



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Camilla Inkeroinen

Talousveden valmistus prosessive- destä pintavesilaitoksella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

23.03.2020

Tekijä Otsikko	Camilla Inkeroinen Talousveden valmistus prosessivedestä pintavesilaitoksella
Sivumäärä Aika	36 sivua + 2 liitettä 23.3.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Kemiantekniikka
Ohjaajat	laitosinsinööri Jussi Mikkola lehtori Timo Seuranen
<p>Insinööriyössä tarkasteltiin yhteistyöyrityksen vesilaitoksen valmiutta tuottaa talousvettä. Normaalitylanteessa alueen talousvesi ostetaan kunnalliselta talousvedentuottajalta ja saannin estyessä yhteistyöyrityksen vesilaitos toimii varalaitoksena. Tavoitteena oli tuoda esiin puutteita talousveden saannin varmentamisessa ja esittää mahdollisia toteutettavissa olevia kehitysehdotuksia. Insinööriyön yhteistyöyritys on kemianalan yritys, jonka vastuulla on teollisuusalueensa talousvedenjakeluverkosto.</p> <p>Insinööriyössä määritettiin yhteistyöyrityksen vesilaitosta koskevat Suomen talousvesilainsäädännön asettamat velvoitteet. Määrityksen pohjalta tarkasteltiin yhteistyöyrityksen toimien riittävyyttä täyttämään velvoitteet. Tarkasteluun otettiin se, kuinka hyvin yhteistyöyrityksen sisäiset ohjeet ja materiaalit vastaavat käytännön talousveden tuotantoprosessia. Yhteistyöyrityksen pintavesilaitoksen prosessiveden ja talousveden valmistusprosesseja verrattiin pintavesilaitoksen BAT (Best Available Technologies) -standardiin. Vertaamisessa keskityttiin prosessivaiheiden puhdistustehokkuuteen ja lopulliseen veden laatuun.</p> <p>Insinööriyössä tarkasteltiin, pystytäänkö prosessivettä käyttämään suoraan talousvetenä ilman ylimääräistä käsittelyä. Tarkastelu tehtiin vertaamalla prosessiveden ja kunnallisen talousveden yhteistyöyrityksen sisäisen omavalvonnan tuloksia viimeiseltä kolmen vuoden ajalta. Tarkastelulle relevanteista ominaisuuksista tehtiin erillinen näytesarja, jos saatavilla ei ollut vertailukelpoisia omavalvontatuloksia. Saatuja tuloksia verrattiin toisiinsa ja talousvesilainsäädännön asettamiin laatuvaatimuksiin ja laatusuosituksiin. Käytöstä poistettujen prosessilaitteistojen, jotka mahdollistavat prosessiveden lisäpuhdistuksen, käytettävyyttä tarkasteltiin materiaalien pohjalta. Prosessilaitteisto koostuu aktiivihiihiisuodattimista ja kalkkikivisuodattimesta.</p> <p>Vesilaitoksen todettiin pystyvän varmistamaan talousveden saatavuuden alueella pienillä muutoksilla. Yhteistyöyritys täyttää talousvesilain asettamat velvollisuudet. Insinööriyön alussa asetetut tavoitteet saavutettiin ja mahdolliset toteutettavat kehitysehdotukset saatiin esitettyä.</p>	
Avainsanat	talousvesi, pintavesilaitos, prosessivesi, aktiivihiihiisuodatus

Author Title	Camilla Inkeroinen Drinking Water Production From Process Water in a Surface Water Treatment Plant
Number of Pages Date	36 pages + 2 appendices 23 March 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and chemical engineering
Professional Major	Chemical engineering
Instructors	Jussi Mikkola, Plant Engineer Timo Seuranen, Principal Lecturer
<p>This thesis scrutinizes the company's water treatment plant's functionality to produce drinking water if access to municipal drinking water is disconnected. In normal function the area's drinking water is bought from municipal waterworks. The aim of the thesis was to determine weaknesses in verifying drinking water availability for the area and make suggestions for possible improvements. This thesis was made in collaboration with a company from chemical industry. The company is responsible for the mains water pipe in the industrial area where its factory is located.</p> <p>In this thesis obligations set by the Finnish drinking water legislation regarding the company's water treatment plant's functions were defined. The definition was used to assess the adequacy of company's operations to meet these obligations. Company's internal guidelines and materials of drinking water production were inspected for divergences from applied practices. Process water and drinking water processes were compared to standards of surface water treatment BAT (Best Available Technologies). The focus of this comparison was on the effectiveness of process stages and final water quality.</p> <p>The possibility of using process water without extra treatment was examined. The quality of process water was compared to that of municipal drinking water using internal monitoring results. A sample series was made for properties that are relevant for comparison but missing from the monitoring results. The results from the sample series were compared to the quality requirements and recommendations set by the legislation. Process equipment for drinking water production from process water were examined for their usability. Process equipment consist of activated carbon filtration and limestone filtration.</p> <p>The company's water treatment plant was found to be capable of producing drinking water for the area's needs if small changes are made. Company meets all the obligations set by the Finnish legislation. Objectives set for the thesis were achieved, and feasible development proposals were made.</p>	
Keywords	drinking water, surface water treatment plant, process water, activated carbon filtration

Sisällys

Alkusanat

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lainsäädäntö ja velvoitteet	2
2.1	Suomen talousvesilainsäädäntö	2
2.2	Laatuvaatimukset ja valvontaohjelmat	3
2.3	Teollisen toimijan velvollisuudet	4
3	Talousveden valmistusteknologiat	5
3.1	Talousveden valmistuksen BAT	5
3.2	Raakaveden otto	6
3.3	Saostus	7
3.4	Selkeytys	8
3.5	Suodatus	9
3.6	Desinfiointi	10
3.7	Aktiivihiihisiuodatus	11
3.8	Loppukäsittely	12
4	Teollisuusalueen vesilaitos	12
4.1	Prosessi	13
4.1.1	Raakaveden otto	13
4.1.2	Prosessiveden valmistus	14
4.1.3	Talousveden valmistusmahdollisuudet prosessivedestä	15
4.1.4	Normaalitoiminta ja prosessiveden käyttö talousvetenä	16
4.2	Operatiivinen historia	17
4.3	Käyttöohjeistus	18
4.4	Vesilaitoksen valvontatutkimusohjelma	19
5	Prosessiveden ja kunnallisen talousveden laatu	20
5.1	Prosessiveden ja talousveden omavalvonta ja tulokset	20

5.2	Näytesarja	22
5.3	Näytesarjan tulokset	23
6	Talousveden valmistus vesilaitoksella	26
6.1	Käyttöönotto	26
6.2	Laitteiston toimivuus ja kapasiteetti	27
6.3	Tulokset	28
7	Tulosten arviointi	28
7.1	Lain asettamien velvoitteiden täytyminen	29
7.2	Prosessiveden käyttö suoraan talousvetenä	30
7.2.1	Prosessiveden riittävyys ja käyttö talousvetenä	30
7.2.2	Omavalvonnan tulosten merkitys	31
7.2.3	Näytesarjan tulosten merkitys	32
7.3	Aktiivihiihisiuodattimet ja kalkkikivisuodatin	33
8	Yhteenveto	34
	Lähteet	36
	Liitteet	
	Liite 1. Talousveden laatuvaatimukset ja -suositukset	
	Liite 2. Prosessiveden omavalvontatulokset	

Alkusanat

Haluan kiittää Jussi Mikkolaa loistavasta ohjauksesta, neuvoista ja armottomasta punakynästä. Lehtori Timo Seurasta en halua kiittää pelkästään opinnäytetyön ohjaamisesta, vaan myös opetuksesta ja tuesta, mikä on mahdollistanut tämän opinnäytetyön tekemisen.

Kiitokset myös vesilaitoksen henkilökunnalle, jotka jaksoivat vastata kysymyksiini ja avustamaan materiaalien läpi käymisessä. Erityiskiitokset haluan antaa vesilaboratorion henkilökunnalle, jotka lähtivät innokkaasti opastamaan ja auttamaan laboratorio-osuudessa omista kiireistä huolimatta.

Kiitän perhettäni tuesta, ymmärryksestä ja insinööriyön oikolukemisesta.

Camilla Inkeroinen 23.3.2020

Lyhenteet

BAT	Best Available Technology. Paras käytettävissä oleva tekniikka, joka minimoi laitoksen ympäristövaikutuksia.
EBCT	Empty Bed Contact Time. Käsiteltävän veden viipymäaika kiintopetiaktiivihiihisiuodattimessa [h]
TOC	Total Organic Carbon. Orgaaninen kokonaishiili. TOC-arvo edustaa orgaanisiin yhdisteisiin sitoutuneen hiilenmäärää ja sitä käytetään veden laadun indikaattorina.

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on selvittää, miten yhteistyöyrityksen nykyinen vesilaitos on kykenevä varmistamaan talousveden saannin yrityksen jakelualueella. Pääsääntöisesti työssä tarkastellaan yhteistyöyrityksen vesilaitoksen nykyisen laitteiston kykyä valmistaa talousvettä. Tarkastelu tehdään Suomen talousvettä koskevan lainsäädännön ja laitos-tekniikan näkökulmista keskittyen saadun talousveden laatuun. Insinööriyössä teollisella toimijalla tarkoitetaan yhteistyöyritystä. Kunnallisella talousveden tuottajalla tarkoitetaan talousveden tuottajaa, jolta yhteistyöyritys ostaa valmiin talousveden teollisuusalueelle. Teollisuusalueella viitataan kemianteollisuusalueeseen, joka kuuluu yrityksen talousveden jakelualueeseen ja jolla yrityksen vesilaitos sijaitsee.

Insinööriyössä esitellään talousveden valmistusta ja jakelua koskeva Suomen lainsäädäntö ja asetukset. Esittelyssä keskitytään siihen, kuinka ne vaikuttavat yrityksen vesilaitoksen kokoiseen talousvesitoimijaan ja mitä velvoitteita laki asettaa yritykselle. Insinööriyössä tarkastellaan yrityksen toimia ja niiden riittävyttä täyttää lain asettamat velvoitteet. Tarkastelun alueina on veden laatuvaatimusten täytyminen, poikkeustilannesuunnitelmat ja valvontaohjelmat.

Insinööriyössä määritetään parhaita käyttökelpoisia pintavesilaitoksen vedenkäsittelytekniikoita talousveden valmistukseen ja verrataan vesilaitoksen nykyiseen talousveden valmistusprosessiin. Vertailu tehdään erityisesti prosessivaiheista saadun veden laatua tarkkaillen. Prosessiveden laatua verrataan kunnallisen talousveden tuottajan talousvedeen. Vertailu suoritetaan yrityksen omavalvonnan ja insinööriyön aikana tehtävän näytesarjan tuloksista. Näytesarja tehdään, koska omavalvonta ei kata kaikkia vesien laatuominaisuuksia, jotka ovat oleellisia tarkasteluun. Vertailusta muodostetaan johtopäätökset prosessiveden kelpoisuudesta toimia suoraan talousvetenä ilman ylimääräistä käsittelyä. Insinööriyössä tarkastellaan käytännössä, kuinka prosessivesilinjasta jaetaan talousvesilinjaan tilanteessa, jossa prosessivettä käytetään suoraan talousvetenä.

Vesilaitoksen talousveden tuotantolaitteistosta keskitytään vesilaitoksen, vuonna 2004 pois käytöstä otettuihin, aktiivihillisuodattimiin. Aktiivihillisuodattimia käytettiin omavalmistamisen talousveden valmistamiseen prosessivedestä. Insinööriyössä tarkastellaan

aktiivihiihliisuodattimia koskevia ohjeita, prosessikuvauksia ja teoreettista tuottoa. Tarkastelun perusteella vedetään johtopäätös aktiivihiihliisuodattimien käytettävyydestä ja välttämättömyydestä talousveden valmistukseen prosessivedestä. Insinööriyössä tarkastellaan myös vesilaitoksen kalkkikivisuodattimen hyötyä talousveden valmistusprosessille ja mitä toimia suodattimen käyttöönottoon tarvitaan.

