	3,0	15,7	2,5	1,2	10,2	0,03
23.2.15	9,9	2,7	1,7	13,2	2,7	1,5	12,7	2,5	1,2	10,7	0,04
24.2.15	9,9	2,8	1,6	12,7	3,2	3,2	17,8	2,5	1,2	10,8	0,05
k.a.	9,9	2,7	1,6	12,2	2,8	2,2	14,2	2,5	1,2	10,5	0,05
<b>vko 4</b>											
25.2.15	10,0	2,8	1,4	12,1	2,8	1,5	13,3	2,6	1,3	11,9	0,05
26.2.15	10,1	2,7	1,1	10,3	2,7	1,2	11,4	2,7	1,3	11,3	0,04
27.2.15	10,2	2,7	1,1	10,5	2,9	1,6	13,5	2,7	1,3	11,7	0,04
28.2.15	10,0	2,5	1,1	9,5	2,7	1,6	12,4	2,6	1,4	10,4	0,06
1.3.15	10,0	2,5	1,2	9,9	2,5	1,1	10,2	2,6	1,2	10,4	0,05
2.3.15	10,1	2,6	1,1	10,5	2,6	1,2	11,0	2,6	1,2	11,3	0,04
3.3.15	10,1	2,8	1,3	11,5	3,0	1,7	14,5	2,7	1,2	11,7	0,04
k.a.	10,1	2,7	1,2	10,6	2,7	1,4	12,3	2,6	1,3	11,2	0,05



Flotaatiosta lähtevä veden TOC pysyi likimain samana koeajojakson ajan, eikä vetyperoksidilisäyksellä ollut siihen vaikutusta. Myöskään ferrisulfaatin määrän vähentäminen ei vaikuttanut laboratoriossa määritettyihin TOC-arvoihin.

Flotaatioaltailta lähtevän veden UV-absorbanssiarvoissa ei havaittu merkittäviä muutoksia koeajojakson aikana. Vetyperoksidin syöttö nosti hieman sameutta flotaatiosta lähtevässä vedessä. Muutokset eivät kuitenkaan olleet suuria.

Edellä kuvatuista havainnoista pääteltiin, että vetyperoksidin lisäämisellä ei ollut orgaanisen aineen poistoa tehostavaa vaikutusta. Myöskään ferrisulfaatin syöttömäärän pienentäminen ei heikentänyt puhdistustulosta merkittävästi. Näistä havainnoista johtuen koeajoviikolla 3 päätettiin poiketa tutkimussuunnitelmasta ja laskea viikolla 4 ferrisulfaatin annostusta  $10 \text{ g/m}^3$  lisää eli  $30 \text{ g/m}^3$  tavanomaista annosta pienemmäksi. Tämäkään ei heikentänyt puhdistustuloksia. Tästä tehtiin johtopäätös, että ferrisulfaattia syötettiin edelleen liikaa.

Kemiran tutkimuskeskuksessa tehdyt LC-OCD-määritykset näyttivät että vetyperoksidi vaikuttaa monin tavoin orgaanisen aineen jakeiden määräsuhteisiin. Esimerkiksi eräiden pienimolekyylipainoisten jakeiden puhdistustulos parani.

Uuden online UVAS -mittarin antamia lukemia verrattiin online-sameusmittareiden antamiin lukemiin. Tutkimuksen perusteella UVAS-mittari soveltuu hyvin prosessin seurantaan.

Alkaliteetti, pH ja hiilidioksidipitoisuus flotaatiosta ja hiekkasuodattimilta lähtevässä vedessä pysyivät likimain samana koko koeajojakson ajan, samoin raakaveden alkaliteetti. Nämä analyysit eivät siis antaneet lisäinformaatiota ja ne on siksi jätetty selkeyden vuoksi pois tulostaulukosta 7. Tuloksia on käsitelty tarkemmin seuraavissa luvuissa.

## 5.1 TOC eli orgaanisen aineksen kokonaismäärä

Flotaatiosta lähtevän veden TOC-arvot pysyivät suhteellisen tasaisina koko koeajojakson ajan, vaikka raakaveden TOC-pitoisuus nousi hieman koeajojakson loppua kohti. Taulukossa 8 on esitetty TOC-arvot sekä poistuneen TOC:n suhde raakaveden TOC:iin. Virtauksen lisääminen flotaatioaltaaseen 3 nosti TOC-tasoa jakson loppua kohden. Näistä tuloksista nähdään, että peroksidin lisäyksellä ei ollut vaikutusta TOC:n poistamiseen.

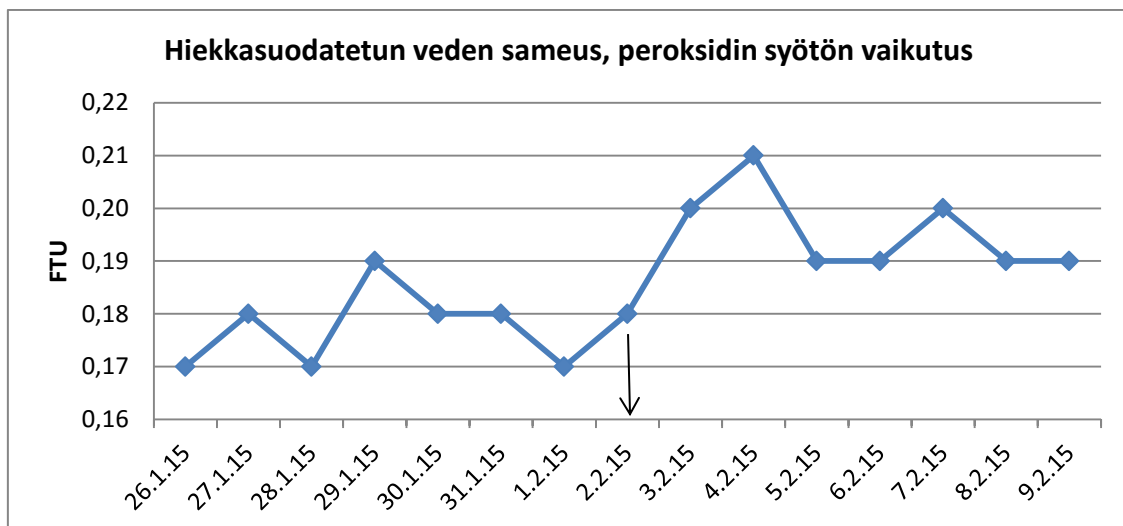
*TAULUKKO 8. TOC-pitoisuudet raakavedessä ja flotaatiolta lähtevässä vedessä sekä poistuneen TOC:n suhteellinen osuus (Red.-%)*

PV	RV TOC	Flot1 TOC	Flot1 Red.-%	Flot2 TOC	Flot2 Red.-%	Flot3 TOC	Flot3 Red.-%
26.1.15	9,8	2,6	73	2,5	74	2,6	73
27.1.15	9,7	2,7	72	2,8	71	2,4	75
28.1.15	9,5	2,7	72	2,8	71	2,4	75
30.1.15	9,6	2,6	73	2,4	75	2,4	75
keskiarvo	9,7	2,7	73	2,6	73	2,5	75
3.2.15	9,7	2,6	73	2,8	71	2,4	75
4.2.15	9,7	2,5	74	2,6	73	2,4	75
5.2.15	9,8	2,5	74	2,6	73	2,4	76
6.2.15	9,7	2,7	72	2,3	76	2,4	75
keskiarvo	9,7	2,6	74	2,6	74	2,4	75
11.2.15	9,8	2,9	70	2,9	70	2,5	74
14.2.15	10	2,5	75	2,6	74	2,4	76
15.2.15	10,2	2,4	76	2,5	75	2,5	75
16.2.15	10,1	2,7	73	2,9	71	2,6	74
keskiarvo	10,0	2,6	74	2,7	73	2,5	75
18.2.15	9,9	2,6	74	2,6	74	2,5	75
19.2.15	9,9	2,7	73	2,8	72	2,5	75
20.2.15	9,7	2,5	74	2,6	73	2,5	74
21.2.15	9,9	2,7	73	2,9	71	2,5	75
22.2.15	9,9	2,7	73	3,0	70	2,5	75
23.2.15	9,9	2,7	73	2,7	73	2,5	75
24.2.15	9,9	2,8	72	3,2	68	2,5	75
keskiarvo	9,9	2,7	73	2,8	71	2,5	75
25.2.15	10	2,8	72	2,8	72	2,6	74
26.2.15	10,1	2,7	73	2,7	73	2,7	73
27.2.15	10,2	2,7	74	2,9	72	2,7	74
28.2.15	10	2,5	75	2,7	73	2,6	74
1.3.15	10	2,5	75	2,5	75	2,6	74
2.3.15	10,1	2,6	74	2,6	74	2,6	74
3.3.15	10,1	2,8	72	3,0	70	2,7	73
keskiarvo	10,1	2,7	74	2,7	73	2,6	74

