



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

POHJAVESILAITOKSEN PROSESSIN OPTIMOINTI

Sanna Väre

Opinnäytetyö
Joulukuu 2018
Laboratoriotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikka
Laboratoriotekniikka

VÄRE, SANNA:
Pohjavesilaitoksen prosessin optimointi

Opinnäytetyö 39 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Joulukuu 2018

Opinnäytetyö tehtiin Tampereen Vesi Liikelaitokselle. Työn tavoitteena oli optimoida pohjavesilaitoksen prosessia ilmastuksen ja suodatuksen osalta. Tavoitteena oli myös ottaa aiemmin käytössä ollut lipeäjärjestelmä käyttöön. Tampereen Vesi Liikelaitoksen tavoite oli, että laitokselta lähtevän veden pH-arvo olisi 8,0 korroosion estämiseksi. Työn tarkoituksena oli optimoida ilmastus energian ja laadun suhteen sekä seurata mahdollisia muutoksia prosessidatan ja laboratorioanalyysien avulla. Tarkoitus oli myös varmistaa, että hiilidioksidin ja liuottimien poisto on edelleen optimaalinen muutosten jälkeen. Suodatuksen optimoinnissa oli tarkoitus analysoida, kuinka vuonna 2018 käyttöönotettu esisuodatus on vaikuttanut veden laatuun. Tarkoitus oli myös tarkastella suodatuksen ja suodattimien huuhteluiden toimivuutta paisuntamittausten ja laboratorioanalyysien avulla.

Ilmastuksen tehostamisella ei ollut merkittäviä vaikutuksia lähtevän veden pH-arvoon. Hiilidioksidipitoisuus, redox-potentiaali ja alkaliteetti pysyivät lähes samana. Ilmastus-teho palautettiin samalle tasolle, kuin ennen muutoksia. Automatisoitu lipeänsyöttöjärjestelmä otettiin käyttöön, jonka jälkeen tehdyillä laboratorioanalyysillä pH-arvo varmistui olevan tavoitteessa 8,0. Lipeän käyttöönotto laski hieman suodattimille menevän veden redox-potentiaalia ja lähtevän veden hiilidioksidipitoisuutta.

Alkuvuodesta 2018 käyttöönotettu esisuodatus oli parantanut veden laatua. Sameuspiikit, jotka havaittiin suodattimien huuhteluiden yhteydessä, olivat laskeneet selvästi. Paisuntamittausten ja esisuodosten analyysien perusteella havaittiin, ettei suodattimien paisunta, eikä myöskään vastavirtahuuhtelunopeus, ole huuhteluiden aikana riittävä. Suodattimien paisunta oli vesihuuteluun aikana n. 10 %, kun sen olisi pitänyt olla vähintään 15 %. Esisuodoksissa havaittiin myös korkeita sameus- ja rautapitoisuuksia. Sameudet olivat enimmillään 0,64 FTU ja rautapitoisuudet 0,28 mg/l. Epäpuhtaudet eivät siis poistuneet huuhteluveden mukana. Toisaalta, huuhteluiden väliä voidaan tulosten perusteella pidentää. Vaikka virtaamaa kasvatettiin 60 %, ei suodattimelta päässyt kiintoainetta läpi suodatuksen loppuvaiheilla, eikä likaisuutta kuvaava puhdasvesiventtiilin asento muuttunut.

Ilmastuksen tehostamisella ei ollut merkittäviä vaikutuksia veden laatuun. Ilmastuksen tehokkuutta voitaisiin mahdollisesti pienentää energian säästämiseksi. Suodattimiin huuhtelun jälkeen jääneet epäpuhtaudet saataisiin poistettua paremmin esisuodoksen tilavuutta kasvattamalla. Suodattimien huuhtelua voitaisiin parantaa myös tehokkaamman pumpun tai kevyemmän suodatinmateriaalin avulla, jolloin suodatinpatjan paisunta kasvaisi ja epäpuhtaudet poistuisivat huuhteluveden mukana. Testausten perusteella, suodattimien huuhteluväliä voidaan kuitenkin pidentää ilman, että veden laatu heikkenee.

Asiasanat: pohjavesi, vedenpuhdistus, ilmastus, lipeä, suodatus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Laboratory Engineering

VÄRE, SANNA:
Optimisation of the Process of the Groundwater Plant

Bachelor's thesis 39 pages, appendices 6 pages
December 2018

This study was made for Tampere Water Enterprise. The aim of the thesis was to optimise the process of aeration, alkalisation and filtration at the groundwater intake plant. The purpose of aeration optimisation, was to change the efficiency of the aeration towers. The changes in water were verified by laboratory tests. The filtration optimisation was to analyse how the pre-filtration, introduced in 2018, has affected water quality. The purpose was also to examine the functionality of the filtration and filter backwash using expansion tests and laboratory analyses.

Improved aeration did not have significant effects on the quality of the water. The efficiency of the aeration was restored to the same level as before the changes. Target pH was achieved by lye alkalisation. The pre-filtration had improved the quality of water. The turbidity detected in water after filter backwash had fallen substantially. Based on the laboratory measurements and expansion tests, it was found that the expansions of the filters and the backwash flow rates during the washes were not sufficient. During the backwash, the expansion was about 10 % when it should have been at least 15 %. High turbidity and iron concentrations were also found in pre-filtrates. It was obvious that the filters did not purify properly during washes. On the other hand, the interval between the washes can be extended. Although the flow mass was increased by 60 %, no solids from the filter were passed through and the filtered water valve position did not change.

Impurities remaining after wash of the filters could be removed better, if the pre-filtration time and the volume of the pre-filtrate are increased. In the long term, filter expansion and filter wash could be enhanced by a more efficient pump or a different kind of filtration material, whereby the expansion to increase and the impurities would be removed with the flushing water.

Key words: groundwater, water treatment, aeration, filtration

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	POHJAVESI	6
	2.1 Pohjaveden muodostuminen	6
	2.2 Pohjaveden laatu	6
	2.3 Rauta ja mangaani	6
	2.4 Veden aggressiivisuus ja karbonaattitasapaino	7
3	ILMASTUS	9
4	ALKALOINTI	10
5	SUODATUS	11
6	POHJAVESILAITOS	13
	6.1 Yleistä	13
	6.2 Prosessikuvaus	13
	6.2.1 Ilmastus	14
	6.2.2 Lipeän syöttö	14
	6.2.3 Suodatus	14
7	KOKEELLINEN OSA	16
	7.1 Näytteenotto ja laboratorioanalyysit	16
	7.2 Ilmastuksen optimointi	18
	7.3 Alkalointi	20
	7.4 Suodatuksen optimointi	22
	7.4.1 Esisuodatus	22
	7.4.2 Suodattimien huuhteluväli	24
	7.4.3 Paisuntamittaukset	26
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	29
	LÄHTEET	32
	LIITTEET	34
	Liite 1. Analyysitulokset liittyen ilmastuksen optimointiin	34
	Liite 2. Analyysitulokset liittyen lipeän käyttöönottoon	35
	Liite 3. Analyysitulokset esisuodoksista	36
	Liite 4. Analyysitulokset suodattimilta käynnistyksen jälkeen	37
	Liite 5. Analyysitulokset suodattimien pidennetyistä huuhteluväleistä	38
	Liite 6. Filtralite vastavirtahuuhtelukaaviot (Filtralite 2018a, 2018b)	39

1 JOHDANTO

Pohjaveden puhdistusprosessiin vaikuttavat olennaisesti puhdistettavan veden määrä ja laatu, vedelle asetetut laatuvaatimukset, esi- ja jälkikäsittelyn tarve, jätteiden käsittely sekä käyttökustannukset. Pohjavedet ovat Suomessa varsin hiilidioksidipitoisia eli aggressiivisia, joten ne syövyttävät metallisia putkistoja. Ilmastuksella hiilidioksidipitoisuus voidaan poistaa. Usein ilmastuksen jälkeen vesi alkaloidaan pH-arvon nostamiseksi. Ilmastus toimii myös raudan ja osittain mangaanin hapettamiseen, jolloin ne voidaan poistaa suodattamalla. Ennen verkostoon pumppaamista vesi desinfioidaan. (Karttunen 1999, 127–128; Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 349.)

Tämä opinnäytetyö tehtiin Tampereen Vesi Liikelaitokselle ja sen tavoitteena oli optimoida pohjavesilaitoksen prosessia ilmastuksen, suodatuksen ja lipeän käytön osalta. Tampereen Vesi Liikelaitoksen tavoite on, että laitokselta verkostoon pumpattavan veden pH-arvo olisi 8,0. Tutkittavalla pohjavesilaitoksella tähän pyrittiin ilmastusta tehostamalla tai ottamalla valmis aiemmin käytössä ollut lipeäjärjestelmä käyttöön. Suodatuksen optimointiin kuului sekä suodatusprosessin että suodattimien huuhteluiden tarkastelu.

Käyttötarkkailun perusteella, pohjavesilaitoksella ei oltu havaittu raakavedessä, eikä myöskään lähtevässä vedessä, merkittäviä pitoisuuksia rautaa tai mangaania. Prosessidatan perusteella oli kuitenkin huomattu, että suodattimien huuhteluiden jälkeen lähtevän veden sameudessa tapahtuu selkeä äkillinen nousu. Laitoksella oli otettu esisuodatus käyttöön helmikuussa 2018. Esisuodatus tarkoittaa, että huuhtelun jälkeen suodattimelta lasketaan tietty määrä vettä viemäriin epäpuhtauksien minimoimiseksi. Tämän ansiosta hetkellinen sameus oli pienentynyt.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, toimiiko ilmastus ja suodatus optimaalisesti, vai onko prosessissa parannettavaa. Suodattimien esisuodoksista ja suodatuksen alkuvaiheen näytteistä analysoidaan mm. pH, sameus, TOC (Total organic carbon), rauta ja mangaani. Analyysit tehdään pääasiassa Ruskon talousvesilaboratoriossa menetelmäohjeiden mukaisesti. Suodattimilta tehdään myös paisuntamittauksia. Osa analysoinnissa käytetyistä tuloksista on prosessimittareilta saatua dataa, mm. pH, sameus sekä redox-potentiaali. Myös ilmastuksen ja lipeän käytön aiheuttamia muutoksia arvioidaan.

2 POHJAVESI

2.1 Pohjaveden muodostuminen

Pohjavettä muodostuu sade- ja sulamisvesistä, jotka imeytyvät maahan. Vesi kulkeutuu ja varastoituu maaperään tai rikkonaiseen kallioperään. Pohjavesien virtausta ohjaavat maakerrosten alapuolella olevat kallioiden pinnanmuodot sekä vettä heikosti läpäisevät savikot. Pohjaveden kyllästämää, hyvin vettä johtavaa maa- tai kallioperän vyöhykettä, josta voidaan pumpata riittäviä määriä vettä, kutsutaan pohjavesimuodostumaksi. (Geologian tutkimuskeskus 2018; Isomäki, E., Valve, M., Kivimäki, A-L. & Lahti, K. 2007, 7.)

Pohjavesi on uusiutuva luonnonvara ja sitä muodostuu alueilla, joilla maalaji on sellaista, että vesi pääsee siihen imeytymään. Suotautuessaan maakerrosten läpi, veden laatu yleensä paranee. Aineita sitoutuu maaperään ja mm. suoloja liukenee veteen. Laadultaan ja antoisuudeltaan parhaimmat pohjavesialueet esiintyvät hiekasta ja sorasta muodostuneissa harjuissa ja reunamuodostumissa. (Geologian tutkimuskeskus 2018, Ympäristöhallinto 2018, Isomäki ym. 2007, 7.)