2 Lainsäädäntö ja veloitteet

Tässä luvussa esitellään talousveden valmistusta ja jakelua koskevat Suomen lait ja asetukset koskien teollista talousveden tuottajaa. Luvussa käydään läpi yleiset talousveden laatuvaatimukset, valvontaohjelmat sekä kunnallisen ja teollisen toimijan vastuualueet. Luvussa käsitellään myös, miten teollinen toimija on varmentanut veloitteiden täyttymisen.

2.1 Suomen talousvesilainsäädäntö

Suomen juomavettä koskevat asetukset on annettu Suomen terveydensuojelulain (763/1994) ja säteilylain (592/1991) nojalla. Asetusten sisältö perustuu EU:n neuvoston direktiiviin (98/83/EY) ihmisten käyttöön tarkoitetun veden laadusta, eli juomavesidirektiiviin. Direktiivi on viimeksi päivitetty EU:n komission asetuksella 2015/1787. Direktiivin tarkoitus on määrittää ihmisten käyttöön tarkoitetun veden laatuvaatimukset EU-alueella. [Neuvoston direktiivi ihmisten käyttöön tarkoitetun veden laadusta 1998.]

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (1352/2015), eli talousvesiasetus, määrittelee juomaveden valmistukseen ja jakeluun vaikuttavat vaatimukset. Asetus koskee kaikkia toimijoita, jotka tuottavat tai jakavat talousvettä yli 10 m³ päivässä tai yli 50 henkilön tarpeisiin. Talousvesiasetus saanelee toimijalle laatuvaatimusten, riittävän valvonnan, riskiarvion ja poikkeustilanteisiin tarkoitetun toimintasuunnitelman kriteerit. [Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 2015]

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousvettä toimittavassa laitoksessa työskentelevältä vaadittavasta laitosteknisestä ja talousvesihygienisestä osaamisesta ja osaamisen testaamisesta (1351/2006) määrittää, mitä osaamista talousvettä tuottavan tai jakavan laitoksen työntekijöillä on oltava. Asetus 1351/2006 koskee kaikkia talousvesitoimijoita, jotka ovat talousvesiasetuksen piirissä. Asetus velvoittaa talousvesitoimijan järjestämään talousvesihygienian osaamiskoulutuksen. Asetuksen mukaan talousvesitoimijan on myös pidettävä kirjaa työntekijöiden osaamisesta ja tarvittaessa todistettava työntekijöiden osaaminen viranomaisille. Säteilylain 859/2018 pykälän 154 § nojalla talousvesitoimijan on myös varmistettava talousvedestä johtuvan säteilyaltistumisen rajoittaminen puhdistamalla raakavesi, esimerkiksi Suomen maaperän radioaktiivisesta radonista.

Talousvesiasetuksen ja muiden talousvettä koskevien asetusten toimeenpanoa valvoo ja ohjaa sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, Valvira. Valvira ylläpitää talousvesiasetuksen soveltamisohjeita ja erittelee laatuvaatimusten enimmäisarvojen perusteet kaikille saatavissa julkaisuissaan. Valviran kanssa yhdessä toimivat kunnan terveysviranomaiset, jotka valvovat kunnan alueella käytetyn talousveden laatua. Häiriötilanteessa, jossa tuotetusta vedestä voi olla haittaa ihmisille terveysviranomaiset yhdessä talousvesitoimijan tai veden käyttäjän kanssa selvittävät, mistä häiriö johtuu ja määräävät vastuussa olevan tahon korjaamaan tilanteen. [Talousvesiasetuksen soveltamisohje Osa 1 2018.]

2.2 Laatuvaatimukset ja valvontaohjelmat

Talousvesiasetuksen (1352/2015) mukaan talousvedessä ei saa esiintyä pieneliöitä tai mitään aineita pitoisuuksina, jotka voivat aiheuttaa ihmisen terveydelle haittaa. Talousvesi ei myöskään saa vahingoittaa kiinteistöjen vesilaitteistoja, vedenkäyttölaitteita tai jakeluverkostoa saostumalla putkien seinämille tai syövyttämällä putkistoa. Talousvesiasetuksessa on määritelty talousveden laatuvaatimukset ja laatusuositukset. Laatuvaatimusten tulee olla saavutettu veden tullessa käyttäjille esimerkiksi hanasta tai tankista. Laatuvaatimukset ovat ehdottomia ja ne talousvesitoimijan on täytettävä pystyäkseen toimimaan. Jos laatuvaatimukset eivät täyty, asetetaan vesi heti käyttökieltoon ja riippuen tahallisuudesta, toimijalle asetetaan sanktioita. Sanktioiden raskaus vaihtelee huomautuksista sakkoihin ja toimintaluvan perumiseen. Laatusuositukset eivät ole yhtä eh-

dottomia, koska niiden ylittäminen ei aiheuta välitöntä haittaa ihmisille. [Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 2015.] Erilliset talousvesiasetuksen asettamat ainekohtaiset laatuvaatimukset ja laatusuosituksset on esitetty liitteessä 1.

Talousveden laadun varmistamiseksi kunnan terveydensuojeluviranomaiset laativat valvontaohjelman yhdessä toimijan kanssa. Valvontaohjelman laajuus riippuu jaetun talousveden käyttökohteesta sekä käyttäjä- ja vesimäärästä. Laajuudella tarkoitetaan kerättävien näytteiden määrää vuodessa ja sitä, mitä näytteistä tutkitaan. Valvontaohjelma sisältää talousveden tuottajan ja jakajan omavalvontaohjelman sekä viranomaisten toimesta suoritetun valvonnan. [Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 2015.]

Talousvesiasetuksen (1352/2015) mukaan toimijan on laadittava talousveden valmistusta ja jakamista koskevat riskiarviot ja häiriötilannesuunnitelmat, jotka viranomainen hyväksyy riittävän kattaviksi. Riskiarvion tulee käsitellä mahdolliset talousveden saastumiseen ja jakelun estymisen riskit. Riskiarviossa esitetään viranomaisille myös riskien minimointiin tähtäävät toimet ja häiriötilannesuunnitelman. Häiriötilannesuunnitelmat kertovat, kuinka riskitilanteen sattuessa toimitaan, kenelle ilmoitetaan asiasta ja miten häiriötilannetutkiminta suoritetaan. [Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 2015.]

2.3 Teollisen toimijan velvollisuudet

Teollisuusalueen vesilaitos jakaa päivässä vettä 3 000–4 000 käyttäjän tarpeisiin. Tämä asettaa teollisuusalueen vesilaitoksen talousvettä koskevien lakien piiriin. Normaali-toiminnassa toimijan käyttämä ja jakama talousvesi ostetaan valmiina kunnan vesilaitok-selta, jolloin kunnallinen talousveden tuottaja on vastuussa laitokselle tulevan talousve-den laadusta. Toimija omistaa teollisuusalueen talousvesiverkoston ja on näin vastuussa sen kunnosta ja hygieniasta. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.]

Toimija on velvollinen järjestämään koulutusta vesilaitostyöntekijöilleen, jotta talousve-den hygieniaosaamisen kriteerit (1351/2006) täyttyvät. Koulutus on pakollinen niin vaki-tuisille työntekijöille kuin osa-aikaisille, ja toimijan on esitettävä todisteet osaamisesta

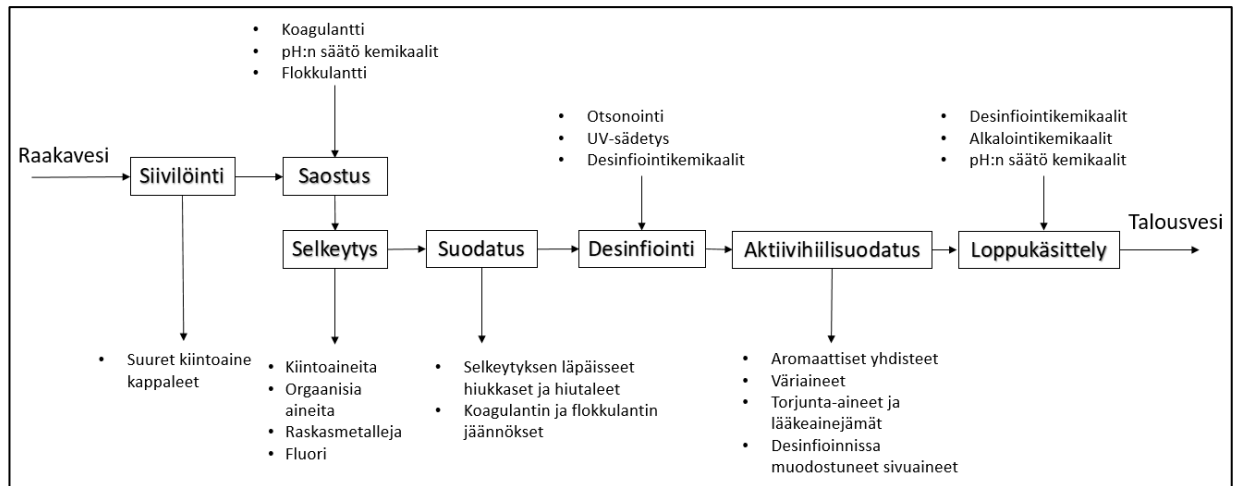
viranomaisten pyynnöstä. Toimija on veloitettu ylläpitämään toimintasuunnitelmaa häiriötilanteiden varalta ja informoimaan veden käyttäjiä ja viranomaisia poikkeamista. Jos talusvesiverkoston vedessä esiintyy laadullisia ongelmia, on toimijalla velvollisuus tiedottaa terveysviranomaisia ja alueen veden käyttäjiä. Toimijan on estettävä häiriön seuraamusten leviäminen häiriön havaitsemisen jälkeen. Yhdessä kunnan terveysviranomaisten kanssa toimijan on selvitettävä mahdollisen saastumisen syyt ja kuinka vastaava voitaisiin tulevaisuudessa estää. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.]

3 Talusveden valmistusteknologiat

Tässä luvussa käsitellään Suomen talusvedenvalmistuksen BAT (Best Available Technology) -standardit ja esitellään tyypilliset Suomessa käytössä olevat talusveden valmistusprosessit. Esiteltävät prosessit on valittu, koska ne täyttävät Suomen BAT-standardit. Yksikköprosessit on esitelty näiden tyypillisessä käyttöjärjestyksessä talusveden valmistuksessa.

3.1 Talusveden valmistuksen BAT

BAT-standardi kertoo, mikä prosessi on tehokkain erottamaan mitään epäpuhtautta käsiteltävästä vedestä [Water-M project 2017]. EU:n talusveden valmistuksen BAT-standardia ei ole erikseen määritelty. Unified Intelligent Water Management (Water-M) (2014–2017) -projekti tuotti sivutuotteena Suomen juomaveden valmistukselle BAT-standardit [Tutkimus ja kehittäminen, Unified Intelligent WATER Management (Water-M) 2018]. Water-M oli monialainen projekti, jossa kehitettiin Suomen vedenkäsittelyteollisuudelle yhtenäistä online-mittaus ja datanhallinta pakettia, yhdessä yliopistojen, yritysten ja vesilaitostoimijoiden kanssa. [Water-M project 2017.] Tässä raportissa vedenkäsittelyn prosessivaihtoehtoja käsitellään Water-M -projektin esittämien BAT-standardien kautta. Kuvassa 1 on esitetty yksinkertaistettu pintaveden puhdistusprosessi, jonka yksityiskohdat esitellään alaluvuissa 3.2–3.8.



Kuva 1. Yksinkertainen BAT-standardit täyttävä pintaveden puhdistusprosessi talousveden valmistuksessa

BAT-standardilla prosessivalinta ottaa huomioon tehokkuuden ja toteutettavuuden lisäksi ympäristönsuojeluvaatimukset [Water-M project 2017]. Prosessivalinta viimeistellään raakaveden laadun ja siinä esiintyvien epäpuhtauksien mukaan mahdollisimman tehokkaaksi. Prosessivalinnassa on myös otettava huomioon raakaveden laadun muuttuminen vuodenajan ja säiden mukaan. Erityisen alttiita kausiriippuvaisille muutoksille ovat pintavedet. Esimerkiksi rankkasade voi muuttaa pintaveden lämpötilaa, pH:ta ja alkalisuutta hetkessä. Vedenkäsittelylaitoksen on pystyttävä vastaamaan näihin muutoksiin puhdistustuloksen varmistamiseksi. [Trussell ym. 2012: s. 13–14.]