## 5.2 Sameus hiekkasuodattimilta lähtevässä vedessä

Hiekkasuodattimilta lähtevän veden sameus nousi hieman vetyperoksidin syötön aloittamisen jälkeen, kuten kuvasta 5 voidaan nähdä. Muutos ei kuitenkaan ollut merkittävä.

Luotettavia sameusarvoja ei saatu pidemmältä aikaväliltä, koska veden virtaus sameusmittarien läpi oli loppunut viikolla 3 ja sameustasot alkoivat nousta tästä syystä. Mittarit puhdistettiin viikon 4 alussa (24.2.2015), mistä seurasi selvä sameusarvojen lasku. Kuvassa 5 käytetyt mittaustulokset ovat online-mittauksista kerran vuorokaudessa Kurkelanrannan valvomossa seurantataulukon kerättyjä arvoja.

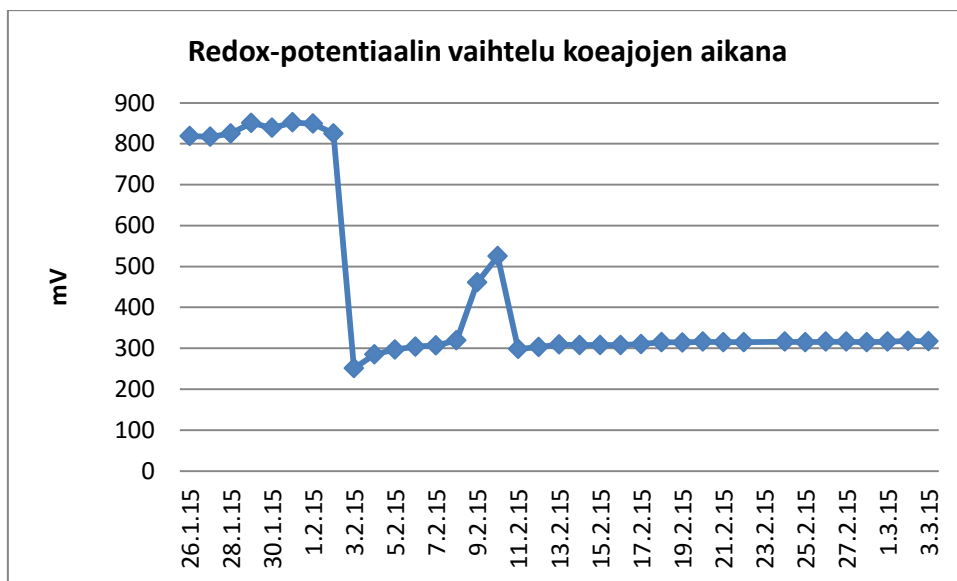


KUVA 5. Peroksidin syötön (aloitettu 2.2.2015, nuoli) vaikutus hiekkasuodatetun veden sameuteen

## 5.3 Peroksidin syötön vaikutukset prosessiin

Peroksidin lisäys alkoi näkyä noin 2 tunnin kuluttua syötön aloittamisesta otsonoinnista lähtevän veden redox-potentiaalin laskuna. Normaalisti redox-arvo on luokkaa 800–850 mV. Redox asettui tasolle 250 mV noin 14,5 tuntia peroksidin syötön aloittamisen jälkeen. Kuvassa 6 on esitetty redox-potentiaalin

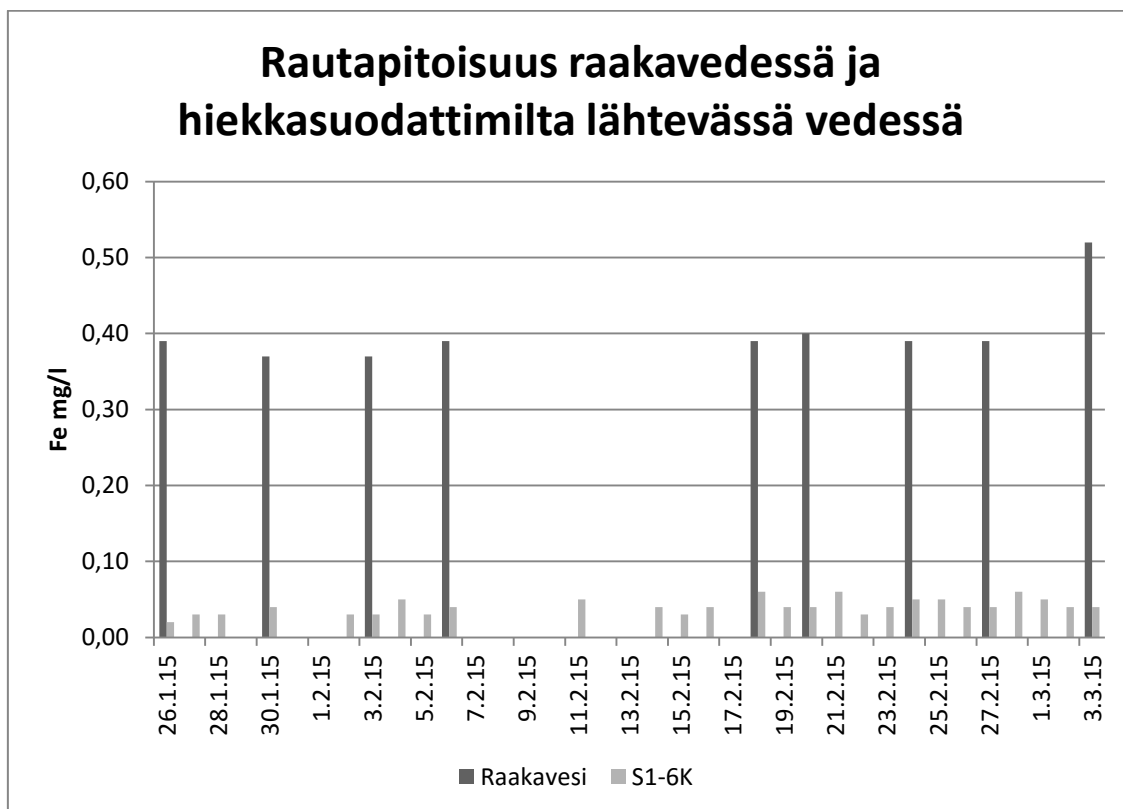
muutokset koeajon aikana. Peroksidisytön katkos näkyy 9.-10.2 potentiaalin nousuna



KUVA 6. Vetyperoksidin vaikutus redox-potentiaaliin, peroksidin syöttö aloitettu 2.2., katkos syötössä 9.–10.2.