2.2 Pohjaveden laatu

Veden laatu vaikuttaa vesihuollon toimivuuteen. Heikko laatu voi aiheuttaa laitteistojen syöpymistä sekä saostumista ja mikrobikasvustoa verkostoon. Veden laatu vaikuttaa myös olennaisesti ihmisten terveyteen. Suomessa pohjaveden laatu on useimmiten hyvä. Pohjaveden ominaisuuksiin vaikuttavat mm. sadeveden määrä ja laatu, sääolosuhteet, maaperän ominaisuudet sekä ihmisten toiminta. Suomessa pohjavedet ovat yleensä lievästi happamia, pehmeitä sekä niukkasuolaisia. (Isomäki ym. 2007, 14–15.)

2.3 Rauta ja mangaani

Rauta esiintyy luonnossa useimmiten yhdisteinä mm. oksideina ja magnetiitteina. Kemiallisissa yhdisteissä rauta esiintyy 2- ja 3-arvoisina ferro- ja ferriyhdisteinä. Raudan suolat

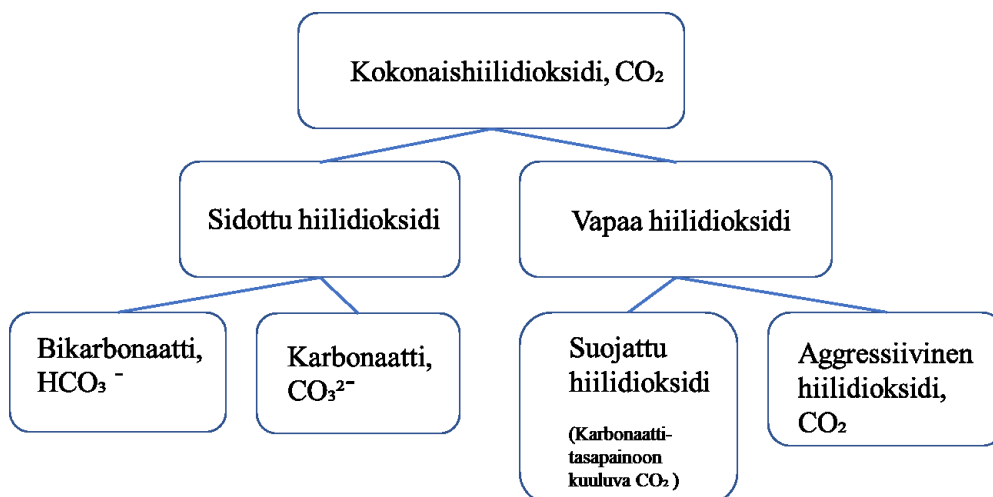
liukenevat veteen hyvin. Hapettomissa pohjavesissä rautapitoisuus on korkeampi kuin pintavesissä. Rauta aiheuttaa talousvedessä maku- ja hajuhaittoja, mutta ei ole terveydelle suuri riski. (Karttunen 2003, 22–226.)

Mangaani on metalli, jota ei esiinny luonnossa vapaana vaan useimmiten mangaanin oksideina. Sitä esiintyy pohjavesissä usein raudan kanssa. Mangaanin kloridit, nitraatit ja sulfaatit ovat vesiliukoisia. Oksidit, karbonaatit ja hydroksidit ovat puolestaan niukka-liukoisia. Pohjaveden ollessa hapetonta tai vähähappista, mangaania saattaa esiintyä runsaasti. Mangaani esiintyy yleensä yhdessä raudan kanssa, mutta se ei hapetu yhtä helposti. Mangaani aiheuttaa vedessä maku- ja hajuhaittoja ja sitä saattaa kerääntyä putkistoissa biofilmiin. Vedessä saatetaan havaita mustaa mangaanisakkaa, kun mangaani irtoaa putkistosta. (Karttunen 2003, 225.)

Rauta- ja mangaanipitoisuudelle on annettu laatusuositus, jota ei tulisi ylittää. Suositus perustuu väriin, hajuun ja makuun ja suojaa samalla mahdollisilta terveyshaitoilta. Vesilaitosten jakamalle vedelle raudan enimmäispitoisuus on 200 µg/l ja mangaanin enimmäispitoisuus on 50 µg/l. (THL 2018.)

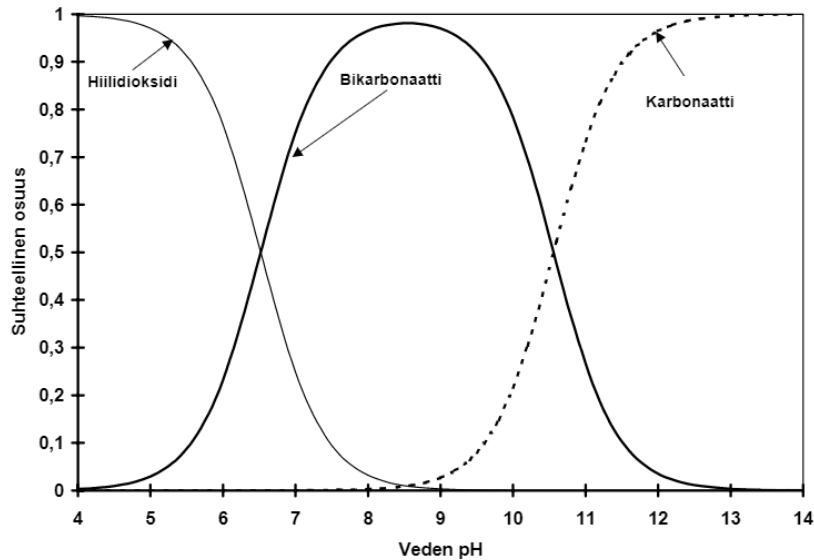
2.4 Veden aggressiivisuus ja karbonaattitasapaino

Veden kokonaishiilidioksidipitoisuus (kuvio 1) koostuu vapaasta ja sidotusta hiilidioksidista (CO_2). Sidottu hiilidioksidi on veden sisältämän vety- eli bikarbonaatin (HCO_3^-) ja karbonaatin (CO_3^{2-}) kokonaismäärä. (Meriluoto 2002, 2–3.)



KUVIO 1. Hiilidioksidin jakaantuminen vedessä (Meriluoto 2002, muokattu)

Vesi on aggressiivista, jos sen pH-arvo on alhainen ja se sisältää paljon vapaata hiilidioksidia, joka ei ole tasapainossa bikarbonaatin kanssa (Karttunen ym. 2004, 146). Tästä syystä Suomessa pohjavedet ovat yleensä varsin aggressiivisia (Karttunen 2003, 218). Hiilidioksidin eri muodot ovat riippuvaisia veden pH-luvusta kuvion 2 mukaisesti



KUVIO 2. Veden vapaan hiilidioksidin, bikarbonaatin ja karbonaatin osuuksien riippuvuus pH-arvosta (Meriluoto 2002, 4)

Vesi on kalkki-hiilidioksiditasapainossa, kun aggressiivisen hiilidioksidin määrä on nolla. Silloin ei tapahdu syöpymistä eikä saostumista. Hiilidioksidin ja bikarbonaatin pitoisuuksiin tasapainotilassa vaikuttaa pH:n lisäksi myös lämpötila. (Karttunen 2003, 218.)

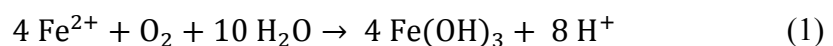
Useimmiten on suositeltavaa, että veden pH-arvo nostetaan arvoon 8,0. Optimaalisen pH-arvo olisi sellainen, että kalkkia saostuisi hieman lämpimään veteen. Kylmään veteen kalkkia ei saisi saostua. Veden ollessa kovaa, tavoitellun pH-arvon tulisi olla alle 8,0. (Valvira 2018, 43–44.)

3 ILMASTUS

Ilmastus on yleinen termi, jota käytetään puhuttaessa kaasun siirrosta vesi- ja kaasufaasin välillä. Toimenpiteenä se on fyysikaalinen, mutta sillä saattaa olla seurauksena kemiallisia laadun muutoksia. Ilmastusta on sekä kaasun lisäys veteen, jota kutsutaan absorptioksi, että kaasun poisto vedestä, jota kutsutaan desorptioksi tai strippaukseksi. Vesihuoltotekniikassa ilmastus voi sisältää molemmat prosessit samanaikaisesti. Kaasuabsorptiossa hapen lisäämisen tavoitteena on rauta-, mangaani- ja rikkiyhdisteiden hapettaminen. Desorptiossa tavoitteena on hiilidioksidin vähentäminen ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) sekä hajua ja makua aiheuttavien yhdisteiden poistaminen. (Karttunen ym. 2004, 69.)

Ilmastus voidaan toteuttaa monella tavalla. Pohjavesien ilmastukseen käytetään yleisesti painovoimaisesti toimivia ilmastimia, joita ovat mm. täyteaineilla varustellut ilmastustornit ja erilaiset valutusilmastimet. Ilmastustornit voivat olla rakenteeltaan esim. sylinterinmuotoisia säiliöitä, joiden sisälle on pakattu täyteainetta. Vesi johdetaan tornin yläosaan, josta se valuu painovoiman avulla alaspäin. Ilma puhalletaan samanaikaisesti alhaalta ylöspäin. Täytemateriaalin avulla veden ja ilman kosketuspinta on suuri, joten kaasujen poistuminen on tehokasta. Puhdistettu vesi kerätään tornin alaosan kautta säiliöön. (Karttunen ym. 2004, 71, 367.) Ilmastimiin ja täyteaineiden pinnoille muodostuu käytössä bakteerikasvustoa, joka saattaa aiheuttaa veteen maku- ja hajuhaittoja sekä sameutta. Ilmastusteho saattaa myös pienentyä, kun rauta- ja mangaanisakkaa kerääntyy täytekappaleiden ja muiden osien pinnoille. Tornien pesuväli määrättyä käsiteltävän veden laadun perusteella. (Isomäki ym. 2007, 37–38.)

Ilmastuksessa veteen liuennut rauta hapetetaan kiinteäksi ferrihydroksidiksi reaktion 1 mukaisesti. Kiinteä ferrihydroksidi voidaan tämän jälkeen poistaa esim. hiekkasuodatuksessa. (Sallanko, Lakso, Röpelin 2006, 1.)



Useimmiten mangaanin poisto ilmastamalla ei onnistu. Mangaani hapetuu hitaammin ja vaatii korkeamman pH-arvon. (Kousa, Backman, Komulainen & Hakkarainen 2017, 32.)

4 ALKALOINTI

Alkaloinnin tarkoitus on alentaa veden happamuutta eli nostaa pH-arvoa, jotta verkostokorroosio olisi mahdollisimman vähäistä. Usein alkaloinnilla nostetaan myös veden puskurikapasiteettia eli alkaliteettiä, jolla tarkoitetaan veden kykyä vastustaa pH-muutosta. Talousveden alkaliteetti muodostuu pääasiassa bikarbonaattipitoisuudesta, johtuen talousveden pH-alueesta. Alkaloinnin tarkoitus on sitoa vedessä oleva vapaa syövyttävä hiilidioksidi. pH-arvon tavoite verkostovedessä on yleensä 7,5–8,5. (Isomäki ym. 2007, 35.)

Verkostokorroosiolla on haitallisia vaikutuksia vedenjakelujärjestelmälle, sen toiminnalle sekä veden laatuun. Talousvedelle on asetettu yleinen vaatimus, että se ei saa aiheuttaa haitallista syöpymistä. Tarkoituksena on ehkäistä verkostomateriaalien syöpymisestä aiheutuva mahdollinen terveyshaitta ja turvata se, että vesi on teknisesti käyttökelpoista. Verkostomateriaalien syöpymisestä johtuen veteen voi esimerkiksi joutua rautaa. Korroosio saattaa myös lisätä putkistossa mikrobiologista toimintaa, jolloin vedessä saatetaan havaita haju- ja makuhäiriöitä. Korroosio voi aiheuttaa myös vuotoja. Suomessa pohjavedet ovat luonnostaan metallisia materiaaleja syövyttäviä alhaisen pH-arvon ja pehmeytensä vuoksi. (Meriluoto 2002, 3.)