3.2 Raakaveden otto

Suomessa talousveden tuotantoon käytetystä raakavedestä 43 % on pohjavettä, 38 % pintavettä ja loput tekopohjavettä. Talousvettä pystytään myös valmistamaan merivedestä käänteisosmoosilla ja puhdistetusta jätevedestä puhdistusprosessia jatkamalla, mutta näitä ei käytetä yleisesti raakavesilähteenä Suomessa. [Zacheus 2015.] Teollisen toimijan itse valmistaman talousveden raakavetenä toimii joesta pumpattu pintavesi [Laitoksen toimintaohje 2020]. Selkeyden vuoksi raportissa tarkastellaan pintavesilaitoksen BAT-standardia ja yleisimpiä vedenpuhdistusteknologioita Suomessa.

Yleisimmät pintavesien epäpuhtaudet ovat kiintoaineet, orgaaniset yhdisteet, liuenneet maaperän metallit ja mikrobiologiset epäpuhtaudet. Pintavedet saattavat myös sisältää muita veden laatua huonontavia epäpuhtauksia, kuten esimerkiksi maataloudesta lannoitteita, teollisuuden ohivuotoja, liikenteen saasteita sekä torjunta- ja lääkeainejäämiä. Maatalouden lannoitteet tuovat veteen ylimääräisiä fosfori- ja typpiyhdisteitä. Teollisuuden ohivuodot ja liikenteen saasteet voivat sisältää öljyä ja raskasmetalleja. [Laitinen ym. 2014.] Yleisiä kiintoaineita ovat esimerkiksi hiekka ja muut liukenemattomat materiaalit, kuten siitepöly ja levät. Orgaanisia yhdisteitä ovat humukset, humushapot ja biopolymeerit, jotka ovat veden värjääviä kasvi- ja eläinperäisten materiaalien hajoamistuotteita. Yleisiä liuenneita maaperän metalleja Suomen vesistöissä ovat rauta ja mangaani. Mikrobiologiset epäpuhtauksia ovat bakteerit, virukset ja muut pieneliöt. [Water-M project 2017.]

Ennen pumppaamista talousvesilaitokselle pintavesi kuljetetaan yleisesti rutilöiden ja sihtien läpi. Rutilät ja sihdit siivilöivät suuret kiintoainekappaleet pois raakavedestä ennen pumppausta vesilaitokselle. Suuria kiintoaineita ovat esimerkiksi eläimet, vesikasvit, oksat ja muut raakaveden päätyneet kappaleet. Suuret kappaleet hankaloittavat veden virtaamista putkistossa ja häiritsevät veden käsittelyä. [Trussell ym. 2012: s. 14.]

3.3 Saostus

Saostuksessa vedestä erotetaan epäpuhtauksia muodostamalla kiintoaineita nestefaasissa saostuskemikaalien avulla [Trussell ym. 2012: s.141; Bratby 2016: s.6]. Saostus toimii erityisen hyvin kiintoaineeseen, liuenneisiin raskasmetalleihin, orgaanisiin yhdisteisiin ja raakaveden liuenneeseen fluoriin. [Water-M project 2017.] Saostuksessa muodostuneet hiutaleet poistavat raakavedestä myös reagoimattomia partikkeleita ja hiukasia selkeytyksen aikana. Saostus käsitetään usein virheellisesti yhdeksi prosessiksi, mutta oikeasti se muodostuu kahdesta osaprosessista, koagulaatiosta ja flokkulaatiosta. [Trussell ym. 2012: s.141; Bratby 2016: s. 5].

Koagulaatiossa koagulanttia, esimerkiksi ferrikloridia tai alumiinisulfaattia, sekoitetaan raakaveden muodostamaan positiivisesti varautuneita hydroksideja. Koagulantti muuttaa partikkeleiden pintavarausta ja saa ne kerääntymään yhteen suuremmiksi hiukkasiksi. Koagulantin sekoittaminen perusteellisesti koko vesipatsaaseen on tärkeää, jotta

mahdollisimman monen partikkelin varaus muuttuisi. Sekoittaminen kasvattaa myös törmäysten määrää varautuneiden partikkeleiden välillä ja nopeuttaa suurempien hiukkasten muodostumista. [Bratby 2016: s. 34–37.]

Veden pH:lla on suuri merkitys koagulantin toimintaan. Esimerkiksi ferrisulfaatin ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) toiminnalle välttämätön pH alue on 4–11, mutta pH:n ollessa alhainen saostuu tehokkaasti orgaanisia aineita, erityisesti humusta ja humushappoa. pH:n taas ollessa korkea saostuu raskasmetalleja, rautaa, mangaania ja veden kovuuksia kasvattavia suoloja. Veden pH vaikuttaa liukenevan koagulantin ionien muotoon ja siihen minkä partikkeleiden kanssa koagulantti reagoi vedessä. Muutokset raakaveden pH:ssa häiritsevät koagulaatioprosessia, ja usein raakaveden pH säädetään kemikaaleilla halutuksi ennen koagulaatiota. [Bratby 2016: s. 34–37.] Saostuskemikaalit laskevat yleisesti käsiteltävän raakaveden pH:ta. [Lahti ym. 2011: s. 41].

Flokkauksessa koagulaatiossa muodostuneet hiukkaset hämmennetään yhteen hiutaleiksi ja edelleen suuremmaksi massaksi, flokiksi. Flokkulantit, joita käytetään flokkauksen tehostamiseen, ovat varautuneita, usein polyakryyliamidi-pohjaisia, polymeerejä. Flokkulantit nopeuttavat hiutaleiden muodostumista ja tekevät hiutaleista vahvempia, jolloin flokki pysyy kasassa suuremmissakin virtausnopeuksissa. Riippuen muodostuneen flokin määrästä flokki pystytään keräämään pois selkeytyksellä tai suodatuksella. [Bratby 2016: s.5-8.]

3.4 Selkeytys

Selkeytyksen tarkoitus on poistaa mahdollisimman paljon saostuksessa muodostunutta flokkia vedestä ennen suodatusta. Suuri flokin määrä tukkii suodattimen huokokset nopeasti lyhentäen suodattimen toiminta-aikaa. Selkeytyksessä flokki poistetaan joko sedimentaatiolla tai flotaatiolla. Sedimentaatiota käytetään myös esiselkeytyksenä ennen saostusta, jos raakavesi sisältää erityisen paljon kiintoainetta. [Trussell ym. 2012: s. 193–195.]

Sedimentaatioissa saostuksessa muodostuneiden hiukkasten annetaan laskeutua selkeytykseltään pohjalle painovoiman vaikutuksesta. Yksinkertainen selkeytysallas on avoin, suuri ja veden viipymäaika altaassa on pitkä. Sedimentaatio erottaa suhteellisen

nopeasti tiheitä ja painavia partikkeleita, esimerkiksi kiintoaineita, mineraaleja ja metalleja, mutta kevyiden orgaanisten partikkeleiden erotus painovoimalla voi viedä kuukausia. Laskeutuvat materiaalit muodostavat altaan pohjalle liejunkerroksen, joka kerätään pois mekaanisen kaapimen avulla ja poistetaan altaasta. [Trussell ym. 2012: s. 193–195.]

Flotaatiossa selkeytsaltaaseen syötetään ilmakuplia, jotka nostavat saostuksessa muodostuneet hiutaleet ja muut partikkelit selkeytsaltaan pinnalle vaahtona. Muodostunut vaahto kerätään altaan pinnalta, ja käsitelty vesi jatkaa matkaansa altaan pohjalla. Floataation erotus perustuu tiheyseroihin ympäröivään veden ja ilmakuplaan tarttuneen hiukkasen välillä. Flotaatio on tehokas erottamaan vedestä öljyjä ja kevyitä partikkeleita. Floataatioaltaassa veden viipymäaika on huomattavasti lyhyempi ja allas vie vähemmän fyysistä tilaa kuin sedimentaatiossa. [Shammas & Bennet 2010.]

3.5 Suodatus

Suodatusta käytetään poistamaan selkeytyksen läpäisseitä partikkeleita. Suodatus perustuu partikkeleiden siivilöitymiseen vesivirran kulkiessa huokoisen suodatusväliaineen läpi. Huokosten koko vaikuttaa, kuinka pieniä partikkeleita suodatus poistaa vedestä. Suodattimien huokokset tukkiutuvat partikkeleista käytön aikana ja paine-ero tulopuolen ja menopuolen välillä kasvaa. Paine-eron kasvaessa suodattimen käyttöteho laskee. Suodatinväliaine pystytään pesemään vastavirtahuuhtelulla, jossa ilmaa tai puhdasta vettä syötetään vastavirtaan suodattimeen partikkeleiden irrottamiseksi. [Trussell ym. 2012: s. 235–242.] Suodatusprosessin jälkeen käytännössä kaikki kiintoaine, metallit ja orgaaniset yhdisteet on saatu erotettua raakavedestä [Water-M project 2017]. Veden sameusluku on tämän prosessivaiheen jälkeen alle 1 NTU ja sähkönjohtavuus alle 250 mS/m [Talousvesiasetuksen soveltamisohje Osa 1 2018].

Hiekkasuodatus on perinteinen talousveden valmistusprosessi ja yksi suodatusmenetelmistä. Hiekkasuodatuksessa vesi lasketaan hiekkapatsaan läpi. Hiekkapatsas siivilöi hiekanjyvien rakoja suurempia partikkeleita. Hiekkasuodatuksen hiekanjyvien koko ja samanlaisuus vaikuttavat suodatustehoon ja nopeuteen. Keinotekoiset samankokoiset hiekanjyvät päästävät vettä läpi 50–100 kertaa nopeammin kuin luonnonhiekkä. Keino-

tekoisen hiekan siivilöitävä partikkelikoko on vakio hiekkapatsaan läpi. Hiekkasuodattimen huokosten tukkeutuessa niiden siivilöimä partikkelikoko pienenee. Tämän vuoksi hiekkasuodattimen puhdistusteho muuttuu toiminta-ajan kuluessa. Hiekkasuodattimen pesu tehdään virtausmäärän laskeutuksessa huokosten tukkeutuessa. Pesuvesi on desinfioitua mikrobikasvuston estämiseksi. [Trussell ym. 2012: s. 235–245, AWWA Staff 2009: s. 105–109.]

Tulevaisuuden suodatusmetodiksi on esitetty kalvosuodatusta. Kalvosuodatuksen huokoskoko voi olla vain jopa nanometrejä, joten sillä pystytään poistamaan pieniä partikkeleita käyttämättä koagulantteja partikkelikoon kasvattamiseksi. Tämän vuoksi raakaveden ominaisuuksien nopeat muutokset ja koagulaation onnistuminen eivät vaikuta suodatustulokseen. Suodatetun veden laatu ei muutu suodattimen toiminta-ajan kuluessa toisin kuin hiekkasuodattimessa. Kalvosuodattimet tarvitsevat jopa satakertaisen suodatuspinta-alan hiekkasuodattimeen verrattuna käsitelläkseen saman vesimäärän. Kalvosuodattimet pystytään kuitenkin rakentamaan päällekkäin suodattimien tarvitseman pinta-alan pienentämiseksi ja näin tarvittu tila voi olla pienempi kuin vastaavan hiekkasuodattimen. Pintavesien käsittelyyn ei käytetä pienempää huokoskoko kuin mikrometri. Huokoskoon pienentyessä tarvittava teho ja suodatuspinta-ala kasvavat niin paljon, että suurien vesimäärien käsittely tulee huomattavan kalliiksi. [Basile, Cassano & Rastogi 2015: s. 397–398; AWWA Staff 2009: s. 235–236.]