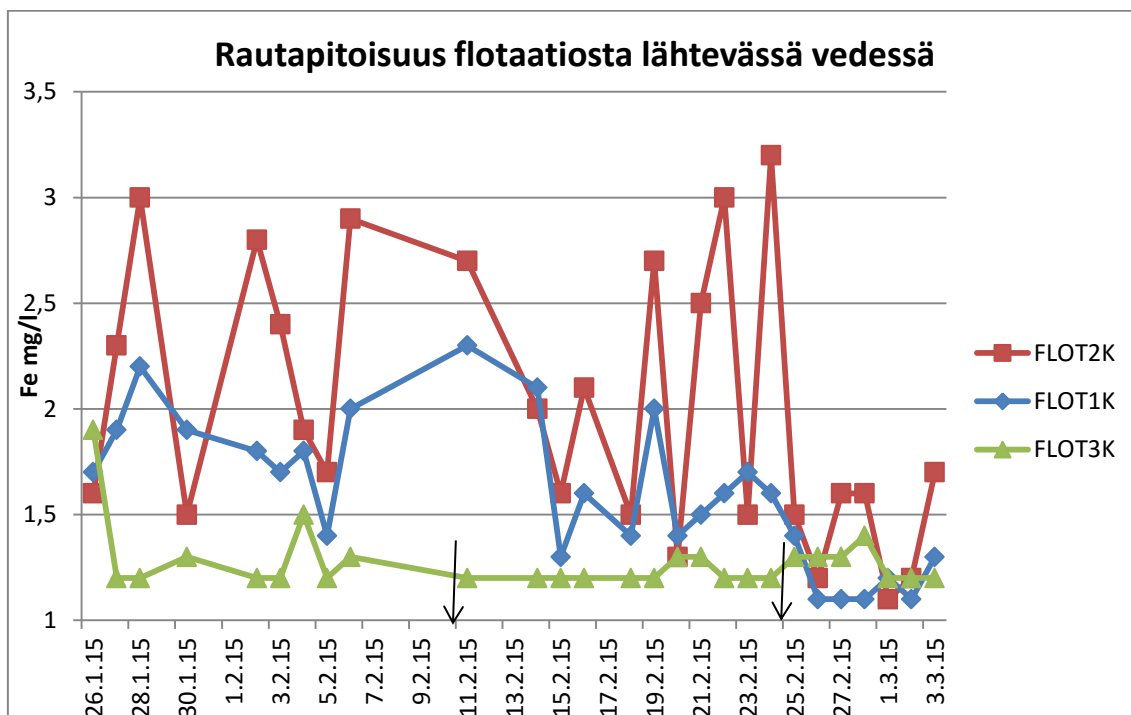
#### 5.4 Rautapitoisuus hiekkasuodattimilta ja flotaatiosta lähtevässä vedessä

Hiekkasuodattimien läpi menevän raudan määrä ja raakaveden rautapitoisuus on esitetty kuvassa 7. Havaitaan, että hiekkasuodatetun veden rautapitoisuus nousi koeajojen kuluessa. Nousu oli melko pieni ja eikä siksi huolestuttava. Suurempi raudanläpäisy saattaisi tukkia aktiivihiilisuodattimet tavanomaista nopeammin, mistä seuraisi lisäkustannuksia.



*KUVA 7. Rautapitoisuus raakavedessä ja hiekkasuodattimelta lähtevässä vedessä*

Koeajojen vaikutus rautapitoisuuteen flotaatiosta lähtevässä vedessä on esitetty kuvassa 8. Jäännörautapitoisuus flotaatioaltaista lähtevässä vedessä laski ferrisulfaatin syötön vähentämisen myötä flotaatioaltaissa 1 ja 2. Syynä tähän on todennäköisesti raudan ylisyyttö. Flotaatioaltaasta 3 lähtevässä vedessä raudan pitoisuus oli kaikkein pienin ja pysyi tasaisena koeajojakson ajan. Syynä tähän oli altaan pienempi kuormitus jakson alussa ja se, että kuormitusta lisättiin myöhemmin koeajoviikolla 3.



KUVA 8. Rautapitoisuuden muutokset flotaatioaltailla lähtevässä vedessä, nuolilla merkitty ferrisulfaatin syötön muutoskohdat

### 5.5 Kenttätestillä määritetyt peroksidipitoisuudet

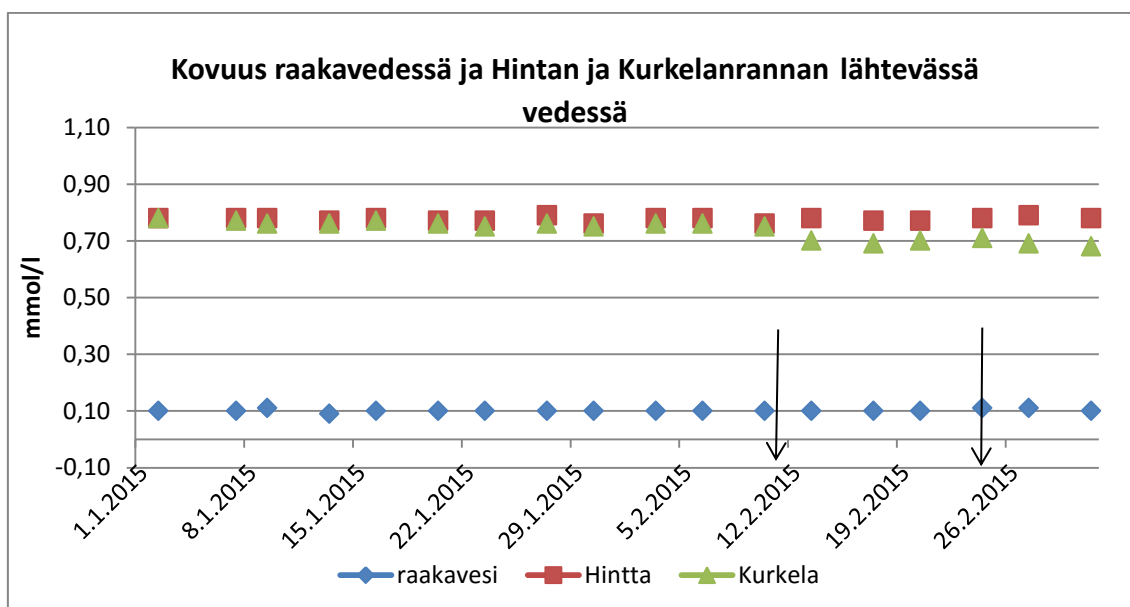
Mittaustulosten yhteenveto on esitetty taulukossa 9. Tuloksista voidaan havaita, että pienemmällä ferrisulfaatin syöttömäärällä otsonoinnin jälkeen vedessä on enemmän peroksidia jäljellä. Tämän voisi ehkä selittää prosessissa tapahtuva Fenton-tyyppinen reaktio (luku 3.3), jossa rauta katalysoi vetyperoksidin hajoamista.

TAULUKKO 9. Vetyperoksidipitoisuus prosessin eri vaiheista otetuissa vesinäytteissä, tulokset ovat kyseisen viikon mittausten keskiarvoja

koeajo- viikko	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> )	PIX (g/m <sup>3</sup> )	Flot mg/l	S1-6K mg/l	O3K mg/l	S7K mg/l	S9K mg/l	lähtevä vesi mg/l
1	15	norm.	6,2	1,2	1,0		< 0,2	< 0,2
2	15	-20 mg/l	5,6	1,8	1,5	< 0,2	< 0,2	
3	6	-20 mg/l	2,2	1,0	0,7			
4	6	-30 mg/l	2,1	0,9	0,9			