Veden alkalointi toteutetaan lisäämällä veteen alkalointikemikaalia, esimerkiksi lipeää eli natriumhydroksidia, soodaa eli natriumkarbonaattia tai kalkkikiveä eli kalsiumkarbonaattia. Veteen lisätty emäs neutraloi hiilidioksidin bikarbonaatiksi ja veden pH-arvo nousee. Veden pH-arvoa voidaan nostaa myös ilmastamalla. Vapaa hiilidioksidi siirtyy ilmastuksessa ilmafaasiin. Alkalointiaessa lipeällä hiilidioksidi muuttuu bikarbonaatiksi reaktioyhtälön 2 mukaisesti (Meriluoto 2002, 4–7.)



Alkalointia koskevissa ohjeistuksissa on suositeltu, että kylmästä lähtevästä vedestä ei saostuisi kalsiumkarbonaattia, mutta vettä lämmitettäessä sitä voi saostua. Lämminvesilaitteiden kalkkisaostumat ovat siis veden alkaloinnista johtuva seuraus. (Meriluoto 2002, 7.)

5 SUODATUS

Suodatus on paljon käytetty prosessivaihe vesien käsittelyssä. Suodatuksessa vesi johdetaan suodatinmateriaalin läpi, jolloin kiinteät partikkelit jäävät suodattimen pinnalle tai pidättyvät syvemmälle suodatinmateriaaliin. Rakeiset suodattimet on tehty yhdestä tai useammasta materiaalista, ja niissä suodatus tapahtuu pääasiassa suodattimen sisällä. Kun vedessä olevat hiukkaset joutuvat suodattimeen, ne kulkeutuvat suodatinaukoista läpi tai kasaantuvat suodattimen pinnalle. Kulkeutuessaan epäpuhtaudet pidättyvät suodattimen rakeiden väliin mm. pinta- ja adheesiovoimen vaikutuksesta. Myös suodatinmateriaalin muoto vaikuttaa, mm. tarvittavan huuhteluveden määrään, suodattimen puhdistumiseen, painehäviöön ja suodattimen huokoisuuteen. (Karttunen ym. 2004, 107–110, 394.)

Hiekkasuodatusta käytetään pohjavesilaitoksilla yhdessä ilmastuksen kanssa poistamaan vedessä olevaa rautaa. Hiekkasuodatus on merkittävässä roolissa myös mangaanin poistossa. Suodatinmateriaalista riippuen, suodatinhiukkasten pinnoilla voi olla mangaanioksidia, jonka katalyyttisen vaikutuksen ansiosta mangaanin poisto tehostuu. (Karttunen ym. 2004, 413.)

Suodatinta käytettäessä, siihen alkaa kertymään epäpuhtauksia ja suodattimen huokoisuus laskee, virtausvastus kasvaa ja suodatusnopeus hidastuu. Virtausvastuksen muutos on riippuvainen suodattimen toimintaperiaatteesta, suodatinmateriaalista sekä suodatettavan veden epäpuhtauksista. Huuhtelutarve voi määräytyä esimerkiksi, kun suodatusnopeus laskee merkittävästi tai kun suodattimen kapasiteetti on käytetty. (Karttunen ym. 2004, 113–114.)

Hiekan lisäksi suodatuksessa voidaan käyttää muitakin materiaaleja. Materiaali vaikuttaa mm. suodatusnopeuteen. Tyypillinen suodatusnopeus yksikerrossuodattimessa on 5–10 m/h ja monikerrossuodattimissa 10–20 m/h. (Isomäki ym. 2017, 40.) Suodatusnopeus saadaan laskettua tilavuusvirran kaavan avulla

$$q_v = A \cdot v \quad (3)$$

$$v = \frac{q_v}{A} \quad (4)$$

jossa q_v on tilavuusvirta (m^3/h), A on suodattimen poikkileikkauksen pinta-ala (m^2) ja v on keskinopeus (m/h) (Inkinen & Tuohi 2002, 320).

Suodattimeen kertyneet epäpuhtaudet ja saostumat poistetaan tietyin väliajoin huuhtelemalla suodatinta vastavirtapesulla. Suodattimien toiminta on yleensä automaattista ja huuhteluvaihe käynnistyy, kun ennalta määritelty vesimäärä on virrannut suodattimen läpi, tai kun tietty aika on kulunut. Vastavirtahuuhtelu toteutetaan normaalia virtaussuuntaa vasten. Se voidaan toteuttaa pelkästään vedellä tai yhdistämällä vesi- ja ilmahuuhtelu. Huuhtelun tarkoituksena on saada suodatinmateriaaliin voimakas liike, jolloin rakeet hankautuvat toisiaan vasten, ja epäpuhtaudet irtoavat ja huuhtoutuvat pois. Pelkällä vedellä tehty huuhtelu kasvattaa suodatinpatjaa vähintään 15 %, mutta se voi kasvaa jopa 30–50 %. Huuhtelun aikainen suodatinpatjan kasvu eli paisuntaprosentti voidaan laskea kaavalla

$$\text{Paisunta \%} = \frac{y \text{ (m)} - x \text{ (m)}}{x \text{ (m)}} \cdot 100 \% \quad (5)$$

jossa x on suodatinpatjan paksuus ja y on suodatinpatjan paksuus vastavirtahuuhtelun aikana. (Isomäki ym. 2007, 38–40; Karttunen ym. 2004, 114, 117.)

Kun puhdas suodatin käynnistetään, siitä voi mennä hetken aikaa kiintoainetta läpi. Huuhtelun jälkeen suodatettua vettä tulisikin laskea viemäriin, jotta varmistutaan siitä, että suodatettu vesi on puhdasta. (Isomäki ym. 2007, 38–40; Karttunen ym. 2004, 114, 117.)

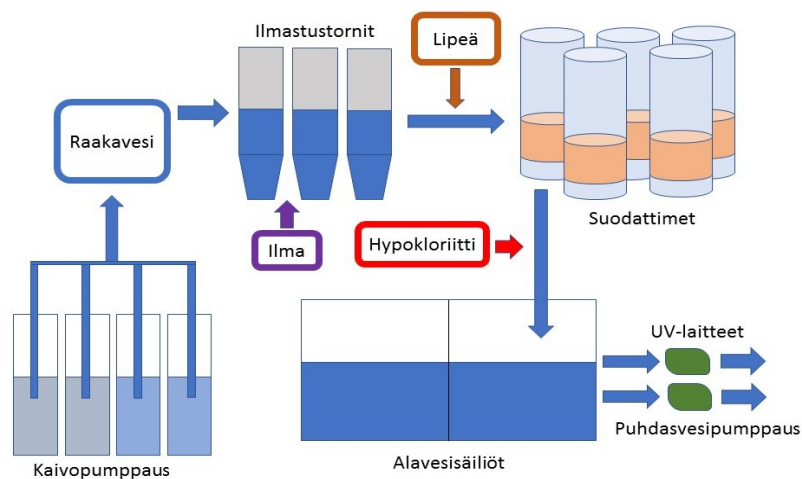
6 POHJAVESILAITOS

6.1 Yleistä

Pohjavesi on tärkeä talousvesilähde Tampereella. Se on laadullisesti parempaa ja vaatii vähemmän käsittelyä, kuin pintavesi. Vuonna 2017 Tampereen Vesi Liikelaitoksen pohjavesilaitoksilta pumpattiin verkostoon yhteensä noin 4,9 miljoonaa m³ vettä, josta tutkitavan pohjavesilaitoksen osuus oli noin 20 %. (Tampereen Vesi 2018a, 12.)

6.2 Prosessikuvaus

Pohjavesilaitoksen vedenkäsittelyprosessi on kuvattuna kuviossa 3. Vesi pumpataan tällä hetkellä kahdesta kaivosta kaivopumpuilla kolmeen ilmastustorniin raudan ja osittain mangaanin hapettamiseksi sekä kloorattujen liuottimien, trikloorieteenin (TCE) ja tetra-kloorieteenin (PCE), sekä vapaan hiilidioksidin poistamiseksi vedestä. Ilmastuksen jälkeen veteen voidaan lisätä natriumhydroksidia pH:n säätöä varten, jonka jälkeen vesi jatkaa painovoimaisesti suodattimille. Hiekkasuodatus poistaa vedestä ilmastuksessa syntyneen rautasakan ja toimii biologiseen mangaaninpoistoon tarvittavien bakteerien kasvualustana. Suodatuksen jälkeen veteen lisätään natriumhypokloriittia ja vesi johdetaan alavesisäiliöön. Säiliöstä vesi pumpataan UV-desinfioidin kautta verkostoon kahteen eri paineipiiriin. (Jokihaara & Takamaa 2010, 4–10; Tampereen Vesi 2017.)



KUVIO 3. Pohjavesilaitoksen prosessikaavio

6.2.1 Ilmastus

Ilmastustorneihin tuleva vesi jaetaan tasaisesti torneille. Torneissa vesi valuu painovoimaisesti täytkekappalekerroksen läpi, jolloin helposti haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja hiilidioksidi siirtyvät vedestä tulo- ja poistoilmakoneilla aikaan saatuun vastakkaissuuntaiseen ilmavirtaukseen. Ilmavirtauksen sisältämä happi hapettaa vedessä olevan raudan saostuvaan muotoon. Ennen torniin johtamista ilma suodatetaan EU7- tason ilmansuodattimilla. (Jokihaara & Takamaa 2010, 5–6; Tampereen Vesi 2017.)

Kaivoista otettava vesimäärä määrittää onko torneja käytössä kaksi vai kolme. Vesimäärän laskiessa alle asetusarvon ja pysyessä siinä tietyn ajanjakson ajan, yksi ilmastustorni otetaan pois käytöstä. Järjestelmä pysäyttää tulo- ja poistoilmakoneet ja sulkee tornin tulevan veden venttiilin. Tulo- ja poistoilmakoneiden tehoa ohjataan taajuusmuuttajilla tornikohtaisesti suhteessa kaivoista otettavaan kokonaisvesimäärään aseteltavan säätökäyrän mukaisesti. (Jokihaara & Takamaa 2010, 5–6.) Tällä hetkellä ilmastustornien tulo- ja poistoilmakoneita ohjaavien taajuusmuuttajien asetusarvot ovat noin 34 Hz.

6.2.2 Lipeän syöttö

Ilmastuksen jälkeen hiekkasuodatukseen johtavassa putkessa on yhteys lipeän syöttämiseksi veteen. Putkessa on laipoilla varustettu osuus, jossa lipeän sekoittaminen veteen tapahtuu. (Jokihaara & Takamaa 2010, 6.) Laimennettua natriumhydroksidia annostellaan päiväsaaliöstä automaattisesti halutun pH-arvon saavuttamiseksi.

6.2.3 Suodatus

Pohjavesilaitoksella on käytössä viisi hiekkasuodatinta, joille vesi jakautuu tasaisesti. Suodattimet ovat vastavirtaan ilma- ja vesihuuhdeltavia gravitaatiosuodattimia. Yhden suodattimen halkaisija on 3,0 metriä, joten suodattimen suodatuspinta-ala on 7,1 m². Hiekkapatjan tilavuus on 16,7 m³. (Tampereen Vesi 2017.) Taulukossa 1 on suodattimien huuhteluvaiheet sekä asetusarvot. Huuhtelun ja esisuodatuksen jälkeen suodatin jää lepotilaan, ja käynnistyy, kunnes seuraava suodatin menee huuhteluun.

TAULUKKO 1. Suodattimen huuhteluvaiheet ja asetusarvot

Tyhjennys	pinta 0,98 m	venttiilin avaus 60 %
Esihuuhtelu	aika 60 s	virtaus 100 m ³ /h
Vesi-ilma huuhtelu	aika 60 s	virtaus 100 m ³ /h
Vesihuuhtelu	aika 360 s	virtaus 220 m ³ /h
Täyttö	pinta 3,95 m	
Esisuodoksen poisto	aika 450 s	määrä 20 m ³

Laitoksen kaksikerrossuodattimissa käytetty Filtralite 1,5-1,2 mm on inertti keraaminen suodatusmateriaali, jota voidaan käyttää talousveden puhdistuksessa mm. yhdessä kvartsihiekkan kanssa. Kaksikerrossuodattimessa raskaampi kvartsihiekkä on pohjalla ja kevyempi Filtralite 1,5-2,5 päällä. Suodatusnopeus edellä mainitussa kaksikerrossuodattimessa pitäisi olla keskimäärin 5–15 m/h. (Filtralite 2018a).