3.6 Desinfiointi

Hyvä saostus, selkeytys ja suodatus poistavat osan mikrobeista, mutta desinfiointi on välttämätöntä veden turvallisuuden takaamiseksi. [Water-M project 2017]. Yleisesti käytettyjä desinfiointiaineita ovat kloorikaasu, erilaiset klooriamiinit, klooridioksidi ja otsoni. Desinfiointiin voidaan käyttää myös UV-valoa, joka tuhoaa bakteerien, virusten ja muiden mikro-organismien kyvyn lisääntyä, vaikka se ei suoranaisesti tapa niitä. Nestemäinen desinfiointiaine voidaan sekoittaa suoraan vesimassaan. Kaasumaiset yhdisteet tarvitsevat oman syvän altaan, jonka pohjalta desinfiointiaine kuplitetaan veteen. Desinfiointiaine-annokseen vaikuttavat, kuinka paljon vedessä on jäljellä orgaanisia aineita, onko kyseessä esidesinfiointi ennen aktiivihiilisuoatinta tai lopullinen vesiverkoston hygienian takaava käsittely. [Trussell ym. 2012: s.526–529.]

Desinfiointivaiheessa veden muiden aineiden, erityisesti humuksen, pitoisuuksien vedessä on oltava mahdollisimman alhaiset. Orgaaniset aineet käyttävät desinfiointiaineita omiin hapettumisreaktioihin. Tämä huonontaa desinfioinnin tehoa ja saattaa johtaa pieneliöiden kasvuun verkostossa. [Trussell ym. 2012: s.526–529.] Orgaanisten aineiden hapettumisreaktiot tuottavat myös sivutuotteita, joista on todettu olevan haittaa ihmisille. Esimerkiksi kloorin reagoidessa humuksen kanssa syntyy halogenoituja etikkahappoja ja trihalometaaneja, joiden on todettu mahdollisesti aiheuttavan syöpää. [Cencen & Aktas 2011: s 244.] Jos vedessä on jäljellä bromidia ja desinfiointiin käytetään otsonia, syntyy syöpää aiheuttavaa bromaattia [Lahti ym. 2011]. UV-säteilyllä desinfiointi ei tuota haitallisia sivuaineita veteen, mutta sitä ei voi käyttää ainoana desinfiointimenetelmänä talousveden valmistuksessa. UV-säteilyllä desinfiointi ei takaa koko talousvesiverkon hygieenisyyttä veden käyttäjälle asti. [Trussell ym. 2012: s.526–529.]

3.7 Aktiivihiiisuodatus

Aktiivihiiisuodatusta käytetään jälkisuodatuksena muiden suodatusmetodien jälkeen. Aktiivihiiisuodatusta käytetään talousveden valmistuksessa yleisesti veden hajun ja maun parantamiseen erottamalla veteen liuenneita aineita. Aktiivihiiisuodatus ei perustu muiden suodatus metodien lailla siivilöitymiseen vaan adsorptioon. Aktiivihiiilen adsorptiopinta-ala on suuri massaansa nähden (500–1200 m²/g) johtuen sen huokoisesta rakenteesta. [Chowdhury & Westerhoff 2011: s.3-4.] Aktiivihiihi suodattaa hyvin orgaanisia yhdisteitä ja sitä käytetään poistamaan aromaattisia yhdisteitä, väriaineita, torjunta-aineita ja lääkeaineiden jäämiä. Aktiivihiiisuodatuksella varmistetaan myös, että mahdolliset desinfioinnissa muodostuneet sivuaineet saadaan poistettua vedestä. [Water-M project 2017.]

Aktiivihiiiltä käytetään teollisuudessa jauhoisessa tai rakeisessa muodossa. Pintavesilaitoksilla yleinen prosessi jauhoiselle aktiivihiihille on sekoitussäiliö jatkuvalla virtauksella. Jauhoinen aktiivihiihi sekoitetaan suoraan käsiteltävään veteen, flokataan reagointiajan jälkeen ja erotetaan vedestä sedimentaatiolla. [Chowdhury & Westerhoff 2011: s.15–17] Rakeista aktiivihiiiltä käytetään yleisesti kiintopetisuodatuksessa. Kiintopetisuodatuksessa, hiekkasuodatuksen tapaan, vesi johdetaan aktiivihiihikerroksen läpi, kunnes aktiivihiiilen adsorptiopinta-alasta suurin osa on käytetty. [Chowdhury & Westerhoff 2011:

s.21–22] Hyvin käsitelty vesi on tässä vaiheessa saavuttanut aineiden pitoisuuksien laatuvaatimukset [Water-M project 2017].

3.8 Loppukäsittely

Ennen puhdistetun veden jakamista käyttäjille on vesi yleensä alkaloitava ja loppudesinfiotava. Veden alkaliteettia voidaan tarpeen tullen myös kasvattaa bikarbonaatilla ennen jakelua. Alkaliteetti edustaa veden puskurikykyä eli veden kykyä vastustaa pH:n muutosta. Alkaliteetille ei ole annettu laissa enimmäis- tai vähimmäisarvoja, mutta mitä suurempi alkaliteetti sitä vähemmän veden pH muuttuu verkostossa. Loppudesinfiointi suoritetaan etenkin pintavesilaitoksilla jatkuvatoimisena desinfiointina. Loppukäsittelynä desinfiointi varmistaa vedenjakeluverkoston hygieenisyyden ja estää mikrobien kasvamisen putkistossa. Lopulliseen desinfointiin käytetään yleisesti klooripohjaista desinfiointia, jotta vedenjakeluverkostossa esiintyisi vapaata klooria, joka estää mikrobien kasvun. [Talousvesiasetuksen soveltamisohje Osa 1 2018.]

Talousvesiasetuksen laatusuosituksen (liite 1) mukaan talousveden pH:n on oltava 6,5–9,5. Ylin lain nojalla sallittu talousveden pH on 9,5, ja tätä korkeampi aiheuttaa terveyshaittoja. Lain nojalla alin pH on 6,5, mutta pH:n mennessä alle 7,1 putkien metallit alkavat liukenemaan ja muut materiaalit, esimerkiksi betoni, syöpymään hitaasti. Verkostokorroosion estämiseksi pH kuuluisi pitää mahdollisimman tasaisena. Tämä varmistetaan lisäämällä veteen alkalointikemikaalia, joka muuttaa veden pH:ta. [Talousvesiasetuksen soveltamisohje Osa 1 2018.] Suomessa käytettyjä alkalointikemikaaleja, jotka nostavat veden pH:ta, ovat esimerkiksi lipeä, kalkki ja sooda. Tarvittaessa veden pH:ta pystytään laskemaan hiilidioksidilla tai rikkihapolla. [Lahti ym. 2011: s. 46]

4 Teollisuusalueen vesilaitos

Tässä luvussa esitellään teollisuusalueen vesilaitoksen vedenkäsittelyprosessit, operatiivinen historia, käyttöohjeistukset ja valvontatutkimusohjelmat. Vesilaitoksen operatiivinen historia esittelee, miten vesilaitoksen prosessi on muuttunut ja miten muutos on vaikuttanut veden laatuun. Käyttöohjeistusten riittävyttä tarkastellaan ja vesilaitoksen valvontatutkimusohjelma esitellään.

4.1 Prosessi

Tässä alaluvussa esitellään vesilaitoksen vesienkäsittelyprosessit. Vedenkäsittelyprosessit on jaettu raakaveden ottoon, prosessiveden valmistukseen raakavedestä, talousveden valmistukseen prosessivedestä ja kuinka prosessivettä käytetään suoraan talousvetenä. Raakaveden otossa esitellään raakaveden laatu, pumppaus raakavesilähteestä ja esilämmitys ennen vesilaitosta. Prosessivesiproessi ja talousveden valmistusprosessi käsitellään pääpiirteittäin. Alaluvussa esitellään myös nykyisin käytössä oleva epävirallinen toimintamalli kunnallisen talousveden saannin estyessä.

4.1.1 Raakaveden otto

Teollisuusalueen vesilaitoksen raakavesi on pintavettä läheisen joen alajuoksulta [Laitoksen käyttöohjeistus 2020]. Joki on luokiteltu keskisuureksi savimaajoeksi, ja sen varrella on kaupunkoja, maataloutta ja teollisuutta, jotka tuovat epäpuhtauksia veteen. Savimaajokena virtaava vesi on sameaa ja hyvin humuspitoista. [Vainio ym. 2018.] Humusta ja muita orgaanisia ja hapettuvia aineita osoittava kaliumpermanganaatti-indeksi (KMnO_4 -luku) on 5–25 mg/l. Kaliumpermanganaatti-indeksi sisältää orgaaniset aineet, kloridit, rikkivedyt, nitriitit ja kahdenarvoisen raudan. pH on 6,4–8 ja lämpötila vaihtelee sään mukaan. Mangaanin määrä vedessä voi olla jopa 160 µg/l ja kolibakteereita on merkittävästi. [Laitoksen oma-avalvontatulokset 2017–2020.]

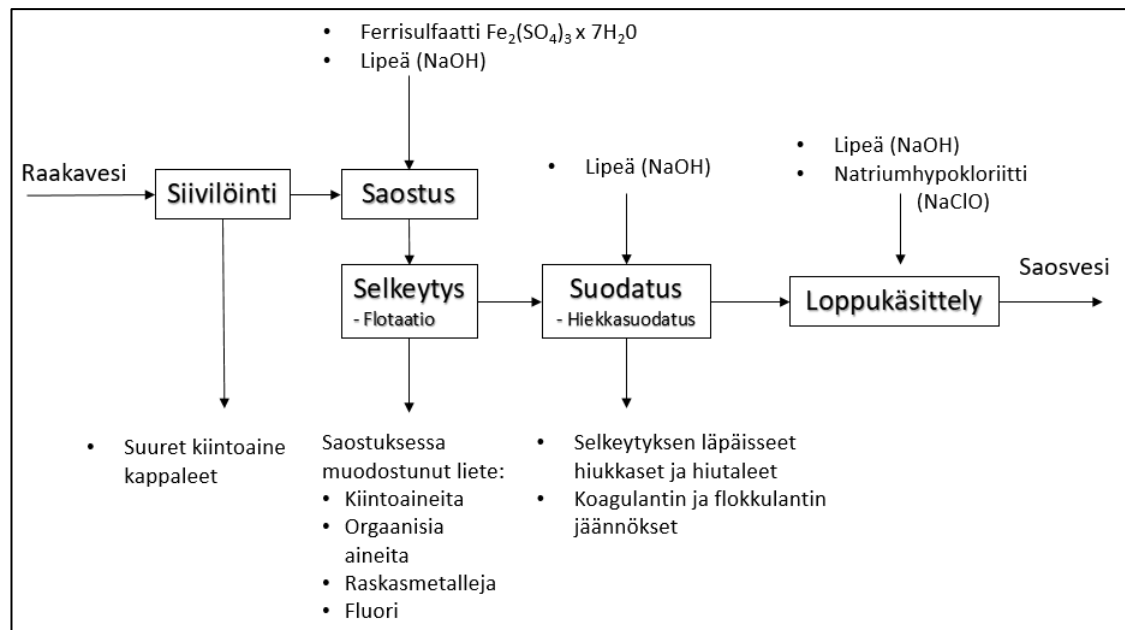
Joesta vesi pumpataan välppien läpi teollisuusalueella sijaitsevaan tekoaltaaseen tai suoraan vesilaitokselle. Välppät estävät suurien kiintoainekappaleiden pääsyn raakavesipumpuille. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.] Ennen vesilaitokselle tuloa raakavesi lämmitetään matalapaineisen höyryn avulla levylämmönsiirtimellä vähintään 13 asteeseen. Lämmitys on käytössä raakaveden lämpötilan ollessa alhainen. Lämmityksen tarkoitus on tehostaa käytettyjen vedenkäsittelykemikaalien liukenemistä raakaveteen. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.]

4.1.2 Prosessiveden valmistus

Prosessiveden valmistus teollisuuden tarpeisiin on vesilaitoksen päätehtävä. Vesilaitoksen prosessiveden maksimituotto on 600 m³/h. Tästä prosessivedestä jaetaan maksimissaan 400 m³/h voimalaitoksen höyryn valmistukseen. Jäljelle jäävä prosessivesi käytetään huoltovetenä teollisen toimijan laitoksella. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.]