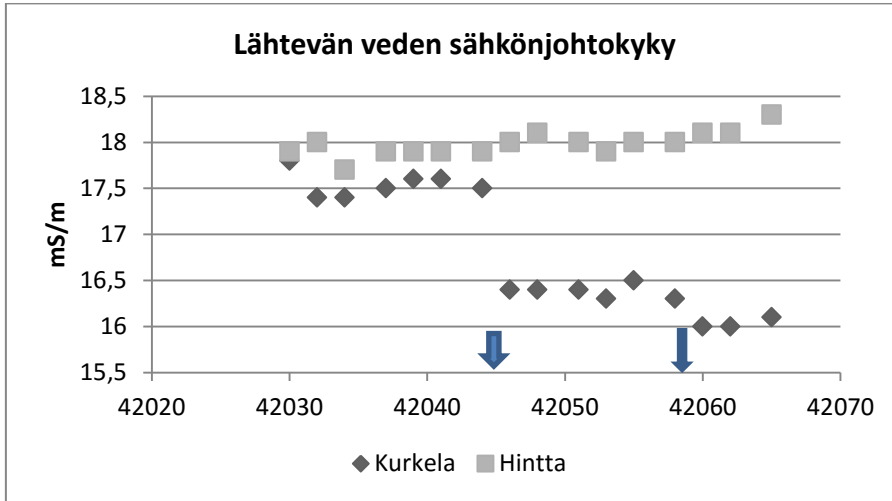
### 5.6 Muutokset lähtevän veden laadussa

Lähtevän veden laatu pysyi hyvänä koko koeajojakson ajan. Laboratorioanalyysitulokset on esitetty liitteellä 2. Lähtevässä vedessä kovuus laski Hintan tuloksiin verrattuna, kuten kuvasta 9 voidaan havaita. Nuolilla merkityissä kohdissa Kurkelanrannan puhdistamolla ferrisulfaatin syöttöä pienennettiin ensin 20 g/m<sup>3</sup> ja sitten 10 g/m<sup>3</sup> lisää.



KUVA 9. Kovuus Hintan ja Kurkelanrannan lähtevässä vedessä sekä raakavedessä

Myös Kurkelanrannan veden sähkönjohtokyky laski verrattuna Hintan puhdistamon tuloksiin (kuva 10). Laskun selittää lisätyn ferrisulfaatin määrän pieneneminen. Tällöin myös lähtevään veteen tulee vähemmän sulfaatteja.



*KUVA 10. Sähkönjohtokyky Kurkelan lähtevässä vedessä, ferrisulfaatin syötön pienennykset merkitty*

Lähtevän veden rautapitoisuus pysyi likimain samana koeajojen ajan. Laitoksen normaaleissa käyttötarkkailunäytteissä havaittiin sulfaattipitoisuuden pieni lasku, tosin mittaustuloksia on vain kahdelta päivältä koeajojen ajalta.

### 5.7 LC-OCD–analyysien tulokset

Tutkimuksessa arvioitiin, onko eri kemikaaliannostuksilla vaikutusta orgaanisen aineksen laatuun, muun muassa orgaanisen aineksen pilkkoutumiseen ja eri jakeiden suhteisiin. Oleellimmat tulokset on esitetty taulukossa 10.

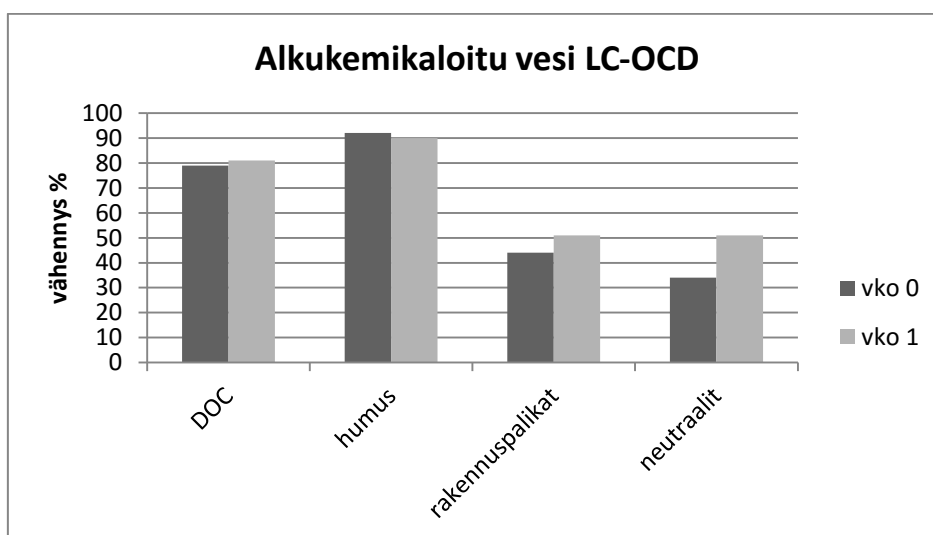


TAULUKKO 10. Muutokset orgaanisen aineen eri jakeiden määrissä prosessin eri vaiheissa LC-OCD-analyysien perusteella

	DOC		biopolym.		humus		aromaattisuus L/(mg*m)		rakennuspalikat		neutraalit	
	vähennys %		ppb-C		vähennys %				vähennys-%		vähennys-%	
	vko 0	vko 1	vko 0	vko 1	vko 0	vko 1	vko 0	vko 1	vko 0	vko 1	vko 0	vko 1
raakavesi			115	118			4,48	4,57				
kemikal.	79	81	27	18	92	90	2,21	1,42	44	64	34	51
flotaatio	81	80	25	20	92	90	2,02	1,42	46	60	50	35
hiekkas.	81	81	38	37	91	90	1,97	1,67	46	59	53	58
otsonointi	81	81	30	32	90	89	1,51	1,38	51	61	53	60
akt.hiillis.	82	81	33	28	91	90	1,48	1,49	54	61	61	44
lähtevä	83	84	33	21	91	90	1,31	1,23	57	66	62	65

DOC = liuennut orgaaninen aines

Vertailtaessa ilman peroksidia ja peroksidilisän kanssa saatuja puhdistustuloksia analysoinnissa on keskitytty alkukemikaloinnista lähtevään veteen (chemical treatment KK) ja verkostoon johdettavaan veteen (treated water). Tarkasteltaessa eri orgaanisen aineen jakeiden määriä vedessä huomataan selvimmät erot alkukemikaloinnista lähtevässä vedessä (kuva 11).



KUVA 11. Orgaanisen aineen jakeiden poistuminen kemikaloinnin jälkeen ilman vetyperoksidia (vko 0) ja vetyperoksidin lisäyksen jälkeen (vko 1)

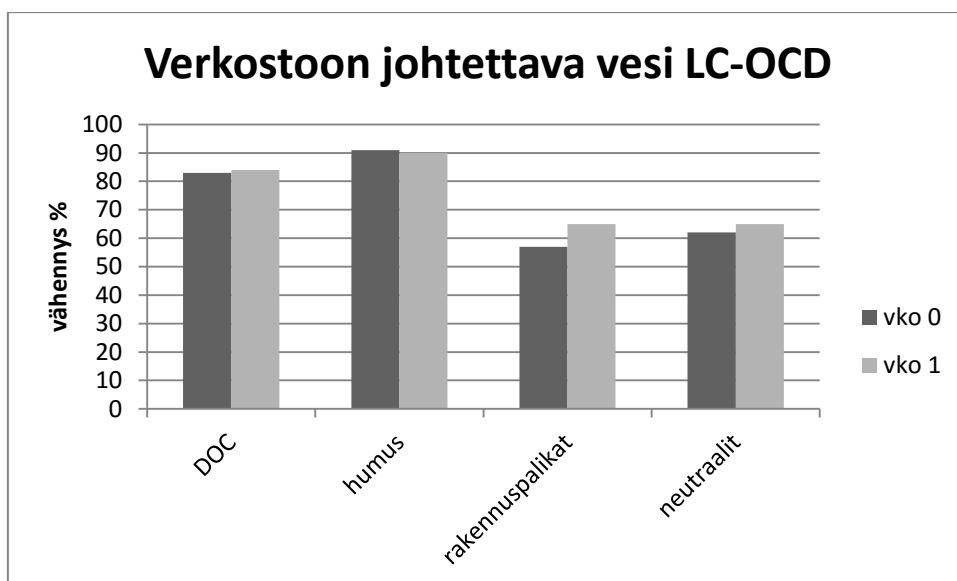
Tuloksista voidaan havaita, että vetyperoksidi tehostaa joidenkin raakaveden NOM-komponenttien saostusta. Humuksen hajoamisessa syntyneet, rakennuspalikoiksi ja neutraaleiksi aineiksi kutsutut pienimolekyyliset yhdisteet vähenivät tehokkaasti vetyperoksidin lisäyksen jälkeen 0-viikon tuloksiin verrattuna. Rakennuspalikoiden poiston osalta tulos oli 44 % vs. 64 % ja neutraalien 34 % vs. 51 %. Tulos on lupaava, sillä pienemmät yhdisteet ovat vaikeammin koaguloinnilla poistettavissa kuin yhdisteet, joilla on suurempi molekyyliaino.