Esisuodatus otettiin käyttöön pohjavesilaitoksella helmikuussa 2018. Huuhtelun loputtua hiekkasuodattimeen jää vettä noin 20 m³. Tavoitteena on ollut, että tämä vesimäärä vaihdetaan ennen suodatusvaiheeseen siirtymistä. (Koskinen, Jokihaara & Toikkanen 2016.) Esisuodoksen poisto on kuitenkin ollut aikamääräinen, jonka vuoksi poistettavan esisuodoksen tilavuus on suodattimesta riippuen ollut noin 5 m³.

7 KOKEELLINEN OSA

7.1 Näytteenotto ja laboratorioanalyysit

Mittausten aikana raakaveden virtaama oli keskimäärin 155 m³/h ja sitä pumpattiin kai-voista 3 ja 4. Suodatusnopeus hiekkasuodattimilla oli suodattimesta riippuen noin 5,0–7,0 m/h. Kokeellisen osaan liittyvät analyysit tehtiin Ruskon vedenpuhdistuslaitoksen laboratoriossa menetelmäohjeiden mukaisesti. VOC-analyysit teetettiin Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistyksen (KVVY) laboratoriossa. Näytteenotto suoritettiin pohjavesilaitoksella erillisistä näytteenottohanoista sekä suodattimien tyhjennysputkista. Tulosten analysoinnissa on käytetty myös prosessimittareilta (WAHTI) saatua sekä laboratorion tietojärjestelmästä (VEKA) kerättyä dataa.

pH, sameus ja redox-potentiaali

pH-arvo mitattiin potentiometrisesti Mettler Toledon MP 230 pH-mittarilla, johon oli liitetty yhdistelmä pH-elektrodi (Tampereen Vesi 2012, 1). Analysoinnissa käytettiin myös Endress and Hauser -prosessimittarilta saatuja arvoja.

Veden sameus määritettiin näytteistä mittaamalla läpäistyn ja eteenpäin sironneen säteilyn voimakkuus HACH 2100N IS -sameusmittarilla. Mitattu sameus johtuu nesteen läpinäkyvyyden heikkenemisestä, jonka aiheuttaa nesteessä oleva liukenematon aines. (Tampereen Vesi 2002a, 1–2.) Analysoinnissa käytettiin myös Endress and Hauser -prosessimittarilta saatuja arvoja.

Redox-potentiaaliarvoja seurattiin Endress and Hauser -prosessimittareilta ja se mitataan pH-arvon tavoin käyttämällä vertailuelektrodia. Redox-potentiaali on hapetus-pelkistys-potentiaali, joka kuvaa liuoksen kykyä hapettaa tai pelkistää yhdisteitä (Endress and Hauser 2018, 2).

Rauta

Vedessä oleva rauta saatettiin reagoivaan muotoon hapettamalla sitä peroksidisulfaattilla happamissa olosuhteissa sekä keittämällä suljetussa paineastiassa. Rauta pelkistettiin hydroksidiammoniumkloridilla rauta(II):ksi, joka muodostaa 2,4,6-tri(2-pyridiini) -1,3,5-

triatsiinin kanssa violetin kompleksiyhdisteen pH-alueella 3,4–5,8. Muodostuneen yhdisteen absorbanssi mitattiin UV-1800 Shimadzu spektrofotometrillä aallonpituudella 593 nm. Absorbanssi on suoraan verrannollinen näytteen sisältämään rautapitoisuuteen. (Tampereen Vesi 2004a, 1.)

Mangaani

Vedessä oleva mangaani saatettiin reagoimaan muotoon hapettamalla sitä peroksidisulfaattilla happamissa olosuhteissa. Hapetus toteutettiin keittämällä näytettä suljetussa astiassa paineen alaisena. Mangaani(II) muodosti formaldoksiimin kanssa oranssinpunaisen kompleksiyhdisteen pH-alueella 9,0–10,5. Näytteiden absorbanssi mitattiin UV-1800 Shimadzu spektrofotometrillä aallonpituudella 450 nm. Näytteen absorbanssi on suoraan verrannollinen näytteen sisältämään mangaanipitoisuuteen. (Tampereen Vesi 2004b, 1.)

Hiilidioksidi

Näytteen sisältämä vapaa hiilihappo reagoi natriumhydroksidin kanssa muodostaen natriumbikarbonaattia. Täydellinen reaktio saatiin aikaan titraamalla näyte natriumhydroksidilla pH-arvoon 8,4. Titraukseen käytettiin Mettler Toledo T50-titraattoria. (Tampereen Vesi 2016a, 1.)

Alkaliteetti

Alkaliteettia aiheuttavat hydroksidien, karbonaattien ja vetykarbonaattien lisäksi mm. silikaatit ja fosfaatit. Karbonaattisysteemissä alkaliteettititrauksen päätepiste riippuu näytteen alkuperäisestä karbonaatti- ja vetykarbonaattipitoisuudesta. Käytännön syistä titraus suoritettiin pH-arvoon 4,5. Alkaliteetti määritettiin titraamalla näyte potentiometrisesti suolahapolla käyttämällä Mettler Toledo T50-titraattoria. (Tampereen Vesi 2016b, 1.)

Pesäkeluvut

Tunnettu tilavuus näytettä siirrostettiin plate-count-agar- maljalle. Toisen sarjan maljoja inkuboitii 44 h 37 °C:ssa, toisen 68 h 22 °C:ssa. Pesäkkeitä muodostavien yksiköiden lukumäärä millilitraa kohti näytettä laskettiin kasvualustalle muodostuneiden pesäkkeiden lukumäärästä. (Tampereen Vesi 2002b, 1–2.)

TOC

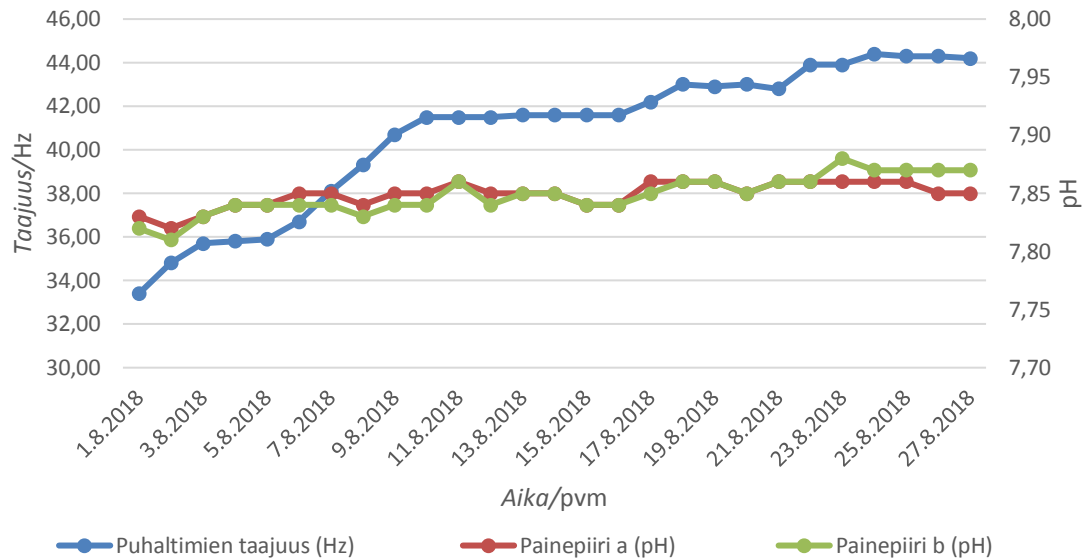
Vedessä oleva orgaaninen hiili hapetettiin polttamalla näytteitä 680 °C:ssa ja muodostuva hiilidioksidi mitattiin infrapunadetektorin avulla (NPOC). Epäorgaaninen hiili poistettiin ennen polttoa happamaksi tehdyistä näytteistä kuplittamalla niitä synteettisellä ilmalla. Näytteet mitattiin Shimadzu TOC-V CPH -laitteistolla. (Tampereen Vesi 2018b, 1–2).

VOC (Haihtuvat orgaaniset yhdisteet)

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet teetettiin KVVY:llä. VOC-analyysillä mitataan helposti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärää. Analyysillä saadaan mitattua summaparametri, joka sisältää mm. haihtuvat polttoainekomponentit, liuottimet, rasvanpoistoaineet ja haihtuvat organoklooriyhdisteet (Valvira, 42.)

7.2 Ilmastuksen optimointi

Ilmastuksen optimoinnissa oli tarkoitus tehostaa ilmastusta, jotta hiilidioksidia oltaisiin saatu poistettua tehokkaammin, jolloin veden pH-arvo olisi saatu nousemaan haluttuun arvoon 8,0. Tarkoituksena oli myös tarkastella, kuinka ilmastuksen tehostaminen vaikuttaa energiankulutukseen. Ilmastustornien tulo- ja poistoilmakoneita ohjaavien taajuusmuuttajien asetusarvot olivat ennen muutosta noin 34 Hz. Asetusarvoa ei muutettu kerralla, vaan sitä nostettiin vähitellen, jolloin sen vaikutusta voitiin seurata lähtevän veden pH-arvoon. Tulokset ovat kuviossa 4. Kaavioon on piirretty pH-muutos elokuussa 2018, jonka aikana taajuusmuuttajien asetusarvoa oli nostettu 10 Hz. pH-arvoa seurattiin automaatiojärjestelmästä. Raakaveden pH-arvo pysyi mittausten ajan 6,2:ssa. Ilmastuksen tehostamisella ei ollut toivottua vaikutusta pH-arvoon, joten vertailua energiankulutuksen kannalta ei tehty.



KUVIO 4. Ilmastuksen tehostamisen vaikutus veden pH-arvoon elokuun 2018 aikana. Tehostaminen saatu aikaan puhallinta ohjaavan taajuusmuuttajan taajuuden muutoksella

Ilmastuksen tehostaminen ei vaikuttanut merkittävästi myöskään hiilidioksidipitoisuu-
teen. Heinäkuussa 2018 laitoksen hiilidioksidipitoisuudet puhtaassa vedessä olivat keski-
määrin 2,8 mg/l ja ilmastuksen tehostamisen aikana 2,7 mg/l (VEKA).

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet teetettiin KVVY:llä. Ilmastuksen tehostuksen loppuvai-
heilla, puhtaassa vedessä ei esiintynyt tri- eikä tetrakloorieteeniä. Vuoden 2018 aikana
tri- ja tetrakloorieteenipitoisuudet ovat olleet laitoksen lähtevässä vedessä pienet.

Ilmastuksen vaikutuksia tutkittiin myös laboratoriossa mittaamalla raakavedestä ja lähte-
västä vedestä pH, hiilidioksidi, alkaliteetti, sameus, rauta ja mangaani. Ilmastuksen jäl-
keisestä näytteestä tehtiin samat analyysit lukuun ottamatta rautaa ja mangaania. Redox-
potentiaali kirjattiin ylös prosessimittarilta. Tulosten keskiarvot ovat taulukossa 2. Kaikki
tulokset löytyvät liitteestä 1. Raakaveden TCE- ja PCE-pitoisuuksien yhteenlaskettu arvo
on keskiarvo vuoden 2018 aikana analysoiduista näytteistä.