Prosessiveden valmistus alkaa saostuksella ja selkeytyksellä. Koagulaatiokemikaalina toimii rautasulfaatti ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \times 7\text{H}_2\text{O}$), jota lisätään esialkalointiin käytettävän natriumhydroksidin eli lipeän (NaOH) kanssa. Rautasulfaatti on hapanta, joten veteen lisätään lipeää nostamaan pH tasolle 4,5–5,5. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.] Raakaveden pH on nostettava yli 4:ään rautasulfaatin toiminta-alueen saavuttamiseksi [Bratby 2016: s. 37]. Koagulaation ja esialkaloinnin jälkeen, muodostuneet partikkelit hämmennetään hiutaleiksi flokkauksessa. Flokkaus tapahtuu flotaattorin pohjalla, josta dispersioilmalla muodostetut kuplat nostavat flokin sakaksi flotaattorin pinnalle. Sakka poistetaan liete-kourujen kautta veden pinnalta. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.]

Saostettu ja selkeytetty vesi välialkaloidaan lipeällä ennen hiekkasuodatusta. Välialkalointi saa rautasulfaattijäännöksen saostumaan ja nostaa veden pH:n 6,5:een. Hiekkasuodattimen hiekka on keinotekoisia ja hiekanjyvien koko vakio. Hiukkasuodatus poistaa vedestä rautasulfaattijäännökset ja selkeytyksen läpi päässeitä partikkeleita ja hiukkasia. Veteen lisätään natriumhypokloriittia (NaClO) loppudesinfioinniksi. pH säädetään lipeällä (NaOH) halutuksi. Vesilaitoksen prosessiveden maksimi tuotanto on 600 m³/h. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.] Kuvassa 2 on esitetty prosessiveden valmistuksen prosessikuvaaja, jossa on esitelty käytetyt kemikaalit ja yksikköprosessit.



Kuva 2. Prosessikuvaaja prosessiveden valmistuksesta vesilaitoksella

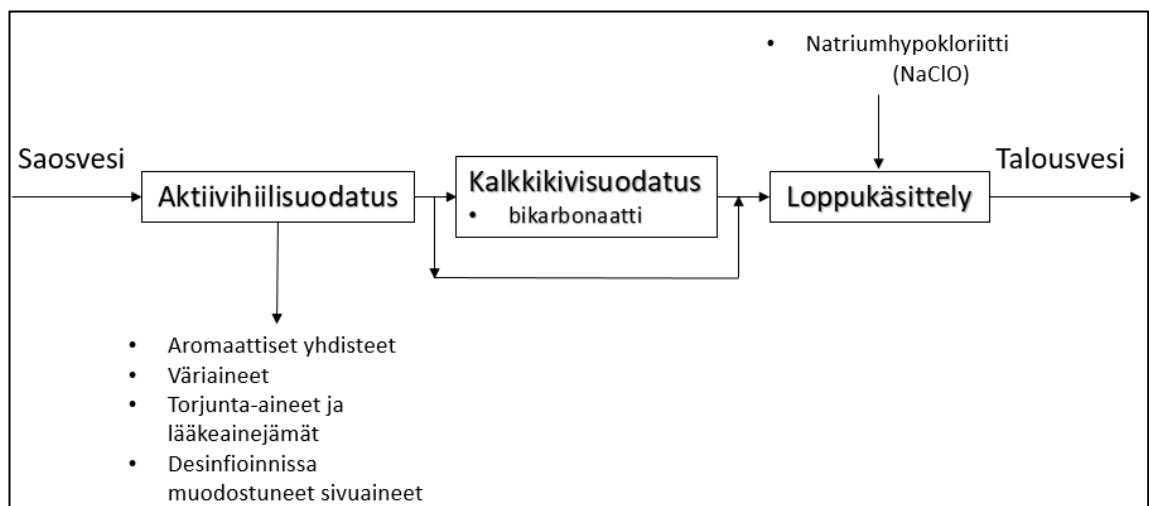
4.1.3 Talousveden valmistusmahdollisuudet prosessivedestä

Talousveden kulutus alueella on keskiarvoltaan noin $70 \text{ m}^3/\text{h}$ [Laitoksen käyttäjä 2020]. Tilanteessa, jossa kunnallisen talousveden saanti estyy, voidaan valmistaa vesilaitoksella prosessivedestä talousvettä alueen tarpeisiin. Valmis prosessivesi johdetaan voimalaitoksen prosessivesilinjasta talousvesiverkkoon ja tästä aktiivihiihisuodattimille. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.] Aktiivihiihisuodattimien jälkeen vesi pystytään johtamaan kalkkikivisuodattimelle, jos veden kovuutta ja alkaliteettiä tarvitsee nostaa. [Laitoksen asiantuntija 23.1.2020.] Veden alkaliteetti merkitsee veden kykyä vastustaa pH:n muutosta.

Vesilaitoksen aktiivihiihisuodattimet ovat kiintopetisuodattimia. Kiintopetisuodatuksessa rakeisesta aktiivihielestä muodostettuun aktiivihiihipatsaaseen johdetaan vettä, jonka annetaan viipyä patsaassa halutun viipymääajan. Viipymäaika edustaa aktiivihiihen ja veden kontaktiaikaa, jolloin veden epäpuhtaudet adsorboituvat aktiivihiihen huokosiin. Viipymäaika määritellään EBCT:ksi (empty bed contact time). EBCT on suodattimen aktiivihiihpatsaan tilavuus jaettuna käsiteltävän veden tilavuusvirralla. Aktiivihiihisuodatin pysäytetään ja hiilet vaihdetaan uusiin suodatinvastuksen aiheuttaman paine-eron kasvaessa

haluttua suuremmaksi. [Chowdhury & Westerhoff 2011: s. 21–23; Toitturi 1998.] Aktiivihiihisiuodattimia on vesilaitoksella kolme kappaletta. Suodattimet ovat identtisiä, ja yksi kiintopetisuodatin vaatii noin 2 250 kg aktiivihiihiltä. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.]

Kalkkikivisuodatuksessa vesi pumpataan kalkkikivisuodattimen huipulle ja lasketaan painovoimalla kalkkivipatsaan läpi [Laitoksen käyttäjä 2020]. Suodatuksessa kalkkivipatsaasta liukenee veteen karbonaattia. Kalkkikivi eli kalsiumkarbonaatti (CaCO_3) neutraloi veden hiilidioksidia bikarbonaatiksi. Kalkkikivisuodatus nostaa veden alkaliteettia ja kovuutta. Kalkkikiven karbonaatin liukenemiseen vaikuttaa veden viipymä suodattimessa ja veden hiilidioksidin määrä. [Rantala 2007.] Kuvassa 3 on esitetty vesilaitoksen talousveden valmistusprosessi, jota käytettiin ennen kunnalliseen talousveteen siirtymistä. Kalkkikivisuodatus on mahdollista jättää pois prosessista, jos sille ei nähdä tarvetta. Prosessivedestä valmistettu talousvesi vielä desinfioidaan ennen talousvesiverkkoon ajamista.



Kuva 3. Talousveden valmistusprosessi vesilaitoksen prosessivedestä

4.1.4 Normaalityiminta ja prosessiveden käyttö talousvetenä

Normaalityiminnassa teollisen toimijan käyttämä ja jakama talousvesi ostetaan valmiina kunnalliselta vesilaitokselta. Talousvesi saapuu vesilaitokselle tasausaltaaseen, jossa siihen lisätään 15-prosenttista natriumhypokloriittiliuosta lisädesinfiointiseksi. Koko-

naisklooripitoisuus desinfiointin jälkeen on noin 0,3 mg/l. Klooripitoisuus pidetään tasausaltaassa vakiona, jotta juomavesiverkko pysyisi puhtaana pieneliöistä kaukaisimmassakin pisteessään. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.] Talousvettä kuluu teollisen toimijan jakelualueella noin 65 m³/h [Laitoksen käyttäjä 2020].

Väliaikaisesti prosessivettä käytetään suoraan talousvetenä, jos kunnallisen talousveden saanti estyy. Prosessiveden johtamiseen talousvesiverkkoon ei ole virallista liitosta tai liitosohjeita. Huoltovesilinjasta saadaan johdettua tuuman (putken nimellishalkaisija DN25) liittimellä vettä talousvesiverkoston 30 m³/h. Prosessivesi ei kulje kunnallisen talousveden tasausaltaan läpi, vaan yhdistetään suoraan talousvesiverkkoon tasausaltaan puhtauden varmentamiseksi. Vesi liikkuu liitoksen läpi huoltovesilinjan paineen avulla ilman ylimääräistä pumppausta. Prosessivesi lisädesinfioidaan, jolloin prosessiveden kokonaiskloori nousee noin 0,2 mg/l välille 0,3–0,5 mg/l. Tämä riittää varmistamaan prosessiveden hygieenisyyden ennen talousvesiverkkoon johtamista. [Laitoksen käyttäjä 2020.]

4.2 Operatiivinen historia

Ennen vuotta 2005 saostuskemikaalina käytettiin alumiinisulfaattia ja muodostunut sakka selkeytettiin sedimentaatiolla. Flokkulaatioon eli hiutaleiden muodostamiseen käytettiin apukemikaalina polyelektrolyyttiä. Vuoden 2005 jälkeen saostuskemikaali vaihdettiin rautasulfaattiin ja selkeytysaltaita muokattiin flotaattoreiksi. Aikana, jolloin saostuskemikaalina käytettiin alumiinisulfaattia, jäi veteen haju- ja makuhaittoja. Tästä syystä valmis prosessivesi käsiteltiin aktiivihiihisuodattimella, joka poisti vedestä tehokkaasti orgaanisia yhdisteitä, jotka aiheuttivat esteettisiä ongelmia. Tarvittaessa vesi johdettiin aktiivihiihisuodatuksen jälkeen kalkkikivisuodattimen läpi veden kovuuden ja alkaliteetin nostamiseksi. [Laitoksen asiantuntija 23.1.2020.]

Saostuskemikaalin vaihtaminen alumiinisulfaatista ferrisulfaattiin vähensi prosessiveden haju- ja makuhaittoja ja paransi valmistetun prosessiveden laatua. Aktiivihiihisuodattimet poistettiin jatkuvasta käytöstä 2004 teollisen toimijan siirryttyä ostamaan alueen talousvedet kunnalliselta talousveden tuottajalta. Aktiivihiihisuodattimet tyhjennettiin hiilestä, pestiin ja suljettiin. Aktiivihiihisuodattimet ovat vesilaitoksella ja pystytään ottamaan käyt-

töön, jos nähdään tarvetta. Kalkkikivisuodatin on myös ollut poissa käytöstä, mutta kalkkikiveä ei poistettu suodattimesta. Samoin kalkkikivisuodatin on käyttövalmiudessa vesilaitoksella. [Laitoksen asiantuntija 2020.]

4.3 Käyttöohjeistus

Laitoksen käyttöohjeistus prosessiveden valmistukselle sisältää yleisten prosessikuvausten lisäksi käynnistys- ja pysäytysohjeet laitokselle. Osa prosesseista on automatisoitu pysähtymään veden tulon vähentyessä asetetun rajan alle ja käynnistyvät uudelleen veden virtauksen kasvaessa. Prosessiveden valmistusprosessin prosessikuvaukset ja ohjeet on saatavilla laitoksen sisäisessä intrassa. Ohjeiden viimeisin päivitys on vuodelta 2019. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.]

Talousveden valmistuksen prosessikuvaus on vajavainen eikä vastaa vesilaitoksen käyttäjien toimintaa. Prosessikuvauksessa mainitaan aktiivihiihisuodattimet talousveden valmistamiseen ja näiden tarvitsema aktiivihiihimäärä. Aktiivihiihisuodattimet ja niiden yhteydet muihin vesilaitoksen prosesseihin on nähtävissä koko laitoksen kattavassa PI-kaaviossa. Erillistä PI-kaaviota vain aktiivihiihisuodattimille ei ole saatavilla. Saatavilla ei ole erillistä käynnistys- tai käyttöohjeita. Kalkkikivisuodatinta ei ole mainittu prosessikuvauksessa eikä sen PI-kaaviota tai käyttöohjeita ole saatavissa. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.]