Varjopuolena havaittiin, että humusaineiden poisto heikentyi hieman (92 % vs 90 %). Liuenneen orgaanisen aineen (DOC) ja erityisesti humusjakeen aromaattisuus (bentseenirenkaan sisältäviä rakenteita, jotka ovat vesipakoisia eli hydrofobisia) oli alempi vetyperoksidilisäyksen jälkeen verrattuna normaaliin ferrisulfaattikäsittelyyn (2,21 vs 1,42). Tämä tulos ei ole välttämättä edullinen, sillä hydrofobisten yhdisteiden poistaminen on helpompaa kuin hydrofilisten.

Lähtevässä vedessä olevan liuenneen orgaanisen aineen kokonaismäärä ei kuitenkaan pienentynyt, sillä ainoastaan rakennuspalikoiden ja neutraaliaineiden poistuminen tehostui, muiden jakeiden huononi. Peroksidin syöttö vähensi pienimolekyylisten neutraaliaineiden poistumista flotaatiosta lähtevästä vedestä (50 % vs 35 %). Kuvassa 5 nähtävä hyvin pieni sameuden nousu flotaatioaltailta lähtevässä vedessä vetyperoksidin käyttöönoton jälkeen saattaisi mahdollisesti johtua näistä neutraaliaineista.

Verkostoon johdettavassa vedessä rakennuspalikoiden määrä oli myös pienentynyt enemmän (57 % vs 66 %), mutta ei siinä määrin kuin koagulaatiovaiheen tehokkuus olisi antanut olettaa. Neutraaliaineiden kohdalla ero eri käsittelytapojen välillä oli vielä pienempi, 62 % vs. 65 %. Liuenneen aineen kokonaismäärään (total-DOC) peroksidilisäyksellä ei juurikaan ollut vaikutusta (83 % vs 84 %). Toisin sanoen koagulaatiota seuraavat prosessin vaiheet eivät poista rakennuspalikoita ja neutraaliaineita yhtä tehokkaasti peroksidilla tehostetussa koagulaatiossa kuin normaalissa koagulaatiossa.

Tämä voi osittain johtua kerta-äytteen ottoon liittyvästä hajonnasta. Tulokset on esitetty kuvassa 12.



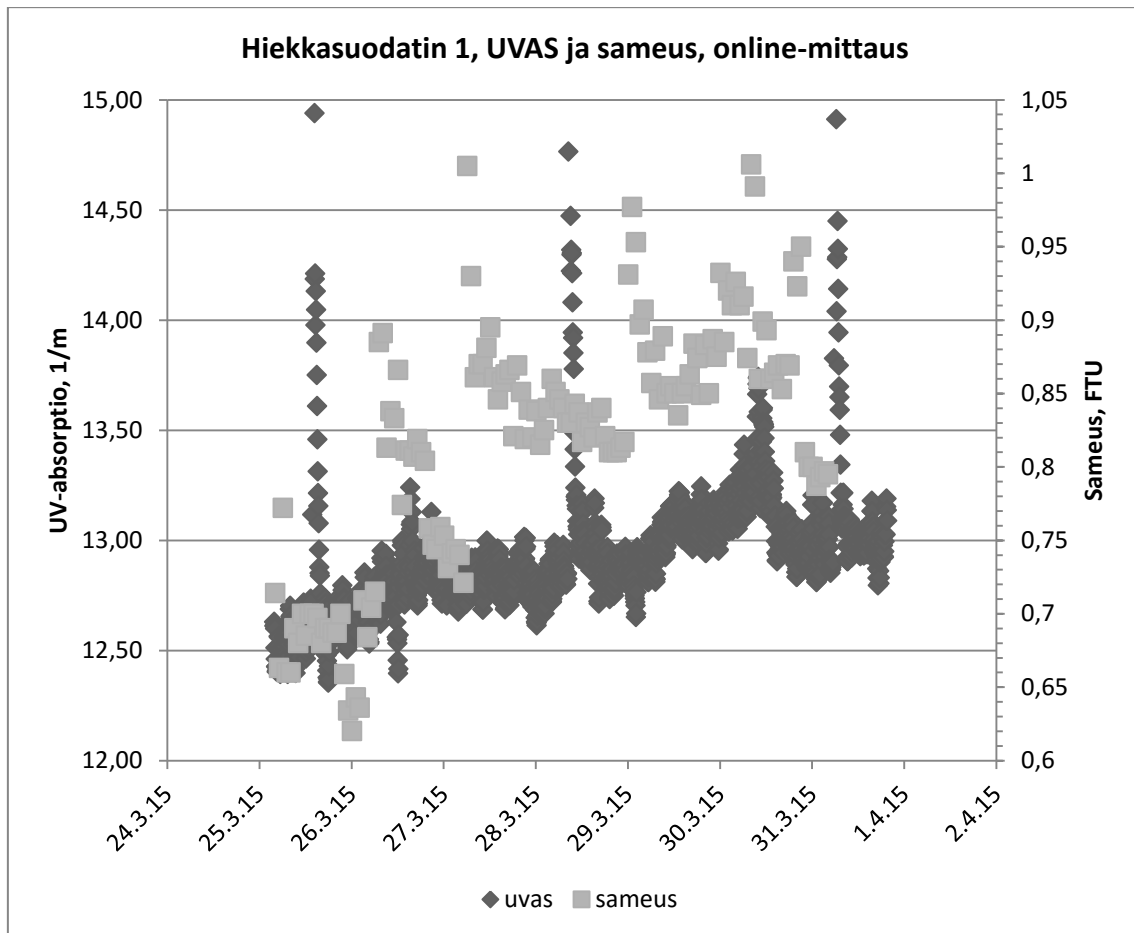
*KUVA 12. Orgaanisen aineiden poistuminen lähtevästä vedestä ilman vetyperoksidia (vko 0) ja vetyperoksidin lisäyksen jälkeen (vko 1)*

### 5.8 Online UVAS - ja sameusmittareiden vertailu

Vasta koeajojen jälkeen havaittiin, että mittausdata online-mittareilta ei ollutkaan tallentunut Honeywellin Uniformance Process History Database (PHD) – tietokantaan laitoksella tehtyjen verkko-osoitemuutosten takia. Siksi koeajon ajalta ei saatu jatkuvatoimisten mittausten tuloksia taulukkomuodossa, vaan käytössä olivat ainoastaan Honeywell Alcont 2 -järjestelmästä tulostetut kuvaajat.

UVAS-mittarin muistikortille oli tallentunut mittausdataa noin 3 viikon ajalta. Koeajon aikaista dataa ei ollut enää tallella, mutta vertailutarkoituksiin kelpaavaa dataa kylläkin. UVAS-mittarin ja online-sameusmittarin vertailu tehtiin tämän datan pohjalta. Tulokset on esitetty kuvassa 13. Absorbanssi- ja sameusarvoissa näkyvät piikit ovat joka toinen tai kolmas päivä tehtävistä suodattimen pesuista johtuvia. Online UVAS -mittari ei likaannu niin helposti

kuin sameusmittarit. Lisäksi mittarit reagoivat hyvin samantyyppisesti kuten kuvasta 13 voidaan havaita.