TAULUKKO 2. Tulosten keskiarvot ennen ja jälkeen ilmastuksen säädön

	Raakavesi		Ilmastuksen jälk. vesi		Lähtevä vesi	
	34 Hz	44 Hz	34 Hz	44 Hz	34 Hz	44 Hz
pH	6,3	6,4	7,8	7,8	7,8	7,8
CO ₂ (mg/l)	56	55	2,9	3,0	2,9	2,8
Alkaliteetti (mmol/l)	0,78	0,76	0,79	0,77	0,79	0,77
Redox (mV)	524	524	436	434	-	-
Sameus (FTU)	0,05	0,04	0,06	0,16	0,07	0,05
Mn (mg/l)	<0,01	0,01	-	-	<0,01	0,01
Fe (mg/l)	<0,02	<0,02	-	-	<0,02	<0,02
TCE+PCE (µg/l)	3,9	-	-	-	<0,5	ei tod.

Ilmastuksen säädön yhteydessä tornien täytekappaleiden kunto arvioitiin. Ilmastustornista 2 otettiin muutama täytekappale pois arviointia varten. Kuvassa 1 vasemmalla on uusi käyttämätön täytekappale. Oikeanpuoleiset ovat ilmastustornista poistettuja. Käytetyt täytekappaleet ovat hyvässä kunnossa, koska niiden pinnoilla on vain vähän rautasakkaa ja kappaleiden aukot ovat hyvin auki.



KUVA 1. Ilmastustornin täytekappaleita (Väre 2018)

7.3 Alkalointi

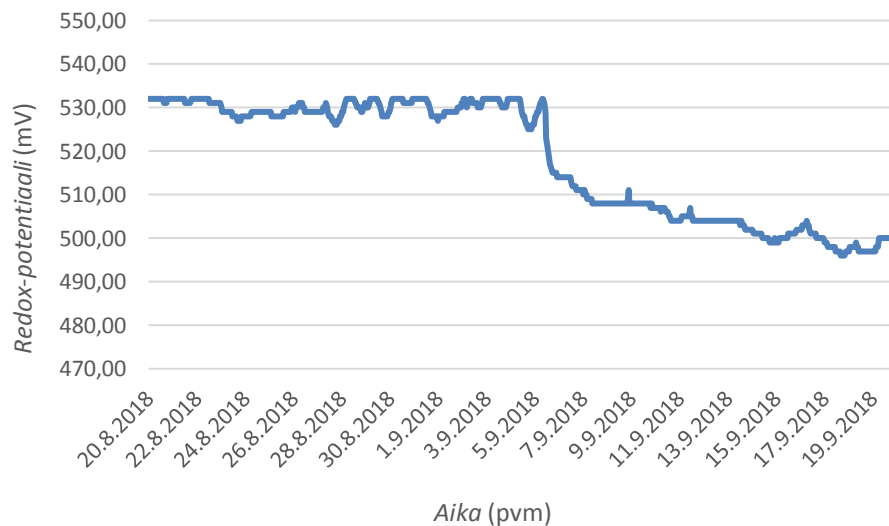
Alkalointi natriumhydroksidilla otettiin käyttöön 5.9.2018. Lipeän syöttö on automatisoitu. Lipeän varastointisäiliöstä 25 % natriumhydroksidia laimennettiin päiväsäiliöön,

josta tarvittava määrä lipeää annosteltiin veteen asetetun pH-arvon saavuttamiseksi. Asetusarvoksi laitettiin 8,1. Lipeän käyttöönoton jälkeen puhtaan veden pH nousi arvoon 7,9–8,0. Laboratorioanalyysien tulosten keskiarvot ovat taulukossa 3. Kaikki tulokset löytyvät liitteestä 2.

TAULUKKO 3. Lipeän vaikutus pH-arvoon, alkaliteettiin ja redox-potentiaaliin

	Ennen lipeän käyttöönottoa			Lipeän käyttöönoton jälkeen		
	Raaka- vesi	Ilmastuksen jälk. vesi	Puhdas vesi	Raaka- vesi	Ilmastuksen jälk. vesi	Puhdas vesi
pH	6,4	7,8	7,8	6,3	7,7	7,9
Alkaliteetti (mmol/l)	0,76	0,77	0,77	0,79	0,78	0,8
Redox prosessi (mV)	523	434	-	527	434	-
Redox ennen suodattimia (mV)	532			500		

Suodattimille menevässä vedessä Redox-potentiaali laski n. 30 mV lipeän käyttöönoton jälkeen, kuten kuviosta 5 voi todeta. Kuvio on piirretty prosessimittarilta saadun datan avulla. Tavoitteena oli, että suodattimille menevän veden redox-potentiaali olisi vähintään 500 mV.



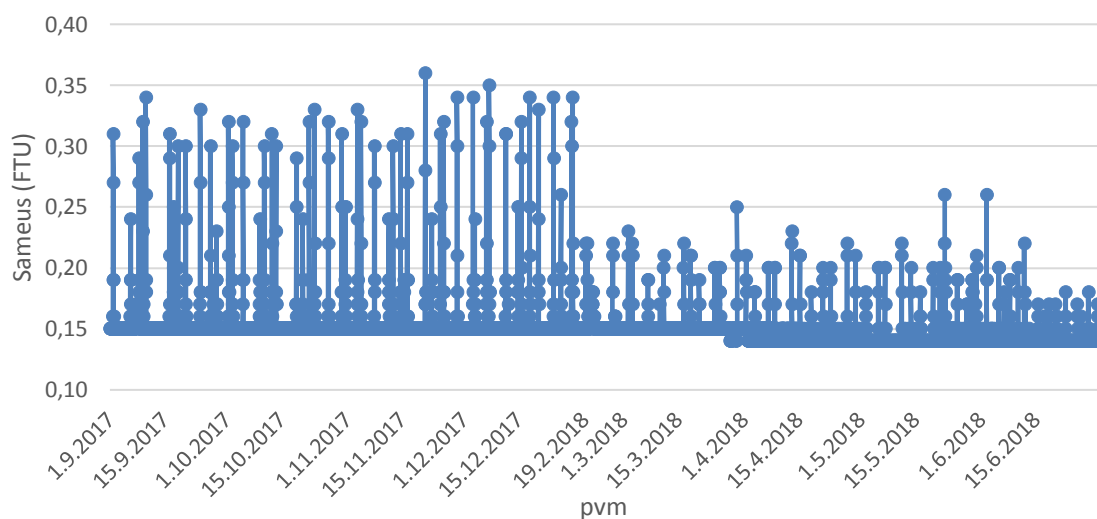
KUVIO 5. Redox-potentiaali suodattimille menevässä vedessä elo- ja syyskuussa 2018

Lipeän käyttöönotto vaikutti hieman hiilidioksidipitoisuuteen. Ennen lipeän käyttöönottoa hiilidioksidipitoisuus on puhtaassa vedessä ollut vuonna 2018 2,5–3,2 mg/l. Lipeän käyttöönoton jälkeen hiilidioksidipitoisuudet ovat olleet 1,9–2,7 mg/l. (VEKA.)

7.4 Suodatuksen optimointi

7.4.1 Esisuodatus

Pohjavesilaitoksella otettiin käyttöön esisuodatus helmikuussa 2018 sameuden ja epäpuhauksien poistamiseksi lähtevästä vedestä. Ennen esisuodatusta puhtaassa lähtevässä vedessä havaittiin, että sameus nousee hetkellisesti aina suodattimien huuhteluiden jälkeen. Esisuodatuksen käyttöönoton jälkeen sameuspiikki pieneni merkittävästi, kuten kuviosta 6 voidaan todeta. Sameuden arvot ovat prosessimittarilla mitattuja lukemia. Tarkastelujakson aikana raakavettä pumpattiin pääasiassa kaivoista 3 ja 4. Syyskuussa 2017 sekä maalisi- ja huhtikuussa 2018 käytössä oli myös kaivo 2. Raakaveden virtaama oli tarkastelujakson alussa 100–120 m³/h. Toukokuusta 2018 eteenpäin raakaveden virtaama oli 130–160 m³/h.



KUVIO 6. Puhtaan veden sameus ajanjakson syyskuu 2017 – kesäkuu 2018 aikana. Kuviosta havaittavissa esisuodatuksen käyttöönotto helmikuussa 2018

Huuhteluiden yhteydessä sameudessa havaittiin edelleen kohonneita arvoja. Esisuodoksesta, joka meni siis viemäriin, otettiin näytteitä, joista analysoitiin laboratorioissa pH, sameus, rauta, mangaani ja TOC. Analyysyjä tehtiin jokaisen suodattimen esisuodoksesta. Ennen muutoksia esisuodatusaika oli 450 s, joka vastasi noin 5 m³ vesimäärää. Osassa suodattimia esisuodatuksen määrää kasvatettiin. Analyysien avulla haluttiin selvittää, pääseekö suodattimen läpi rautaa ja/tai mangaania huuhtelun jälkeen. Huuhtelun jälkeen suodatin jäi aina lepotilaan, kunnes seuraava suodatin meni huuhteluun. Taulu-

kossa 4 on analyysitulokset esisuodatuksen loppuvaiheilta. Näytteitä otettiin esisuodatuksen eri vaiheista ja kaikki tulokset ovat liitteessä 3. Esisuodoksen määrää ja vesihuuhtelua kasvatettiin. Niillä ei kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta tuloksiin. Lähes jokaisen suodattimen esisuodoksessa oli korkea sameus ja rautapitoisuus, ainoa poikkeus oli suodatin 5. Mangaania havaittiin vain vähän. Myös muutaman suodattimen huuhteluvesinäyte analysoitiin, mutta niissä ei havaittu sameutta, rautaa eikä mangaania. Suodattimien huuhtelun yhteydessä rauta- ja mangaanisakan olisi nimittäin pitänyt huuhtoutua huuhteluvien mukana viemäriin.

TAULUKKO 4. Esisuodoksen analyysitulokset suodattimilta

Suodatin	S1	S2	S3	S4	S5
pH	8,0	8,0	7,9	8,0	7,9
TOC (mg/l)	0,82	0,84	0,82	0,78	0,74
Fe (mg/l)	0,25	0,28	0,25	0,28	0,03
Mn (mg/l)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Sameus (FTU)	0,57	0,55	0,64	0,60	0,11
Vesihuuhtelu (s)	720	360	360	360	720
Esisuodoksen määrä (m ³)	7	11	7	11	5

Koska esisuodoksia meni viemäriin, päätettiin suodattimilta 1 ja 3 ottaa näytteitä huuhtelun ja lepoajan jälkeen. Suodattimelta 1 otettiin näytteet heti, 15 ja 30 minuutin kuluttua siitä, kun suodatin otettiin käyttöön. Suodattimelta 3 näytteet otettiin samoin, mutta yksi ylimääräinen näyte otettiin vielä 45 minuutin kuluttua. Suodattimen 1 tulokset ovat taulukossa 5. Taulukkoon on merkitty myös, kuinka paljon vettä on virrannut suodattimen läpi näytteenottohetkellä.

TAULUKKO 5. Tulokset suodattimelta 1 käynnistyksen jälkeen

	Suodatin 1		
	heti (n. 2m ³)	15 min (n. 12 m ³)	30 min (n. 20 m ³)
pH	8,0	7,8	8,0
TOC (mg/l)	0,85	1,0	0,92
Fe (mg/l)	0,20	0,19	0,20
Mn (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
Sameus (FTU)	0,44	0,48	0,45

Suodattimen 3 tulokset ovat taulukossa 6. Sameus ja rautapitoisuus lähtivät laskemaan vasta kun noin 30 m³ vettä on suodatettu suodattimen läpi.