Normaalitoiminnan prosessiveden syöttö talousvesilinjaan ei ole prosessikuvauksessa tai muissa vesilaitosta koskevissa ohjeissa. Yleisesti suoraan prosessiveden käyttämistä talousvetenä ei ole prosessikuvauksissa tai muissa sisäisissä ohjeissa. Lisädesinfiointia talousvetenä käytettävälle prosessivedelle ei ole määritelty vesilaitoksen ohjeistuksissa. Entinen paperinen ohje prosessiveden syöttöön voimalaitoksen linjasta talousvesilinjaan on poistettu käytöstä. Uutta ohjetta, joka vastaa todellisuutta, ei ole asetettu tilalle. [Laitoksen käyttäjä 2020.]

4.4 Vesilaitoksen valvontatutkimusohjelma

Toimijalla on viranomaisten kanssa laadittu valvontaohjelma, joka määrittelee näytteenottotiheyden ja näytteille tehtävät tutkimukset. Valvontatutkimusohjelma sisältää vesilaitoksen toimintaan kuuluvan päivittäisen omavalvonnan ja käyttötarkkailun. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.] Omavalvontasuunnitelmaa ei tarvitse muuttaa kunnallisen talousveden saannin estyessä, koska viranomaiset ovat todenneet sen riittäväksi kattamaan myös omavalmisteisen talousveden [Laitoksen asiantuntija 2020]. Käyttötarkkailua ja viranomaistarkkailua tihennetään prosessivedessä vastaamaan kunnallisen talousveden tarkkailua. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.] Vastuu talousveden laadun varmentamisesta ja poikkeustilanteisiin reagoimisesta on täysin teollisella toimijalla, jos käytetään omaa talousvettä. Käyttötarkkailussa talousvedestä otetaan, joka toinen viikko näytteet verkoston neljästä pisteestä. Aistinvaraisen tutkimuksen lisäksi näytteistä otetaan teollisen toimijan laboratorioissa kokeet veden laadun varmistamiseksi. [Laitoksen asiantuntija 2020.]

Talousveden säännöllinen valvonta suoritetaan kunnan Terveysturvatoimiston toimesta jatkuvana-, jaksottaisena- ja lisävalvontana tarpeen mukaan. Kerran vuodessa valvontatutkimuksen mukaan vesilaitoksella valmistetusta talousvedestä otetaan laajat laatututkimukset, jotka kattavat kaikki laatuvaatimusten parametrit. Koska talousvesiverkosto sijaitsee kemianteollisuusalueella, talousvesiverkosta otetaan kolmen vuoden välein näytteet, joista tutkitaan mineraaliöljyt, liuottimet ja kloorifenolit. Kerran viidessä vuodessa verkostosta otetaan kattavat metalli-, maametalli- ja bentseeniyhdisten näytteet. Tutkimusten tarkoitus on varmistaa verkoston turvallisuus talousveden jakeluun. Raakavedestä otetaan vuosittain näyte muiden epätavallisempien epäpuhtauksien kartoittamiseksi. Näitä epäpuhtauksia ovat esimerkiksi sinilevät, salmonellabakteeri, fenolit ja torjunta-aineet. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.]

Päivittäisen omavalvonnan suorittaa laitoksen käyttäjä kenttälaboratoriossa ja kirjaa tulokset sisäiseen tietokantaan. Kunnallisesta talousvedestä tutkitaan päivittäisessä omavalvonnassa vain pH ja kokonaiskloori. Oletus on, että kunnallinen talousveden tuottaja varmistaa päivittäin talousveden laadun ennen käyttäjille jakamista. Prosessivedestä tutkitaan päivittäin pH, raudan pitoisuus, kokonaiskloori ja johtokyky aistinvaraisen arvioin-

nin lisäksi. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.] Tutkittavat ominaisuudet on valittu omavalvontaan, koska ne vaikuttavat voimalaitoksen höyryntuotantoon. [Laitoksen käyttäjä 2020.] Prosessivedestä otetaan myös laajemmat käyttötarkkailu näytteet kahden viikon välein. Näytteistä tutkitaan mikrobiologiset epäpuhtaudet ja määritetään kaliumperman-ganaatti-indeksi muiden laatuominaisuuksien lisäksi. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.] Tulosten perusteella laitoksen prosessia säädetään tarpeen mukaan. [Laitoksen käyttäjä 2020.]

5 Prosessiveden ja kunnallisen talousveden laatu

Tässä luvussa esitellään prosessiveden ja kunnallisen talousveden omavalvontatulokset viimeiseltä kolmelta vuodelta. Tässä luvussa esitellään prosessivettä ja kunnallista talousvettä vertaavan näytesarjan teko ja saadut tulokset. Näytesarjassa esitellään tutkittavien ominaisuuksien lisäksi millä metodilla ominaisuudet määritettiin ja kuinka varten-otettavia tulokset ovat.

5.1 Prosessiveden ja talousveden omavalvonta ja tulokset

Taulukossa 1 on esitetty prosessiveden ja kunnallisen talousveden omavalvontatulokset viimeisen kolmen vuoden ajalta. Laadun tarkastelua varten relevantit ominaisuuksien tulokset on esitetty myös kuvina liitteessä 2. Prosessiveden omavalvontatulokset on esitetty yhdessä kunnallisen talousveden tulosten kanssa vertailun helpottamiseksi. Prosessiveden ja kunnallisen talousveden omavalvontasuunnitelmat eivät täysin vastaa toisiaan. Tämä johtuu siitä, että prosessiveden omavalvontaominaisuudet on valittu niiden vaikutuksesta prosessiveden käyttöön prosessivetenä ja höyryntuotannossa. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.]

Taulukko 1. Prosessiveden ja kunnallisen talousveden päivittäisen ja viikoittaisen omavalvontatulokset 2017–2019

Saosveden omavalvonta					
Päivittäinen	minimi	keskiarvo	maksimi	Laatuvaatimus	Laatusuositus
pH	6,9	7,7	8,6	-	9,5
Rauta µg/l	< 10	88	780	-	200
Kokonaiskloori mg/l	0,02	0,3	1,1	-	5
Johtokyky mS/m	20	38	48	-	250
Viikottainen					
KMnO4-indeksi mg/l	0,6	1,4	2,8	-	20
Kovuus mmol/l	0,3	0,5	0,75	-	-
Kolibakteeripesäkeluku pcs/100ml	0	0	7	0	-
Kloridit mg/l	8,9	15,6	40	-	100
Silikaatti mg/l	2	7	12	-	-
Talousveden omavalvonta					
Päivittäinen	minimi	keskiarvo	maksimi	Laatuvaatimus	Laatusuositus
pH	6,8	7,8	8,2	-	9,5
Kokonaiskloori mg/l	0,03	0,29	0,69	-	5
Viikoittainen					
TOC mg/l	1,6	2,6	4,25	-	-
Kolibakteeripesäkeluku pcs/100ml	0	0	0	0	-
Johtokyky mS/m	24	27	31	-	250
Kloridit mg/l	17	21	24	-	100
Vapaa kloori mg/l	0,01	0,15	0,4	-	-

Taulukosta 1 nähdään, että prosessiveden ja talousveden kokonaiskloori pitoisuuksien keskiarvot ovat tavoitellulla tasolla, mutta vaihtelu pienemmästä pitoisuudesta suurimpaan on todella suuri. Kaikkien ominaisuuksien keskiarvot jäävät laatuvaatimusten ja laatusuositusten alapuolelle. Taulukosta 1 voidaan nähdä, että prosessiveden raudan pitoisuuden korkein piikki ylittää laatusuositusten ylärajan reilusti. Liitteen 2 kuvasta 1 nähdään, että piikit ovat yleisiä prosessivedessä. Prosessiveden kolibakteeripesäkeluku myös ylittää talousveden laatuvaatimuksen hetkittäin, kuten liitteen 2 kuvasta 3 on nähtävissä. [Laitoksen omavalvontatulokset 2017–2020.]

Tuloksista nähdään, että prosessiveden laatua seurataan kaliumpermanganaatti-indeksillä ja kunnallisen talousveden laatua TOC-arvolla. TOC-arvo eli Total Organic Carbon-arvo edustaa orgaanisiin yhdisteisiin sitoutunutta hiilen määrää. Kaliumpermanganaatti-indeksiä ja TOC-arvoa ei pysty vertaamaan toisiinsa. [Talousvesiasetuksen soveltamisohje Osa 1 2018.]

5.2 Näytesarja

Prosessiveden ja kunnallisen talousveden omavalvontatulokset eivät olleet täysin vertailukelpoisia kaikkien talousveden laadun kannalta relevanttien ominaisuuksien osalta. Prosessivedestä ja talousvedestä tehtiin näytesarjat, jotta vesien eroja pystyttäisiin vertailemaan. Näytesarjoissa mitattiin rauta, kaliumpermanganaatti-indeksi, TOC ja kovuus. Näytesarjan tuloksista pyrittiin vetämään johtopäätös prosessiveden laadusta ja sopivuudesta talousvedeksi ilman erillistä lisäkäsittelyä. Näytesarjat olivat kolmen työviikon mittaiset.

Raudan pitoisuusmittaus valittiin näytesarjaan, koska kunnallisen talousveden raudasta ei ole mittaustuloksia, joita pystyy vertailemaan prosessiveden tuloksiin. Raudan omavalvontamittauksista (liite 2, kuva 1) voidaan nähdä useita jyrkkiä pitoisuuden nousuja. Raudan näytesarjan tarkoituksena on myös auttaa kartoittamaan mistä piikit voivat johtua. Määritys tehdään vain talousvedelle. Talousveden raudan arvoa verrataan päivän omavalvonnan prosessiveden tulokseen. Raudan pitoisuus määritetään spektrofotometrillä vesilaitoksen kenttälaboratoriossa kyvettitestillä. Määritys tehdään spektrofotometrin ja kyvettien valmistajan ohjeen NM563 mukaan.

Prosessiveden omavalvontaohjelmassa on kaliumpermanganaatti-indeksin määritys, mutta kunnallisella talousvedellä TOC-määritys. Tuloksia ei pystytä vertailemaan keskenään, joten molemmat ominaisuudet valittiin näytesarjaan. Kaliumpermanganaatti-indeksien vertailusta halutaan nähdä hapettavien aineiden määrä vedessä. Hapettavat aineet käyttävät desinfiointiainetta omiin reaktioihinsa huonontaan desinfioinnin tehoa. Tuloksista halutaan muodostaa johtopäätös nykyisen prosessiveden desinfioinnin riittävydestä talousvesikäyttöön. Kaliumpermanganaatti-indeksi määritetään Suomen standardiliiton SFS:n analyysimetodin SFS-EN ISO 8467 mukaan. Veden orgaanisen hiilen määrä (TOC) SFS:n analyysimetodin SFS-EN 1484 mukaan. TOC-määrityksen tuloksista halutaan vetää johtopäätös desinfioinnin sivuaineiden muodostumisen todennäköisyydestä.

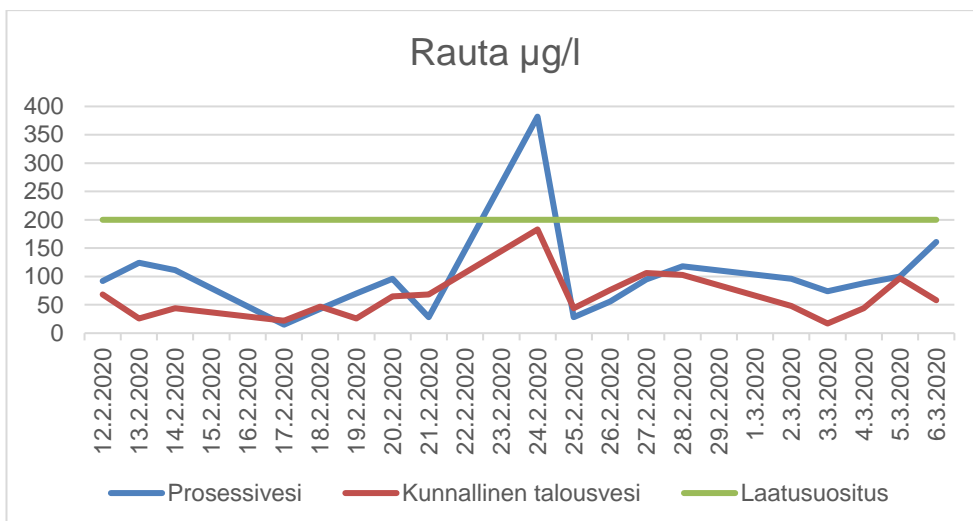
Kunnallisesta talousvedestä ei ole kovuusmääritystä. Kovuuden näytesarjasta pyritään vetämään johtopäätös, miten veden kalsium ja magnesium pitoisuuden nopea vaihtumi-

nen mahdollisesti vaikuttaa talousveden laatuun. Kalsiumin saostumisen ja takaisin veteen liukenemisen tasapainoon vaikuttaa kalsiumin pitoisuus vedessä. Veden liuennut kalsium saostuu putken pinnalle kalvoksi, joka suojelee putkea korroosiolta, mutta pienentää putken tilavuutta ja häiritsee virtausta. Liukeneva kalsium taas huonontaa talousveden laatua ja voi johtaa paljastuneen putken pinnan korroosioon. [Keller 1990; Popov 2015: s. 290–294.] Kovuus määritettiin SFS:n veden kalsiumin ja magnesiumin summan määrityksellä SFS 3003.