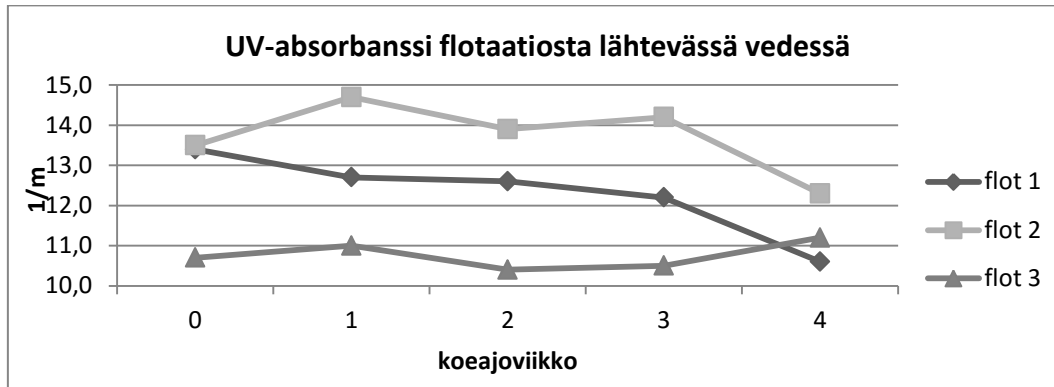


KUVA 13. Online-mittaustulokset hiekkasuodattimen 1 UVAS-mittarilta ja flotaatioaltaan 1 sameusmittarilta 25.3.–16.4.2015

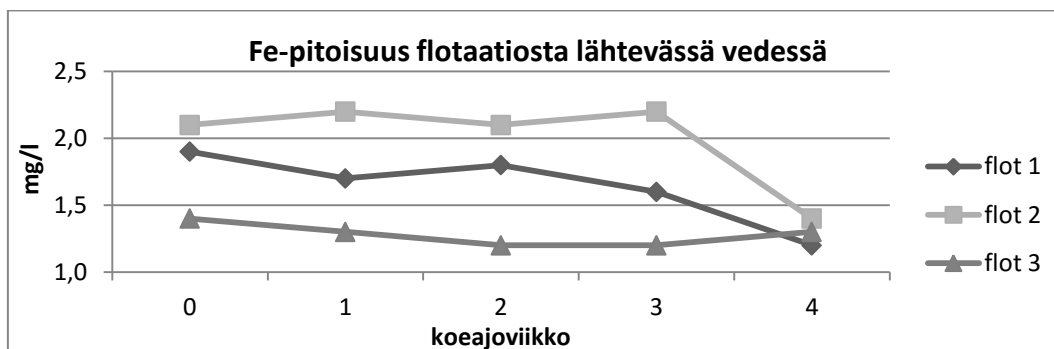
### 5.9 Tulosten arvioinnissa huomioitavia seikkoja

Puhdistamon ominaisuus on se, että eri flotaatioaltille tulevan veden määrässä on vaihtelua ja viipymääjat altaissa ovat erilaiset. Mitä suurempi kuormitus altaalle tulee, sitä huonompi on sen puhdistustulos. Koeajon aikana viikolla 3 lisättiin flotaatioallas 3:lle menevää virtausta, koska sen puhdistustulokset olivat parhaita. Virtausta vähennettiin vastaavasti flotaatioallas 1:ltä ja 2:lta, koska niillä puhdistustulokset olivat heikompia. Tämä näkyi koajoviikolla 4 sekä UV-absorbanssiarvoissa että rautapitoisuudessa, kuten kuvista 14 ja 15 voidaan

havaita. Täytyy tosin muistaa, että ferrisulfaatin syöttöä vähennettiin viikolla 4, mikä myös laski raudan määrää flotaatiosta lähtevässä vedessä. TOC-arvoissa muutosta ei havaittu.



KUVA 14. Viikon 3 lopussa tehdyn virtaamamuutoksen vaikutus flotaatioaltilta lähtevän veden UVAS-arvoihin



KUVA 15. Viikon 3 lopussa tehdyn virtaamamuutoksen vaikutus flotaatioaltilta lähtevän veden rautapitoisuuteen

Kalkin syötössä oli ongelmia koeajojen aikana, koska kalkin kosteuspitoisuus oli poikkeavan korkea (0,8 % vs 0,05 %) tavanomaiseen tilanteeseen verrattuna. Kosteaa kalkki ei tullut kunnolla ulos syöttölaitteesta, mistä seurasi reaktio-pH:n vaihtelua. pH:n laskiessa riittävän alas (noin arvoon 4,2) puhdistustulos heikkeni ja sameusarvot nousivat. Haastavin tilanne oli ajanjaksoilla 29.1., 12.2.–13.2. ja 17.2.2015. Näiden päivien tulokset on jätetty pois tulostaulukoista ja tulosten käsittelystä.

## 6 POHDINTA

Tutkimus tehtiin Oulun Veden Kurkelanrannan vedenpuhdistamolla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, saadaanko vetyperoksidin lisäyksellä pienennettyä saostukseen tarvittavan ferrisulfaatin ja kalkin määrää. Lisäksi selvitettiin, voidaanko puhdistusta tehostaa nykyisestä lisäämällä peroksidia prosessiin nykyisellä saostuskemikaalimäärällä.

Aluksi kerättiin viikon ajan vertailutietoja tavanomaisesta puhdistusprosessista ja sen jälkeen tehtiin 4 viikon kestävä koeajo käyttäen kahta eri vetyperoksidia ja kahta eri ferrisulfaattiannosta. Prosessin eri vaiheista säännöllisesti otetuista näytteistä analysoitiin useita eri muuttujia laboratoriossa ja vedenlaatua seurattiin myös online-mittareilla.

Koeajojen perusteella ferrisulfaatin määrän pienentäminen jopa  $30 \text{ g/m}^3$  ei näyttänyt vaikuttavan prosessin eri vaiheissa otettujen vesinäytteiden eikä myöskään lähtevän veden laatuun. Tästä pääteltiin, että ferrisulfaattia on syötetty liikaa, joten vetyperoksidin puhdistusta tehostavasta vaikutuksesta ei voida tämän tutkimuksen perusteella tehdä lopullisia päätelmiä.

Jatkotoimenpiteenä ehdotetaan ferrisulfaatin määrän optimointia. Optimointi on hyvä tehdä sellaiseen vuodenaikaan, jolloin vedenlaatu on tasainen, käytännössä siis keskitalvella tai kesällä. Ferrisulfaatin tarve kylmän veden ja lämpimän veden aikaan voi olla erilainen ja myös tätä olisi syytä selvittää. Kun ferrisulfaatin määrä on optimoitu, tehdään uudet koeajot vetyperoksidia käyttäen.

Peroksidin vaikutuksen arviointia vaikeuttivat kalkinsyöttövaikeuksista johtuvat pH-säädön ongelmat. Jatkotutkimuksissa olisi tärkeää saada kalkinsyöttö mahdollisimman stabiiliksi.

Uusi online UVAS -absorptiomittari näyttäisi reagoivan hyvin prosessin muutokseen. Koekäytössä olleen UVAS-absorptiomittarin paikka ei ollut paras

mahdollinen. Koska mittari oli hiekkasuodattimella, jokainen suodattimen pesu aiheutti piikin mittaustuloksiin. Jos mittari päätetään hankkia, parempi paikka sille olisi flotaatiosta hiekkasuodattimelle johtavassa jakoaltaassa. Silloin pesut eivät vaikuttaisi mittarin lukemiin ja ylläpito olisi helpompaa. Verrattuna sameusmittareihin, joita täytyy pestä viikoittain, UV-absorptiomittaria tarvitsisi pestä todennäköisesti paljon harvemmin.

Jatkotutkimuksissa kannattaa varmistaa mittausdatan tallentuminen, jotta kaikki tieto koeajoista saadaan luotettavasti talteen. Tärkeää on myös varmistaa, että mittalaitteet ovat puhtaat ja niiden huolto säännöllistä.