TAULUKKO 6. Tulokset suodattimelta 3 käynnistyksen jälkeen

	Suodatin 3			
	heti (n. 5 m ³)	15 min (n. 11 m ³)	30 min (n. 21 m ³)	45 min (n. 31 m ³)
pH	7,8	7,9	8,0	8,0
TOC (mg/l)	0,79	0,80	0,84	0,83
Fe (mg/l)	0,10	0,17	0,17	0,13
Mn (mg/l)	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
Sameus (FTU)	0,24	0,38	0,37	0,27

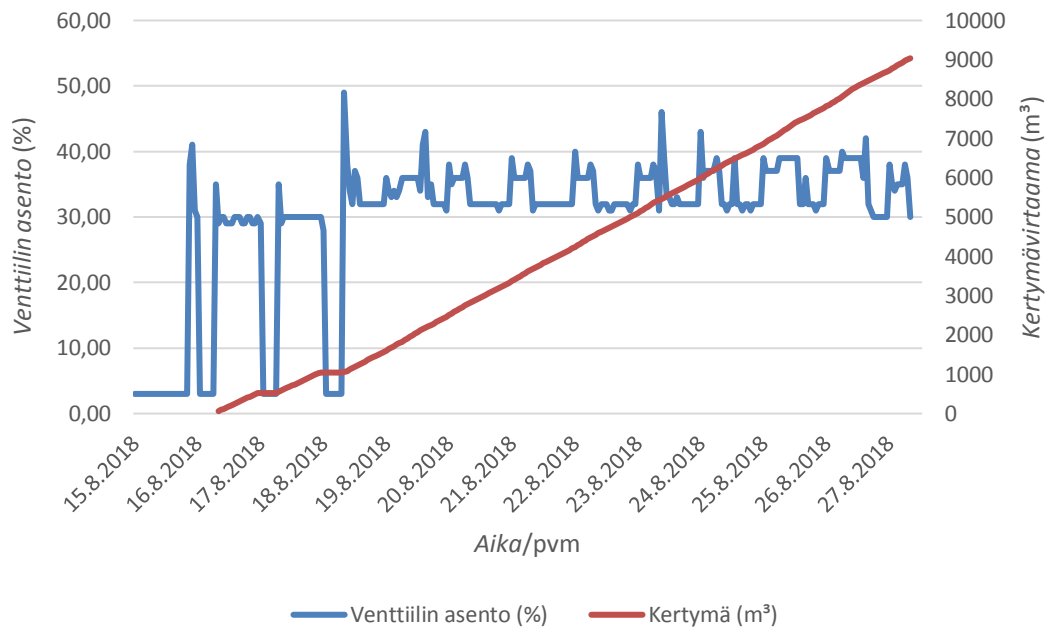
7.4.2 Suodattimien huuhteluväli

Suodattimien huuhtelu tapahtui automaattisesti kun 264 tuntia oli kulunut edellisestä huuhtelusta tai kunnes suodattimen läpi oli virrannut 7000 m³ vettä. Suodattimet 2 ja 5 otettiin tarkasteluun, koska haluttiin selvittää voiko huuhteluväliä pidentää, ilman että suodatetun veden laatu heikkenee tai suodattimen likaisuutta kuvaava puhdasvesiventtiilin asento suurenee merkittävästi. Suodattimilta otettiin näytteet juuri ennen pesua. Suodattimen läpi virtaavaan veden määrää kasvatettiin n. 30 % eli 9000 m³:iin ja suoritettiin näytteenotto uudelleen. Suodattimen 2 läpi virtaavan veden määrää kasvatettiin vielä 11200 m³:iin eli n. 60 %. Näytteistä analysoitiin pH, sameus, TOC, rauta, mangaani ja pesäkeluvut 22 °C:ssa ja 37 °C:ssa sekä seurattiin hiekkasuodattimen puhdasvesiventtiilin asentoa. Tulokset on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Tulokset suodattimilta 2 ja 5 suuremmalla virtauskertymällä ennen suodattimien huuhtelua

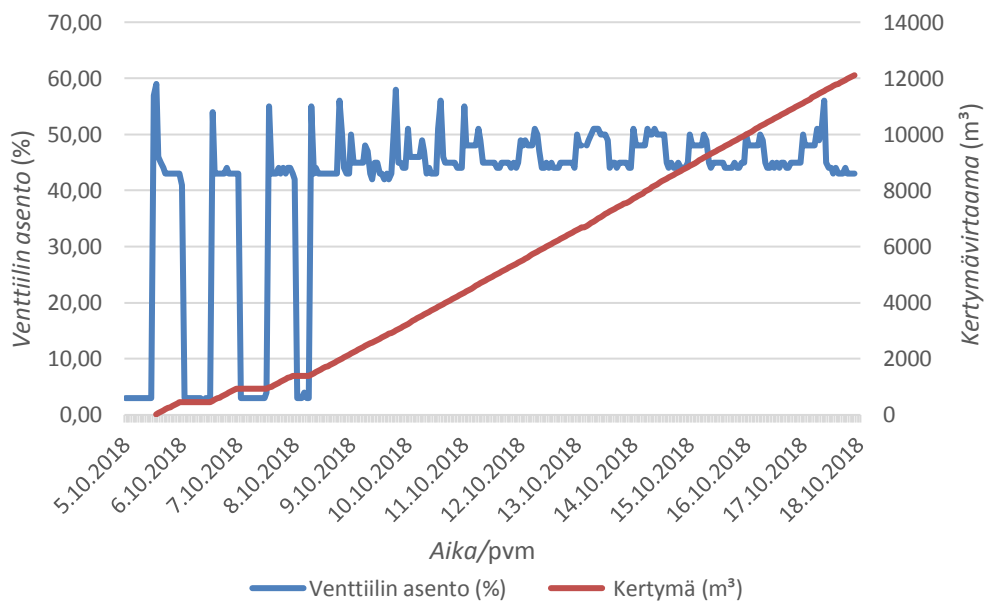
	Suodatin 2			Suodatin 5	
	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3	Mittaus 1	Mittaus 2
pH	7,7	7,8	7,9	7,8	7,8
TOC (mg/l)	0,70	0,80	0,84	0,80	0,79
Fe (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Mn (mg/l)	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Sameus (FTU)	0,08	0,05	0,05	0,04	0,05
Pesäkeluku 22 °C	3	25	8	7	0
Pesäkeluku 37 °C	0	0	0	0	0
Venttiilin asento (%)	44	44	43	36	36
Virtauskertymä (m ³)	7000	9020	11200	7000	9070

Kuviossa 7 on suodattimen 5 huuhteluiden välinen virtaama ja puhdasvesiventtiilin asento. Suodattimen likaisuutta kuvaava venttiilin asento ei muutu, vaikka virtaamaa kasvatettiin n. 30 %. Huuhteluiden välisenä aikana asento oli pääasiassa 30–40 % välillä.



KUVIO 7. Suodattimen 5 huuhteluiden välinen suodatussykli elokuussa 2018

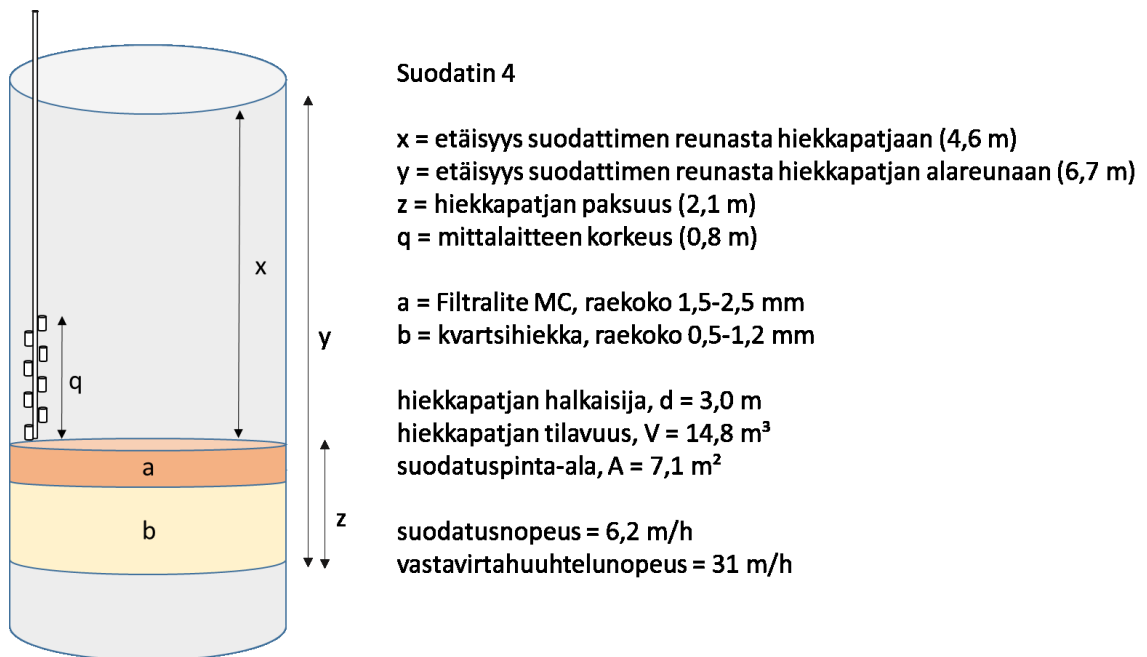
Kuviossa 8 on suodattimen 2 huuhteluiden välinen suodatussykli. Venttiilin asento ei nouse merkittävästi suodattimessa 2, vaikka virtaamaa kasvatettiin jopa 60 %.



KUVIO 8. Suodattimen 2 huuhteluiden välinen suodatussykli lokakuussa 2018

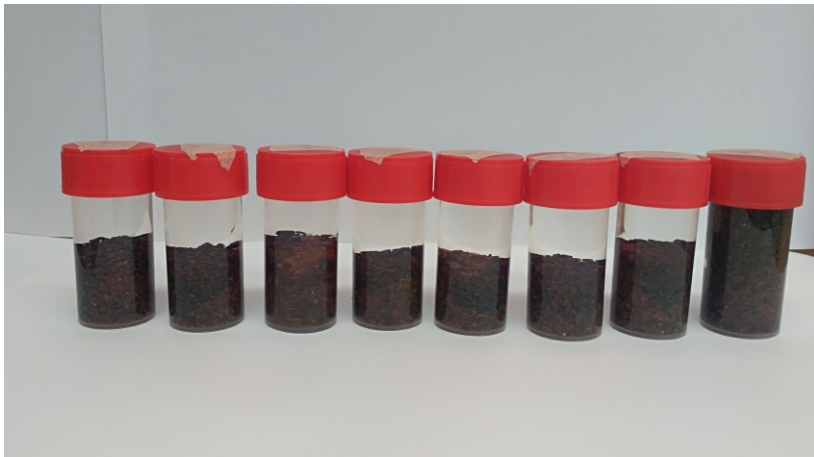
7.4.3 Paisuntamittaukset

Paisuntamittaukset toteutettiin suodattimen huuhtelun aikana. Mittalaite asetettiin ennen suodattimen pesua hiekkapatjan päälle kuvion 9 mukaisesti ja kiinnitettiin paikalleen. Kuviossa on myös suodattimen 4 teknisiä tietoa. Mittalaitteessa oli kahdeksan näytteenottoastiaa 10 cm:n välein. Hiekkapatjan paksuus saatiin laskettua mittaamalla etäisyys (x) suodattimen reunasta hiekkapatjan pintaan sekä mittaamalla etäisyys (y) suodattimen reunasta hiekkapatjan alareunaan. Paisunta laskettiin sen mukaisesti, monessako astiassa hiekkaa oli eli kuinka korkealle hiekkapatja oli huuhtelun aikana nousnut.