5.3 Näytesarjan tulokset

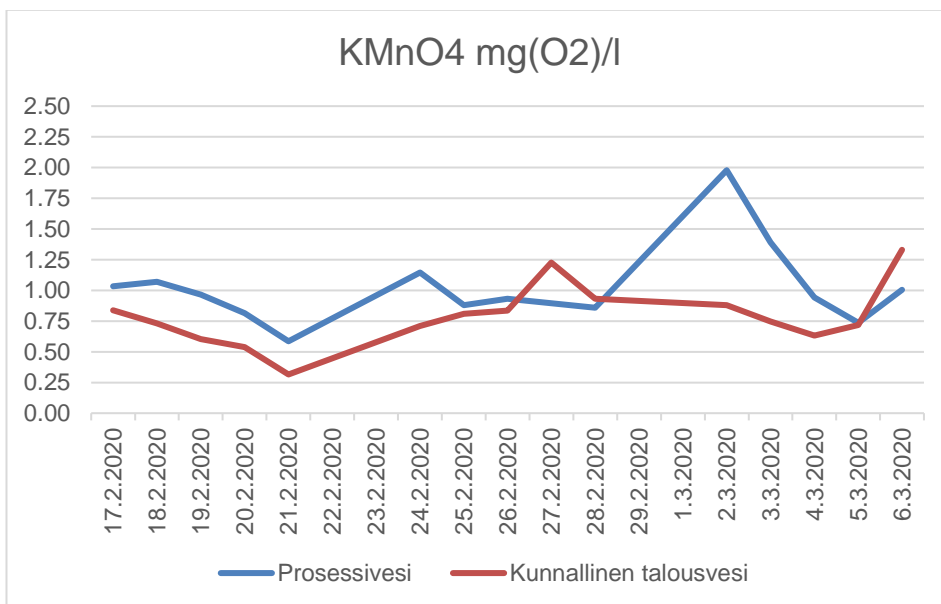
Näytesarjojen tuloksista tehtiin kuvaajat, jotta kunnallisen talousveden ja prosessiveden tuloksia päästäisiin vertailemaan. Kuvaajissa on esitetty yhdessä prosessiveden ja kunnallisen talousveden tulokset. Tuloksia verrattiin liitteen 1 talousveden laatuvaatimuksiin ja suosituksiin.

Kuvasta 4 nähdään, että prosessiveden raudan pitoisuuden keskiarvo pysyy laatusuositusrajan (200 µg/l) alapuolella. Prosessiveden raudan pitoisuuden keskiarvo näytesarjan ajalta on 106 µg/l ja kunnallisen talousveden 81 µg/l. Prosessiveden laatusuositukset ylittävä piikin todettiin johtuvan vesilaitoksen raakaveden pH-mittarin viasta. pH-mittari on prosessia ohjaava ja kontrolloi lipeän syöttöä välialkaloinnissa. Vian takia lipeän syöttö keskeytyi hetkellisesti, jolloin saostukseen käytetty rautasulfaatin jäännösrauta ei saostunut ennen hiekkasuodatusta. Jäännösrauta pääsi hiekkasuodattimien läpi huomattavasti enemmän kuin normaalitoiminnassa. Tästä johtuu prosessiveden rautapitoisuuden nousu huomattavasti yli laatusuositusrajan.



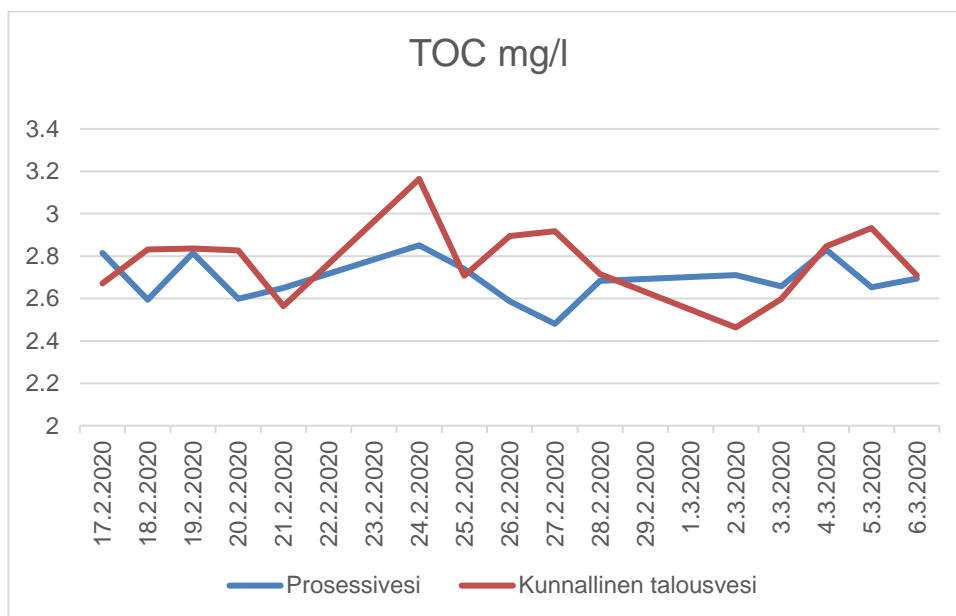
Kuva 4. Raudan näytesarjan tulokset

Kalsiumpermanganaatti-indeksin näytesarjan kuvasta 5 pystytään näkemään, että prosessiveden hapettuvien aineiden määrä on suurempi kuin kunnallisen talousveden. Prosessiveden keskiarvo on noin 1,0 mg/l ja kunnallisen talousveden 0,8 mg/l. Ero on pieni, mutta vaikuttava loppudesinfioinnin tehokkuuteen. Kaliumpermanganaatti laatusuositus on alle 20 mg/l (liite 2) ja molempien vesien tulokset jäävät sen alle.



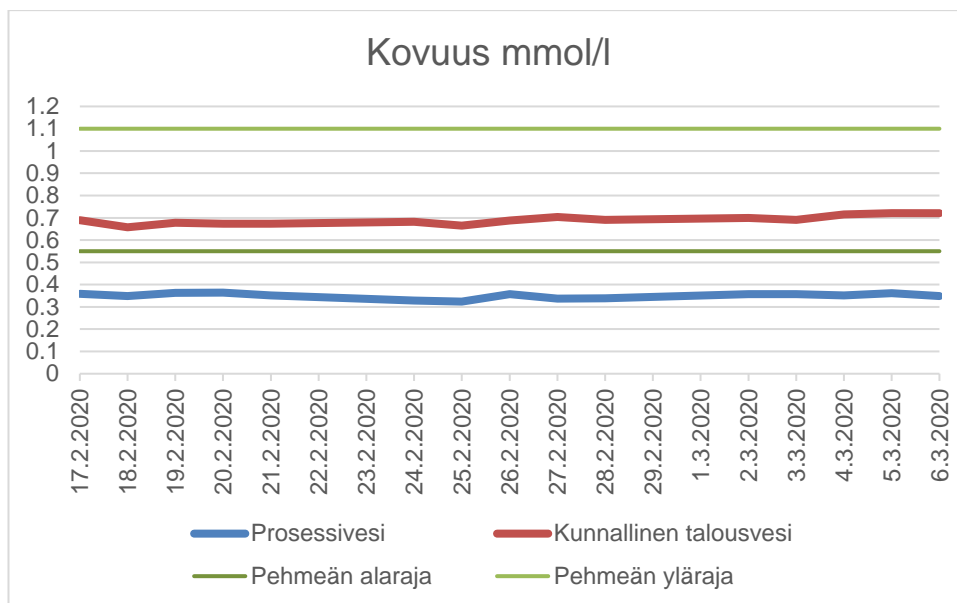
Kuva 5. Kaliumpermanganaatti-indeksin näytesarjan tulokset

Kuvasta 6, joka esittää näytesarjan orgaanisen kokonaishiilen (TOC) mittauksia, pystytään näkemään, että prosessiveden ja kunnallisen talousveden välillä ei ole suurta eroa. Prosessiveden keskiarvo on 2,69 mg/l ja kunnallisen talousveden 2,78 mg/l. Kunnallisen talousveden viimeisen kolmen vuoden TOC-mittauksien keskiarvo on samaa luokkaa. Ero prosessiveden ja kunnallisen talousveden välillä on niin pieni, että laadullista eroa vesien välillä ei ole nähtävissä. Veden orgaanisen hiilen ylärajaa ei ole määritetty Suomen laissa.



Kuva 6. Näytesarjan TOC-mittauksien tulokset

Kuvasta 7 pystytään nähdä kovuuden näytesarjan tulokset. Tuloksista nähdään, että vesien kovuudet pysyvät tasaisena riippumatta prosessin tai ilmaston muutoksista. Näin ollen voidaan sanoa, että prosessikemikaalien muutokset ja sademäärät eivät vaikuta veden kovuuteen. Prosessiveden keskiarvo on 0,35 mmol/l ja kunnallisessa talousveden 0,69 mmol/l. Tuloksista pystyy näkemään, että kunnallinen talousvedessä on kaksinkertainen määrä kalsiumia ja magnesiumia prosessiveteen verrattuna. Juomavedelle ei ole määritetty laissa kovuuden ylärajaa.



Kuva 7. Kovuuden näytesarjan tulokset

6 Talousveden valmistus vesilaitoksella

Tässä luvussa tarkastellaan käytännön talousveden valmistusta vesilaitoksella. Erityisesti tarkastellaan nykyisten aktiivihiiisuodattimien käyttöönottoa, toimivuutta ja miten aktiivihiiisuodatus vaikuttaisi teoreettisesti prosessiveden laatuun. Luvussa tarkastellaan myös kalkkikivisuodattimen toimintaa ja käyttöönottoa käytännössä vesilaitoksella.

6.1 Käyttöönotto

Aktiivihiiisuodattimet ovat olleet poissa käytöstä vuodesta 2005, eikä niitä ole sen jälkeen otettu käyttöön. Käytöstä poistumisen jälkeen aktiivihiihi poistettiin suodattimista, suodattimet pestiin ja suljettiin. Aktiivihiihiä ei voi säilyttää suodattimissa valmiina käyttöönottoa varten, koska aktiivihiihi on oiva kasvualusta bakteereille. Aktiivihiiisuodattimien käyttöönotto kestää viikosta kahteen viikkoon kulutetun aktiivihiihiin poistamisen, suodattimen pesemisen ja uuden esivalmistelun takia. Esivalmistelussa puhtaan aktiivihiihiä lävitse johdetaan puhdasta vettä, kunnes pH tasaantuu. [Laitoksen asiantuntija 2020.] Aktiivihiihiä ei ole toimijalla varastossa, jolloin käyttöönotto viivästyy hiihiin toimitusajan verran (1 - 4 viikkoa) esivalmisteluajan lisäksi.