Ennen koeajoja epäiltiin, että hiekkasuodattimet saattaisivat likaantua peroksidikoeajojen aikana nopeammin kuin normaalisti. Tätä olettamusta eivät koeajojen aikaiset havainnot vahvistaneet, mutteivät myöskään täysin poissulkeneet. Asia selvinnee mahdollisissa myöhemmin tehtävissä pidemmissä koeajoissa.

Hiekkasuodattimelta lähtevästä vedestä ei määritetty laboratoriossa TOC:ia ja UV-absorbanssia. Ne olisi kannattanut määrittää, jotta olisi voitu paremmin seurata, meneekö hiekkasuodattimista sameutta aiheuttavia aineita, kuten esimerkiksi rautaa, läpi. Tällöin voitaisiin paremmin arvioida hiekkasuodattimien toimivuutta koeajojen aikana.

Peroksidin sekoittuminen pikasekoitustornissa ei välttämättä ole tasainen ja sillä voi olla vaikutusta eri flotaatioaltaista lähtevän veden laatuun. Syötettävä määrä on niin pieni, että sopivan sekoituspaikan valinta on oleellista, jotta aine saadaan sekoittumaan tasaisesti ja tehokkaasti koko vesimäärään.

## LÄHTEET

Alanära, Sara 2015. Käyttöinsinööri, Oulun Vesi. Suullinen tiedonanto 2.2.2015.

Aktiivihiihisiuodatuksen toimintaohje 3.2.180. 2006. Päivitetty 19.2.2008. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.

Alkaloinnin/hiihidioksidin annostelun toimintaohje 3.2.100. 2008. Hyväksytty 21.2.2008. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.

Crittenden, John C. – Hand, Davide W. – Howe, Kerry J. – Tchobanoglous, George – Trussell, R. Rhodes 2012. MWH's Water Treatment principles and design. New Jersey: John Wiley & Sons.

Desinfiointin toimintaohje 3.2.190. 2007. Hyväksytty 19.2.2007. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.

Eikebrokk, B. – Vogt, R.D. – Liltved, H. 2004. NOM increase in Northern European source waters: discussion of possible causes and impacts on coagulation/contact filtration processes. Water Science and Technology: Water Supply vol. 4, nro 4. S. 47–54.

Ferrisulfaatin annostelun toimintaohje 3.2.50. 2008. Hyväksytty 21.2.2008. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.

Flotaation toimintaohje 3.2.130. 2008. Päivitetty 21.2.2008. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.

Goslan, Emma H. – Gurses, Filiz – Banks, Jenny – Parsons, Simon A. 2006. An investigation into reservoir NOM reduction by UV photolysis and advanced oxidation processes Chemosphere vol 65, S. 1116.

Hiekkasuodatuksen toimintaohje 3.2.150. 2008. Hyväksytty 26.2.2008. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.



Kalkin annostelun toimintaohje 3.2.40. 2007. Hyväksytty 10.12.2007. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.

Kalkin syöttöhäiriön toimintaohje 3.2.45. 2007. Hyväksytty 10.12.2007. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.

Karttunen, Erkki 2004. RIL 124-2-2004 Vesihuolto II. Helsinki: RIL.

Matilainen, Anu – Vepsäläinen, Mikko – Sillanpää, Mika 2010. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. Advances in Colloid and Interface Science vol. 159, S. 189-197.

Murray, Christine A. – Parsons, Simon A. 2004. Removal of NOM from drinking water: Fenton's and photo-Fenton's processes. Chemosphere vol. 54, S. 1017–1023.

Otamo, Reima 2015. Käyttömestari, Oulun Vesi. Suullinen tiedonanto 16.4.2015.

Otsonoinnin/otsonaattorin toimintaohje 3.2.170. 2008. Hyväksytty 21.2.2008. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.

Oulun Veden vedenpuhdistamot Kurkelanranta ja Hintta. 2012. Esite. Oulu: Oulun Vesi.

Oulun Vesihuollon kehittämissuunnitelmaehdotus vuosille 2015–2030. 2015. Saatavissa: <http://www.oulunvesi.fi>. Hakupäivä 10.4.2015.

Pikasekoituksen toimintaohje 3.2.120. 2008. Hyväksytty 26.2.2008. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.

Puhdasvesialtaiden toimintaohje 3.2.230. 2007. Päivitetty 19.2.2007. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.

Raakaveden pumppauksen toimintaohje 3.2.30. 2006. Hyväksytty 10.12.2007. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.

Sillanpää, Mika 2014. Natural Organic Matter in Water. Amsterdam: Elsevier.

Vapo. 2012. Saatavissa: <http://www.vapo.fi>. Hakupäivä 7.2.2015.

Välipumppaamon toimintaohje 3.2.160. 2008. Päivitetty 7.2.2008. Oulun Vesi, Kurkelanrannan puhdistamo.