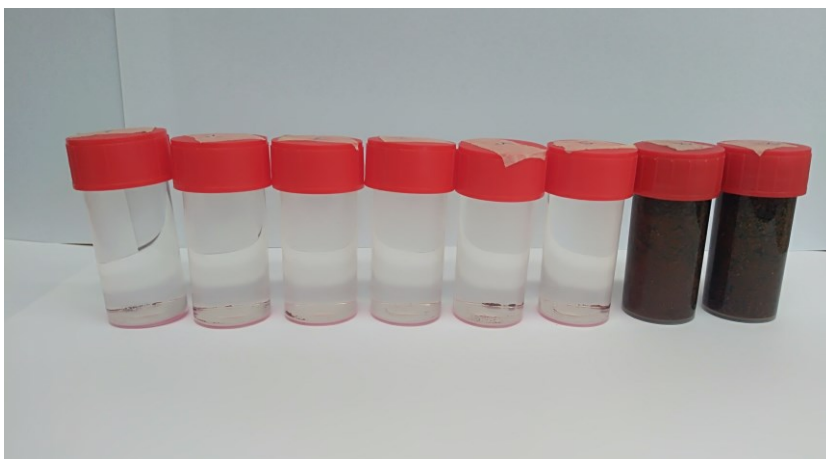
KUVIO 9. Paisuntamittaus ja teknisiä tietoja suodattimesta 4

Oletuksena oli, että kaikki hiekkasuodattimet olivat suunnilleen samanlaisia. Paisuntamittausten aikana suodattimilta 4 ja 2 mitattiin suodatinpatjan paksuus, joka oli suodattimessa 4 2,1 metriä ja suodattimessa 2 2,2 metriä. Heinäkuun 2018 aikana paisuntamittaukset suoritettiin suodattimille 3 ja 5. Huuhteluprosessi oli asetusarvojen mukainen normaali huuhtelu, joka sisälsi sekä ilma- että vesihuhtelun. Jokaisessa näytteenottoastias- tiassa oli hiekkaa, kuten kuvasta 2 voidaan huomata. Suodatinhiukkaset siis nousivat suodattimessa riittävästi puhdistuakseen.



KUVA 2. Paisuntakoe vesi-ilmahuuhtelulla suodattimelta 3. Näytteenottoastiat oikealta vasemmalle 10 cm:n välein hiekkapatjasta ylöspäin (Väre 2018)

Elokuun 2018 paisuntamittaukset tehtiin suodattimille 4 ja 2. Tällöin huuhtelussa ei käytetty paineilmaa, vaan huuhtelu toteutettiin ainoastaan vesihuhteluna. Vesihuhtelun tarkoitus oli kuljettaa vesi-ilmahuuhtelussa irronneet epäpuhtaudet suodattimelta pois. Suodattimessa 2 huuhteluaikaa pidennettiin kaksinkertaiseksi. Huuhtelun jälkeen hiekkaa oli kahdessa alimmaisessa näytteenottoastiassa, kuten kuvasta 3 voidaan todeta. Tulos oli sama molemmissa suodattimissa.



KUVA 3. Paisuntakoe vesihuuhtelulla suodattimelta 2. Näytteenottoastiat oikealta vasemmalle 10 cm:n välein hiekkapatjasta ylöspäin (Väre 2018)

Paisuntaprosentti vesihuhtelun aikana suodattimessa 2 laskettiin kaavalla 5

$$\text{Paisunta \%} = \frac{20 \text{ cm}}{220 \text{ cm}} \cdot 100 \% = 9,091 \%$$

Suodattimen 4 paisuntaprosentiksi saatiin 9,524 %.

Vastavirtahuuhtelun virtaus oli 220 m³/h. Suodattimen poikkileikkauspinta-ala oli 7,1 m², joten vastavirtahuuhtelun nopeus voidaan laskea kaavalla 3

$$v = \frac{220 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{7,1 \text{ m}^2} = 30,986 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

Filtralite MC 1,5-2,5 suodatusmateriaalille on määritelty paisuntaprosentit huuhtelunopeuden mukaan. Paisuntaan vaikuttaa myös veden lämpötila (liite 6). Raakaveden lämpötila oli mittaushetkellä alle 10 °C. Suodattimet ovat kuitenkin kaksikerrossuodattimia, joissa on myös kvartsihiekkää, joten kaaviota voidaan pitää suuntaa antavana. Liitteen 6 kuvaajan perusteella huuhtelunopeuden pitäisi olla nykyistä huomattavasti suurempi, koska hiekallekin suositeltu vastavirtahuuhtelunopeus on keskimäärin 50 m/h.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Ilmastus

Ilmastuksen tehostamisella ei saatu pH-arvoa nousemaan. Tehostamisella ei ollut myöskään vaikutusta hiilidioksidipitoisuuteen. Ilmastusta käytetään myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden poistamiseksi. Vuonna 2018 laitoksen raakavedestä ja laitokselta lähtevästä vedestä mitattiin tri- ja tetraklooripitoisuuksia, joiden yhteenlaskettu pitoisuus saa olla talousvedessä enimmillään 10 µg/l (1352/2015). Lähtevä vesi on täyttänyt talousvedelle asetetun vaatimuksen, ja raakavedessäkin havaitut pitoisuudet ovat olleet matalat (taulukko 2). Tällä perusteella ilmastustornien tulo- ja poistoilmakoneita ohjaavien taa-juusmuuttajien asetusarvoa voitaisiin laskea ja siten saada laitoksen energiankulutusta pienennettyä.

Redox-potentiaali käyttäytyi mittausten aikana epätyypillisesti (taulukko 3). Ilmastuksen jälkeisissä näytteissä redox-potentiaalin olisi pitänyt olla suurempi, kuin raakavedessä. Prosessissa olevien redox-mittareiden toimintaa jatkossa tarkastellaan.

Alkalointi

Natriumhydroksidi otettiin käyttöön pohjavesilaitoksella 5. syyskuuta. Laitoksella oli valmis lipeäjärjestelmä, joka oli ollut käytössä jo aiemmin. Lipeän annostelu tapahtui automaattisesti asetetun pH-arvon 8,1 mukaisesti. Laboratoriomittausten perusteella, lipeän käytöllä päästiin haluttuun tulokseen. Lähtevän veden pH-arvo oli alkaloinnin jälkeen 7,9–8,0. pH-arvon nostoa varten natriumhydroksidia annosteltiin veteen keskimäärin 0,6 litraa tunnissa.

Alkaliteetti pysyi samalla tasolla kuin ennen lipeän käyttöönottoa. Redox-potentiaali laski 500 mV:iin, joka oli vielä tavoitteeksi asetetuissa rajoissa (taulukko 3). Lipeän seurauksena hiilidioksidipitoisuus laski hieman. Tämä saattaa vaikuttaa kalkki-hiilidioksiditasapainoon, jonka seurauksena kalkin saostumista saattaa tapahtua helpommin. Tämä voi vaikuttaa laitoksella mm. UV-desinfiointiin. Kalkkipitoisessa vedessä, pH-arvon ollessa lähellä kalkin saostumispistettä, voi lämmön nousu UV-lampussa aiheuttaa suojaputken pinnan likaantumista (Orava 2003, 13). Myös kuluttajilla kalkkia voi saostua lämpimässä vedessä helpommin.

Suodatus

Pohjavesilaitoksella helmikuussa 2018 käyttöön otettu esisuodatus paransi suodatetun veden laatua. Huuhtelun jälkeinen esisuodoksen poisto oli aikamääräinen, 450 s, jonka aikana suodattimen läpi virtasi n. 5 m³ vettä viemäriin. Tämän jälkeen suodatin jäi lepotiilaan, kunnes seuraava suodatin meni huuhtelutilaan. Sameus, joka hetkittäin havaittiin puhtaassa lähtevässä vedessä, aleni huomattavasti esisuodatuksen käyttöönoton jälkeen (kuvio 6). Esisuodosta analysoitaessa selvisi, että sameus johtuu veden sisältämästä raudasta, jota havaittiin esisuodatetussa vedessä enimmillään 0,28 mg/l. Mangaanipitoisuus oli 0,01 mg/l. Muista suodattimista poiketen, alhaiset rauta- ja mangaaniarvot esiintyivät vain suodattimessa 5. Syytä tähän ei saatu selville. Muissa suodattimissa rautapitoisuus ja sameus pysyivät esisuodatetussa vedessä korkeina, vaikka esisuodoksen määrä ja suodattimen huuteluvirtaama kaksinkertaistettiin (taulukko 4). Tästä voidaan päätellä, että suodattimessa olevat epäpuhtaudet eivät huuhtoutuneet huuhteluveden mukana suodattimesta viemäriin. Koska rautapitoisuus oli raakavedessä suhteellisen pieni, on suodattimissa havaittu rauta kertynyt sinne todennäköisesti vähitellen, koska huuhteluvaihe on ollut riittämätön. Myös suodatusmateriaali sisältää jonkin verran rautaa.

Suodattimilta 1 ja 3 otettiin näytteitä, kun ne huuhtelun jälkeen otettiin käyttöön. Rautapitoisuus ja sameus olivat suodatetussa vedessä koholla vielä 45 minuutin kuluttua suodatuksen aloittamisesta, jolloin vettä oli virrannut suodattimen läpi n. 30 m³ (taulukot 5 ja 6). Suodattimen hiekkapatjan tilavuus oli noin 15 m³ ja huokostilavuuden voidaan ajatella olevan tästä noin puolet, eli 7,5 m³ (Karttunen 2004, 395). Kokeellisesti saatiin osoitettua, että suodatinmateriaalissa olevan veden täytyy vaihtua neljä kertaa, ennen kuin puhdasta vettä suotautuu läpi. Jotta vedessä havaittu sameus ja rautapitoisuus voitaisiin välttää, esisuodatusaikaa ja näin ollen esisuodoksen tilavuutta tulisikin suurentaa, jotta sameutta aiheuttavaa rautasakkaa ei suodattimen käynnistyessä pääsisi alavesisäiliöön ja siitä edelleen verkostoon. Esisuodatetun veden tilavuus tulisi nostaa vähintään 20 m³:iin ja seurata muutoksia lähtevän veden sameudessa.

Paisuntamittaukset vahvistivat sen, että suodatinpatjan paisunta ei ollut vesihuuhtelussa riittävä, jolloin suodattimet eivät puhdistuneet toivotulla tavalla. Ilma-vesi huuhtelussa suodatinpatja nousi riittävästi, jolloin suodatinrakeet hieroutuivat toisiaan vasten ja epäpuhtaudet irtosivat. Vesihuuhtelun aikana epäpuhtauksien olisi pitänyt huuhtoutua huuhteluveden mukana viemäriin. Huuhteluvedestä otetuista näytteistä ei kuitenkaan havaittu

sameutta, rautaa eikä mangaania (liite 3). Huuhteluveden virtaama myös kaksinkertais-
tettiin, mutta sillä ei ollut toivottua vaikutusta. Suodatinpatjan paisunnan olisi pitänyt olla
vähintään 15 %, mieluummin enemmän (Karttunen 2004, 117). Paisunta jäi kuitenkin alle
10 %:iin. Vesihuuhtelussa huuhtelupumpun virtaamaksi oli asetettu 220 m³/h. Paisuntaa
olisi voinut kasvattaa, jos pumpun virtaamaa ja näin ollen huuhtelunopeutta olisi voitu
säätää suuremmaksi. Pumpun maksimitehoksi on ilmoitettu kuitenkin 175 m³/h (Flow-
serve), joten pumpun kapasiteetti oli käytössä. Tehokkaammalla pumpulla voitaisiin
saada paisuntaa kasvatettua, jolloin epäpuhtaudet saataisiin huuhteluveden mukana pois-
tettua suodattimesta. Paisuntaa saataisiin kasvatettua myös vaihtamalla käytössä oleva
Filtralite 1,5-2,5 pienempään raekokoon. Nykyisellä vastavirtahuuhtelulla Filtralite 0,8-
1,6:n paisunta olisi suurempi (liite 6), jolloin huuhtelussa irronneet epäpuhtaudet saatai-
siin huuhdeltua suodattimesta.

Opinnäytetyön perusteella, lähtevässä vedessä saattaa esiintyä hetkittäin korkeampia rau-
tapitoisuuksia. Veden väri, sameus ja rautapitoisuus voivat laitoksella heikentää UV-des-
infioinnin tehoa, koska rauta voi saostua UV-lampun suojaputken pintaan. (Isomäki ym.
2007, 33.) Myös jakeluverkossa, putkistoissa ja laitteissa saattaa esiintyä korroosiota.
Käyttöhaittana voi kuluttajilla esiintyä veden sameutta. (Karttunen ym. 2004, 347).

Tulosten perusteella suodattimien huuhteluväliä voidaan kuitenkin pidentää. Tällä het-
kellä huuhteluväli on 7000 m³ tai 264 h, joista virtaamakertymä täyttyy ensin. Kahdella
suodattimella testattiin pidennettyä huuhteluväliä, eikä kummassakaan huomattu, että
kiintoainetta pääsisi läpi suodatuksen loppuvaiheilla (taulukko 7). Suodattimessa 2 ha-
vaittiin hieman korkeampi pesäkeluku 9000 m³ kertymävirtaaman jälkeen. Tämä saattaa
johtua siitä, että näytteenotto tehtiin suodattimien tyhjennysputkista, joten putkea ei kä-
sitelty asianmukaisesti bakteerinäytteenottoa ajatellen.

LÄHTEET

- Endress and Houser. 2018. Technical Information Ceraliquid CPS42/CPS42D/CPS43. PDF-dokumentti. Luettu 2.11.2018. <https://portal.endress.com/wa001/dla/5000000/7811/000/00/TI373CEN.pdf>
- Filtralite. 2018a. Instructions and recommendations for Filtralite® Pure MC 1,5-2,5 mm. PDF-dokumentti. Luettu 31.10.2018. <https://www.filtralite.com/sites/default/files/pdfs/Instructions%20Filtralite%20Pure%20MC%201%2C5-2%2C5.pdf>
- Filtralite. 2018b. Instructions and recommendations for Filtralite® Pure MC 0,8-1,6 mm. PDF-dokumentti. Luettu 20.11.2018. <https://www.filtralite.com/sites/default/files/pdfs/Instructions%20Filtralite%20Pure%20MC%200%2C8-1%2C6.pdf>
- Flowserve pump division. 2011. MEN125-100-250L. Hydraulic Datasheet.
- Geologian tutkimuskeskus. 2018. Luettu 25.8.2018. <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/pohjavesi/>
- Inkinen, P. & Tuohi, J. 2002. Momentti: 1, Insinöörifysiikka. Helsingissä: Otava.
- Isomäki, E., Valve, M., Kivimäki, A-L. & Lahti, K. 2007. Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta. Suomen ympäristökeskus. Vammala: Vammalan kirjapaino OY.
- Jokihaara, J. & Takamaa, E. 2010. Toiminta- ja mitoituselostus. AIRIX Ympäristö FMC Group. Tampere.
- Karttunen, E. 1999. Vesihuoltotekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- Karttunen, E. 2003. Vesihuolto 1. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto.
- Karttunen, E., Tuhkanen, T. & Kiuru, H. 2004. Vesihuolto 2. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto.
- Koskinen, T., Jokihaara, J. & Toikkanen, E. 2016. Mitoitus- ja toimintaselostus. Vedentottamon muutokset. Ramboll. Espoo.
- Kousa, A., Backman, B., Komulainen, H., Hakkarainen, S. 2017. Kaivoveden mangaani KAIMA-projekti. Arkistoraportti 95/2016. Geologian tutkimuskeskus GTK.
- Meriluoto, J. 2002. Vesi- ja viemärilaitosyhdistys VVY. Kalkkikivialkalointi - Opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi. Helsinki: VVY.
- Orava, M. 2003. Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla. Vesitalous 1/2003, 13.
- Sallanko, J., Lakso, E., Röpelin, J. 2006. Iron behavior in the ozonation and filtration of groundwater. Ozone Science and Engineering. Vol 28.
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. 2015. 1352/2015.

Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus ja valvontavirasto. Valvira. 2018. Talousvesiasetuksen soveltamisohje. Osa III. Enimmäisarvojen perusteet. PDF-dokumentti. Luettu 2.11.2018. https://www.valvira.fi/documents/14444/6739502/Talousvesiasetuksen_soveltamisohje_osa_3.pdf/b9faedd0-cd83-fd94-09e2-452e7e7ee123

Tampereen Vesi. 2002a. Talousvesilaboratorio. Menetelmäohje nro 14. Versio 1. Sameuden määrittäminen.

Tampereen Vesi. 2002b. Talousvesilaboratorio. Menetelmäohje nro 21. Versio 1. Viljeltävien mikro-organismien lukumäärän laskeminen. Pesäkkeiden lukumäärä 22 °C ja 37 °C.

Tampereen Vesi. 2004a. Talousvesilaboratorio. Menetelmäohje nro 2. Versio 3. Veden raudan määrittäminen. Fotometrinen menetelmä.

Tampereen Vesi. 2004b. Talousvesilaboratorio. Menetelmäohje nro 3. Versio 2. Veden mangaanin määrittäminen. Fotometrinen menetelmä.

Tampereen Vesi. 2012. Talousvesilaboratorio. Menetelmäohje nro 19. Versio 2. Veden pH-arvon määrittäminen.

Tampereen Vesi. 2016a. Talousvesilaboratorio. Menetelmäohje nro 12. Versio 3. Veden hiilidioksidin määrittäminen.

Tampereen Vesi. 2016b. Talousvesilaboratorio. Menetelmäohje nro 9. Versio 3. Veden alkaliteetin määrittäminen. Potentiometrinen titraus.

Tampereen Vesi. 2017. Laitoskortit 2017. Pohjavesilaitos.

Tampereen Vesi. 2018a. Tampereen Veden vuosikertomus ja tilastotiedot 2017. PDF-dokumentti. Luettu 6.11.2018. https://www.tampere.fi/material/attachments/vesi/vesi/wJJoFN4IX/tampereenvesi_vuosikertomus_2017.pdf

Tampereen Vesi 2018b. Talousvesilaboratorio. Menetelmäohje nro 10. Versio 2. Orgaanisen hiilen kokonaismäärän (TOC) ja liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) määrittäminen.

Ympäristöhallinto. 2018. Luettu 25.8.2018. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/LounaisSuomen_vedet/Pohjavedet

LIITTEET

Liite 1. Analyysitulokset liittyen ilmastuksen optimointiin

Mittaustulokset (raaka):			Mittaustulokset ennen muutoksia ilmastuksen jälkeen:				Mittaustulokset lähtevästä vedestä:		
	klo 9.15	klo 9.25		klo 9.15	klo 9.25		klo 9.15	klo 9.25	
	18.7.2018	23.7.2018	35 Hz	18.7.2018	23.7.2018		18.7.2018	23.7.2018	
pH	6,3	6,3	pH	7,7	7,8	pH	7,7	7,8	
CO ₂ (mg/l)	56	55	CO ₂ (mg/l)	2,8	2,9	CO ₂ (mg/l)	2,8	3,0	
Alkaliteetti (mmol/l)	0,78	0,79	Alkaliteetti (mmol/l)	0,79	0,79	Alkaliteetti (mmol/l)	0,79	0,79	
Redox (mV)	524	523	Redox (mV)	435	436	Sameus (FTU)	0,06	0,08	
Sameus (FTU)	0,04	0,06	Sameus (FTU)	0,05	0,06	Mn(mg/l)	<0,01	<0,01	
Mn(mg/l)	<0,01	<0,01				Fe (mg/l)	<0,02	<0,02	
Fe (mg/l)	<0,02	<0,02							
Ilmastustornien täytekappaleiden kunnan tarkistus:			Kappaleet ehjiä, raudan peitossa, mutta eivät mitenkään tukossa (25.7.2018) ilmastustorni 2						
Mittaustulokset (raaka): 28.8.2018			Mittaustulokset muutosten jälkeen ilmastuksesta:				Mittaustulokset lähtevästä vedestä:		
	klo 9.30		44 Hz	klo 9.30		klo 9.30			
pH	6,4		pH	7,8		pH	7,8		
CO ₂ (mg/l)	55		CO ₂ (mg/l)	3,0		CO ₂ (mg/l)	2,8		
Alkaliteetti (mmol/l)	0,76		Alkaliteetti (mmol/l)	0,77		Alkaliteetti (mmol/l)	0,77		
Redox (mV)	524		Redox (mV)	434		Sameus (FTU)	0,05		
Sameus (FTU)	0,04		Sameus (FTU)	0,16		Liuottimet	todettu		
Mn (mg/l)	0,01					Mn(mg/l)	0,01		
Fe (mg/l)	<0,02					Fe (mg/l)	<0,02		

Liite 2. Analyysitulokset liittyen lipeän käyttöönottoon

Ennen lipeälisäystä	21.8.2018		
	Raakavesi	Puhdasvesi	ilmastus
pH	6,3	7,8	7,8
alkaliteetti (mmol/l)	0,76	0,77	0,76
redox (prosessi)	522		
redox ennen lipeän syöttöä	434		
redox lipeän jälkeen	532		
Ennen lipeälisäystä	28.8.2018		
	Raakavesi	Puhdasvesi	ilmastus
pH	6,4	7,8	7,8
alkaliteetti (mmol/l)	0,76	0,77	0,77
redox, prosessi (mV)	523		
redox ennen lipeän syöttöä	434		
redox lipeän jälkeen	531		
Lipeälisäys otettu käyttöön	5.9.2018		
	19.9.2018		
	Raakavesi	Puhdasvesi	ilmastus
pH	6,3	7,9	7,7
alkaliteetti (mmol/l)	0,79	0,80	0,78
redox, prosessi (mV)	527		
redox ennen lipeän syöttöä	434		
redox lipeän jälkeen	500		
	25.9.2018		
	Raakavesi	Puhdasvesi	ilmastus
pH	6,3	7,9	7,9
alkaliteetti (mmol/l)	0,78	0,81	0,79
redox, prosessi (mV)	527		

Liite 4. Analyysitulokset suodattimilta käynnistyksen jälkeen

Esikokeet	17.9.2018	12.9.2018		
	S2 päälle	S4 päälle (n 5 m3 virrannut)		
pH	7,9	8,0		
TOC (mg/l)	0,79	0,83		
Fe (mg/l)	0,12	0,19		
Mn (mg/l)	<0,01	0,01		
Sameus (FTU)	0,28	0,40		
Suodatin 1	Mittaus 18.9.2018			
	heti (n. 2m3)	15 min (n.12 m3)	30 min (n.20 m3)	
pH	8,0	7,8	8,0	
TOC (mg/l)	0,85	1,0	0,92	
Fe (mg/l)	0,20	0,19	0,20	
Mn (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	
Sameus (FTU)	0,44	0,48	0,45	
Suodatin 3	Mittaus 21.9.2018			
	heti (n. 5m3)	15 min (n.11 m3)	30 min (n.21 m3)	45 min (n.31 m3)
pH	7,8	7,9	8,0	8,0
TOC (mg/l)	0,79	0,80	0,84	0,83
Fe (mg/l)	0,10	0,17	0,17	0,13
Mn (mg/l)	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
Sameus (FTU)	0,24	0,38	0,37	0,27

Liite 5. Analyysitulokset suodattimien pidennetyistä huuhteluväleistä

Näytteet otettu suodattimelta ennen pesua			
Suodatin 2			
	Mittaus 1 (30.7.18, suod. 2)	Mittaus 2 (23.8.18, suod. 2)	Mittaus 3 (18.10.18, suod.2)
pH	7,7	7,8	7,9
TOC (mg/l)	0,70	0,80	0,84
Fe (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02
Mn (mg/l)	0,01	<0,01	<0,01
Sameus (FTU)	0,08	0,05	0,05
Pesäkeluku 22 °C	3	25	8
Pesäkeluku 37 °C	0	0	0
Suodatinvastus %	44	44	43
Virtaus ennen pesua (m ³)	7000	9020	11200
Suodatin 5			
	Mittaus 2 (30.7.18, suod. 5)	Mittaus 2 (27.8.18, suod. 5)	
pH	7,8	7,8	
TOC (mg/l)	0,80	0,79	
Fe (mg/l)	<0,02	<0,02	
Mn (mg/l)	<0,01	0,01	
Sameus (FTU)	0,04	0,05	
Pesäkeluku 22 °C	7	0	
Pesäkeluku 37 °C	0	0	
Suodatinvastus %	36	36	
Virtaus ennen pesua (m ³)	7000	9070	

Liite 6. Filtralite vastavirtahuuhtelukaaviot (Filtralite 2018a, 2018b)