# VETYPEROKSIDIKOEAJON LABORATORIOTULOKSET

LIITE 1

## H202-KOEAJO KURKELANRANNAN VEDENPUHDISTAMOLLA

PVM	RAKAVESI	FLOTIK					FLOT3K					FLOT3K					S1-6K (kokoama)					OJK				
	TOC, mg/l	Alkaliteetti l, mmol/l	Fe, mg/l	pH	Alkaliteetti l, mmol/l	UV-abs, l/m	TOC, mg/l	Fe, mg/l	pH	Alkaliteetti l, mmol/l	UV-abs, l/m	TOC, mg/l	Fe, mg/l	pH	Alkaliteetti l, mmol/l	UV-abs, l/m	TOC, mg/l	Fe, mg/l	pH	Alkaliteetti l, mmol/l	UV-abs, l/m	Hilliloksid l, mg/l	Alkaliteetti l, mmol/l	pH	Kokonaisp esakkeet (+37/20) pmy/ml	Kokonaisp esakkeet (+37/20) pmy/ml
26.1.2015	9,8	0,14	2,6	1,7	4,9	<0,02	12,4	2,5	1,6	4,9	<0,02	12,0	2,6	1,9	4,9	<0,02	11,9	0,02	4,1	<0,02	11,9	0,02	4,1	<0,02	1	ei havaittu
27.1.2015	9,7	0,14	2,7	1,9	4,9	<0,02	13,5	2,8	2,3	5,0	<0,02	15,0	2,4	1,2	5,0	<0,02	10,4	0,03	3,9	<0,02	10,4	0,03	3,9	<0,02	1	ei havaittu
28.1.2015	9,5	0,14	2,7	2,2	4,9	<0,02	14,8	2,8	3,0	4,9	<0,02	15,9	2,4	1,2	4,9	<0,02	10,3	0,03	4,0	<0,02	10,3	0,03	4,0	<0,02	1	ei havaittu
29.1.2015	9,6	0,13	3,1	3,1	4,8	<0,02	18,3	3,1	4,1	4,8	<0,02	20,1	2,5	1,3	4,8	<0,02	10,8	0,04	4,0	<0,02	10,8	0,04	4,0	<0,02	1	ei havaittu
30.1.2015	9,6	0,14	2,6	1,9	4,8	<0,02	12,9	2,4	1,4	4,8	<0,02	11,1	2,4	1,3	4,8	<0,02	10,2	0,04	4,2	<0,02	10,2	0,04	4,2	<0,02	1	ei havaittu
keskiarvo	9,6	0,14	2,7	2,2	4,9	<0,02	14,4	2,7	2,5	4,9	<0,02	14,8	2,5	1,4	4,9	<0,02	10,7	0,03	4,0	<0,02	10,7	0,03	4,0	<0,02	1	ei havaittu
3.2.2015	9,7	0,14	2,6	1,7	5,0	<0,02	12,7	2,8	2,4	5,0	<0,02	15,3	2,4	1,2	5,0	<0,02	11,2	0,03	3,7	<0,02	11,2	0,03	3,7	<0,02	2	ei havaittu
4.2.2015	9,7	0,14	2,5	1,8	4,9	<0,02	12,9	2,6	1,9	4,9	<0,02	14,2	2,4	1,5	4,9	<0,02	11,5	0,05	3,8	<0,02	11,5	0,05	3,8	<0,02	1	ei havaittu
5.2.2015	9,8	0,14	2,5	1,4	4,9	<0,02	11,1	2,6	1,7	4,9	<0,02	12,5	2,4	1,2	5,0	<0,02	10,4	0,03	3,5	<0,02	10,4	0,03	3,5	<0,02	1	ei havaittu
6.2.2015	9,7	0,14	2,7	2,0	4,9	<0,02	14,0	2,3	2,9	4,9	<0,02	16,8	2,4	1,3	4,9	<0,02	10,7	0,04	4,1	<0,02	10,7	0,04	4,1	<0,02	2	ei havaittu
keskiarvo	9,7	0,14	2,6	1,7	4,9	<0,02	12,7	2,6	2,2	4,9	<0,02	14,7	2,4	1,3	5,0	<0,02	11,0	0,04	3,8	<0,02	11,0	0,04	3,8	<0,02	2	ei havaittu
11.2.2015	9,8	0,14	2,9	2,3	5,0	<0,02	15,5	2,9	2,7	4,9	<0,02	16,5	2,5	1,2	5,0	<0,02	10,8	0,05	4,2	<0,02	10,8	0,05	4,2	<0,02	1	ei havaittu
12.2.2015	9,8	0,13	3,1	3,2	4,8	<0,02	20,9	2,9	2,7	4,8	<0,02	16,8	2,5	1,3	4,8	<0,02	11,1	0,02	3,6	<0,02	11,1	0,02	3,6	<0,02	1	ei havaittu
13.2.2015	9,8	0,14	2,6	1,8	4,7	<0,02	13,8	2,7	1,9	4,7	<0,02	14,4	2,5	1,3	4,7	<0,02	11,5	0,04	4,0	<0,02	11,5	0,04	4,0	<0,02	1	ei havaittu
14.2.2015	10,0	0,14	2,5	2,1	4,8	<0,02	12,2	2,6	2,0	4,8	<0,02	12,8	2,4	1,2	4,8	<0,02	9,5	0,04	4,2	<0,02	9,5	0,04	4,2	<0,02	1	ei havaittu
15.2.2015	10,2	0,14	2,4	1,3	4,9	<0,02	10,1	2,5	1,6	4,9	<0,02	11,4	2,5	1,2	5,0	<0,02	10,2	0,03	3,9	<0,02	10,2	0,03	3,9	<0,02	1	ei havaittu
16.2.2015	10,1	0,14	2,7	1,6	4,9	<0,02	12,6	2,9	2,1	4,9	<0,02	14,9	2,6	1,2	4,9	<0,02	10,9	0,04	3,8	<0,02	10,9	0,04	3,8	<0,02	1	ei havaittu
17.2.2015	10,0	0,13	3,7	3,5	4,6	<0,02	20,5	3,3	3,0	4,7	<0,02	17,7	2,6	1,4	4,7	<0,02	11,4	0,03	3,7	<0,02	11,4	0,03	3,7	<0,02	1	ei havaittu
keskiarvo	10,0	0,14	2,8	2,3	4,8	<0,02	15,1	2,8	2,3	4,8	<0,02	14,9	2,5	1,3	4,8	<0,02	10,8	0,04	3,9	<0,02	10,8	0,04	3,9	<0,02	1	ei havaittu
18.2.2015	9,9	0,14	2,6	1,4	5,0	<0,02	11,5	2,6	1,5	5,0	<0,02	12,3	2,5	1,2	5,1	<0,02	10,7	0,06	4,7	<0,02	10,7	0,06	4,7	<0,02	1	ei havaittu
19.2.2015	9,9	0,13	2,7	2,0	4,9	<0,02	14,7	2,8	2,7	4,9	<0,02	15,6	2,5	1,2	4,9	<0,02	10,9	0,04	3,7	<0,02	10,9	0,04	3,7	<0,02	1	ei havaittu
20.2.2015	9,7	0,14	2,5	1,4	4,9	<0,02	10,9	2,6	1,3	5,0	<0,02	11,7	2,5	1,3	5,0	<0,02	10,7	0,04	4,4	<0,02	10,7	0,04	4,4	<0,02	1	ei havaittu
21.2.2015	9,9	0,14	2,7	1,5	4,8	<0,02	10,4	2,9	2,5	4,8	<0,02	13,3	2,5	1,3	4,8	<0,02	9,5	0,06	4,4	<0,02	9,5	0,06	4,4	<0,02	1	ei havaittu
22.2.2015	9,9	0,14	2,7	1,6	5,1	<0,02	11,8	3,0	3,0	5,1	<0,02	15,7	2,5	1,2	5,1	<0,02	10,2	0,03	4,1	<0,02	10,2	0,03	4,1	<0,02	1	ei havaittu
23.2.2015	9,9	0,14	2,7	1,7	4,9	<0,02	13,2	2,7	1,5	4,9	<0,02	12,7	2,5	1,2	4,9	<0,02	10,7	0,04	4,0	<0,02	10,7	0,04	4,0	<0,02	6	ei havaittu
24.2.2015	9,9	0,13	2,8	1,6	4,8	<0,02	12,7	3,2	3,2	4,9	<0,02	17,8	2,5	1,2	4,9	<0,02	10,8	0,05	4,0	<0,02	10,8	0,05	4,0	<0,02	1	ei havaittu
keskiarvo	9,9	0,14	2,7	1,6	4,9	<0,02	12,2	2,8	2,2	4,9	<0,02	14,2	2,5	1,2	5,0	<0,02	10,5	0,0	4,2	<0,02	10,5	0,0	4,2	<0,02	4	ei havaittu
25.2.2015	10,0	0,15	2,8	1,4	5,1	<0,02	12,1	2,8	1,5	5,1	<0,02	13,3	2,6	1,3	5,1	<0,02	11,9	0,05	4,0	<0,02	11,9	0,05	4,0	<0,02	1	ei havaittu
26.2.2015	10,1	0,14	2,7	1,1	5,1	<0,02	10,3	2,7	1,2	5,1	<0,02	11,4	2,7	1,3	5,0	<0,02	11,3	0,04	4,1	<0,02	11,3	0,04	4,1	<0,02	1	ei havaittu
27.2.2015	10,2	0,14	2,7	1,1	5,1	<0,02	10,5	2,9	1,6	5,1	<0,02	13,5	2,7	1,3	5,0	<0,02	11,7	0,04	4,0	<0,02	11,7	0,04	4,0	<0,02	1	ei havaittu
28.2.2015	10,0	0,14	2,5	1,1	5,0	<0,02	9,5	2,7	1,6	5,1	<0,02	12,4	2,6	1,4	5,0	<0,02	10,4	0,06	4,2	<0,02	10,4	0,06	4,2	<0,02	1	ei havaittu
1.3.2015	10,0	0,13	2,5	1,2	5,0	<0,02	9,9	2,5	1,1	5,1	<0,02	10,2	2,6	1,2	4,9	<0,02	10,4	0,05	4,1	<0,02	10,4	0,05	4,1	<0,02	1	ei havaittu
2.3.2015	10,1	0,14	2,6	1,1	5,0	<0,05	10,5	2,6	1,2	5,1	<0,02	11,0	2,6	1,2	5,0	<0,02	11,3	0,04	3,7	<0,02	11,3	0,04	3,7	<0,02	1	ei havaittu
3.3.2015	10,1	0,14	2,8	1,3	5,0	<0,02	11,5	3,0	1,7	5,0	<0,02	14,5	2,7	1,2	4,9	<0,02	11,7	0,04	3,9	<0,02	11,7	0,04	3,9	<0,02	1	ei havaittu
keskiarvo	10,1	0,14	2,7	1,2	5,0	<0,02	10,6	2,7	1,4	5,1	<0,02	12,3	2,6	1,3	5,0	<0,02	11,2	0,0	4,0	<0,02	11,2	0,0	4,0	<0,02	1	#DIV/0!