Vesilaitoksen kalkkikivisuodatin otettiin pois käytöstä samoihin aikoihin, mutta kalkkiveä ei poistettu suodattimesta. Kalkkikivisuodatinta ei ole käytetty tämän jälkeen. Suodatinta ei ole avattu ja tarkastettu tämän jälkeen kertaakaan, joten suodattimen kunnosta ei ole tietoa. Kalkkikivisuodattimen tarkoitus oli nostaa omavalmisteisen talousveden koivuutta ja alkaliteettia. Kalkkikivisuodattimen käyttöönotto vaatii vanhan kalkkikiven vaihtamisen uusiin ja perusteellisen pesun ja desinfioinnin mahdollisen bakteerikasvuston tuhoamiseksi. [Laitoksen asiantuntija 2020.] Aktiivihiihisuodattimien ja kalkkikivisuodattimen käyttöön ottoon ei ole saatavilla kirjallisia tai suullisia ohjetta vesilaitoksella. Vesilaitoksen nykyiset käyttäjät eivät ole koskaan käyttäneet vesilaitoksen aktiivihiihisuodattimia tai kalkkikivisuodatinta.

6.2 Laitteiston toimivuus ja kapasiteetti

Aktiivihiihisuodattimien päätarkoitus oli parantaa prosessiveden ulkonäköä, hajua ja makua. Yhden aktiivihiihisuodattimen suodatustilavuus on 6,6 m³. Suomessa yleisesti käytetyt EBCT-ajat ovat 15 - 20 minuuttia riippuen puhdistustarpeesta [Toitturi 1998]. Yhden aktiivihiihisuodattimen teoreettisen tilavuusvirtauksen pystyy laskemaan EBCT:n kaavasta 1 muokkaamalla se muotoon 2. [Chowdhury & Westerhoff 2011: s. 21–23; Toitturi 1998.]

$$EBCT = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

$$Q = \frac{V}{EBCT} \quad (2)$$

- EBCT = veden viipymäaika aktiivihiihisuodattimessa [h]
- Q = tilavuusvirta [m³/h]
- V = aktiivihiihipesän tilavuus [m³]

EBCT-aikaa lyhentämällä veden tilavuusvirta kasvaa. Suurin käsiteltävä veden tilavuusvirtaus yhdellä aktiivihiihisuodattimella minimi adsorptioajalla (15 min) on laskettu kaavassa 3.

$$Q_{max} = \frac{6,6 \text{ m}^3}{0,25 \text{ h}} = 26,4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (3)$$

Aktiivihiihisuodattimet on kytketty sarjaan, jolloin yhden suodattimen ottaminen huoltoon ja hiilen vaihtaminen uuteen ei häiritse prosessia. Hiilen vaihto uuteen tapahtuu käytävissä olevan adsorptiopinta-alan vähentyessä ja paine-eron kasvaessa hiilipatsaassa. Käytännössä samaan aikaan toiminnassa pystyy olemaan kaksi suodatinta kolmannen ollessa huollossa tai aktiivihiihen esikäsitteilyvaiheessa. [Chowdhury & Westerhoff 2011: s. 21–23; Toitturi 1998.]

6.3 Tulokset

Aktiivihiihisuodattimia ei pystytä ottamaan käyttöön lyhyellä varoitusajalla. Äkilliseen kunnallisen talousvedensaannin estymiseen ei pystytä reagoimaan nopeasti. Yksi aktiivihiihisuodatin pystyy valmistamaan talousvettä noin 27 m³/h. Kaksi suodatinta pystyvät tuottamaan vajaat 55 m³/h, mikä ei riitä alueen talousveden tarpeisiin.

Talousveden tuotantoon käytetty prosessivesi on valmiiksi kirkasta ilman erityistä hajua tai makua. Prosessivesi on todettu terveystoimien puolesta täyttävän talousvesiladun vähimmäisvaatimukset eikä tarvitsisi aktiivihiihisuodatusta. Aktiivihiihisuodattimien päätehtävä olisi näin poistaa desinfioinnin sivutuotteita ja mahdollisia raakaveden epäpuhtauksia esimerkiksi torjunta- ja lääkeainejäämiä.

7 Tulosten arviointi

Tässä luvussa arvioidaan teollisen toimijan toimien riittävyyttä kattamaan kaikki lain asettamat vaatimukset. Omavalvonnan ja näytesarjan tuloksia arvioidaan ja pyritään vetämään johtopäätös prosessiveden sopivuudesta talousvesikäyttöön ilman lisäkäsitteilyä.

Käytännön järjestelyitä johtaa prosessivesi talousvesiverkkoon tarkastellaan käytännössä. Luvussa arvioidaan myös vesilaitoksen talousveden valmistuksen tuloksia ja vedetään johtopäätöksiä talousveden valmistukseen käytetyn prosessilaitteiston käytännöllisyydestä.

7.1 Lain asettamien velvoitteiden täytyminen

Teollinen toimijan talousvesiverkosto jakaa talousvettä 3 000–4 000 ihmisen käyttöön päivittäin. Tämä asettaa teollisen toimijan Suomen talousvesiasetuksen 1352/2015 piiriin ja asettaa täytettäväksi luvussa 2 esitellyt talousvesitoimijoita koskevat asetukset. Teollinen toimija on myös velvoitettu täyttämään asetuksen 1351/2006 koskien työntekijöiden talousvesihygieniaosaamista.

Vesilaitokselle on tehty riskiarviot yleinen laitostekniikan ja työturvallisuuden näkökulmista vesihygienian lisäksi [Laitoksen asiantuntija 2020]. Vuoden 2007 Nokian vesikriisin jälkeen vesilaitoksen kaikista linjaliitoksista koskien talousvettä tehtiin ylimääräinen riskiselvitys terveystoimijoiden pyynnöstä. Selvityksen tarkoituksena oli varmistaa, että teollisen toimijan verkostossa ei pääsisi tapahtumaan samanlaista tilannetta kuin Nokialla vuonna 2007. Linjaliitoksista tutkittiin niiden kunto, mahdolliset kontaminaatio lähteet, niiden riskit talousvedelle ja kontaminaation estotoimenpiteet. [Terveydensuojelu Porvoon kaupunki 2008.]

Laitoksen käyttöohjeistus sisältää häiriötilannesuunnitelmat, jotka perustuvat automaatiojärjestelmien häiriintymiseen. Häiriötilannesuunnitelmat keskittyvät erityisesti raakaveden saannin estymiseen, kemikaaliautomaation häiriöihin, talousveden kontaminaation leviämisen estämiseen ja muiden laatuhäiriöihin reagointiin. Suunnitelma sisältää myös ajantasaiset puhelinnumerot ja häiriötilanteiden ilmoitusohjeet. Poikkeustilanteista teollisella toimijalla on valmis sisäinen poikkeamatilannetutkintasysteemi. Teollinen toimija on valveutunut toimimaan yhdessä kunnan terveystoimijoiden ja kunnallisen talousveden tuottajan kanssa talousvettä koskevissa häiriötilanteissa. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.]

Vesihygieniaosaaminen varmistetaan käytännössä järjestämällä Valviran vesityökorttikoulutus. Voimassa oleva vesityökortti vaaditaan kaikilta vesilaitoksen työntekijöiltä ja

talusvesilinjassa töitä tekeviltä urakoitsijoilta. Teollinen toimija järjestää koulutuksen aina tarpeen vaatiessa työntekijöille. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020]. Teollisella toimijalla ei ole tällä hetkellä voimassa olevaa valvontatutkimusohjelmaa. Toimija on saanut luvan terveysturvallisilta jatkaa vanhan ohjelman käyttöä, kunnes uusi on valmis. Toimijan omavalvontaohjelma on laaja ja kattava. Omavalvontaohjelma on viranomaisten puolesta todettu varmistavan talusveden laadun uuteen valvontasuunnitelmaan siirtymisajalla. [Laitoksen asiantuntija 2020.]

Teollinen toimija on tietoinen talusvesilain asettamista vaatimuksista ja kykenevä täyttämään ne. Teollisen toimijan työntekijät ovat osaavia vastaamaan poikkeustilanteisiin, ja sisäiset toimintamallit varmentavat talusvesiasetusten täyttymisen. Kaiken kaikkiaan teollinen toimija täyttää kaikki lain asettamat talusvettä koskevat vaatimukset viranomaisten silmissä tarpeeksi hyvin.

7.2 Prosessiveden käyttö suoraan talusvetenä

Tässä alaluvussa tarkastellaan prosessiveden suoraa käyttöä talusvetenä ilman ylimääräistä käsittelyä kunnallisen talusveden saannin estyessä. Alaluvussa tarkastellaan prosessiveden riittävyttä talusvesikäyttöön prosessiveden normaalikulutuksessa ja kuinka tämä on käytännössä järjestetty. Alaluvussa pohditaan prosessiveden ja talusveden omavalvontatuloksien ja näytesarjan tuloksien merkitystä vesien laatuun. Prosessiveden omavalvonnan ja näytesarjan tuloksista pyritään vetämään johtopäätöksiä veden puhdistusprosessin riittävydestä talusvesilaitokselle.

7.2.1 Prosessiveden riittävyys ja käyttö talusvetenä

Vesilaitoksen prosessiveden tuotto on 600 m³/h, josta 400 m³/h on voimalaitoksen höyryntuotantoon. Jäljelle jäävä prosessivesi käytetään huoltovetenä teollisen toimijan laitoksella. Kun prosessivedestä jaetaan osa talusvedeksi, vähentää se käytössä olevan huoltoveden määrää. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020] Laitoksen käyttäjän mukaan prosessiveden käyttäminen talusvetenä ei häiritse prosessiveden riittävyttä teollisuuteen, koska uusi suurempi vesilaitos pystyy kattamaan voimalaitoksen prosessiveden tarpeet.

Tämä jättää tarvittaessa koko pienemmän vesilaitoksen tuoton huoltovedeksi. Talousveden keskikulutus alueella on 70 m³/h ja huoltoveden 90 m³/h. Normaalitylanteessa prosessivettä käytettäessä talousvetenä huoltovettä riittää myös talousvedeksi.

Liitos huoltovesilinjasta talousvesilinjaan on vain tuuman kokoinen ja päästää lävikseen ilman ylimääräistä pumppausta talousvettä noin 30 m³/h. Tämä ei riitä alueen tarpeisiin. Huoltovesilinjasta talousvesiverkkoon johdettavalle vedelle ei ole tasausallasta, jolla pystyttäisiin reagoimaan talousveden kulutuksen muutoksiin. Liitos pitäisi vaihtaa suurempaan ja mahdollisesti asentaa automaatio, joka avaa ja sulkee liitosta kulutuksen mukaan.

7.2.2 Omavalvonnan tulosten merkitys

Liitteen 2 kuvasta 1 pystytään näkemään, että raudan pitoisuuden piikit ovat yleistyneet vuodesta 2017 ja raudan pitoisuuden keskiarvo prosessivedessä on kasvanut. Jos sama kehitys jatkuu, kasvaa raudan pitoisuuden keskiarvo laatusuosituksen yli viimeistään vuoden 2021 lopulla. Rauta aiheuttaa veteen maku- ja hajuhaittoja, ja suuri raudan pitoisuus värjää veden ja vesikalusteita ruosteenruskeaksi. Laatusuosituksen rikkominen ei kuitenkaan johda siihen, että terveysviranomaiset ryhtyvät toimenpiteisiin tai vesi asetetaan käyttökieltoon. Tässä tapauksessa terveysviranomaiset antavat huomautuksen ja kehottavat korjaustoimenpiteisiin, jos prosessivettä käytetään talousvetenä.

Liitteen 2 kuvasta 2 nähdään, että prosessiveden kovuus nousee ja laskee vuoden aikojen mukaan. Ero on kuitenkin pieni, ja kovuus vaihtelee vain erityisen pehmeän ja pehmeän välillä. Erityisen pehmeä vesi ei aiheuta kalsiumsaostumia putkistossa ja vesilaitteistoissa. Kalsiumsaostumat ovat kalsiumkarbonaatin ylikyllästymiä putkien pinnalla. Kalsiumkarbonaatin saostuminen ja uudelleen liukeneminen putken pinnalta aiheuttaa veteen laatuvirheitä. Kalsiumin alhainen pitoisuus on teollisuuden prosessilaitteistoille ja putkistoille eduksi, koska se nostaa laitteistojen käyttöikä ja vähentää huollon tarvetta. [Popov 2015: s. 290–294; Talousvesiasetuksen soveltamisohje Osa 1 2018: s. 39.]

Liitteen 2 kuvassa 3 nähdään prosessivedestä ja kunnallisesta talousvedestä otettujen kolibakteerinäytteiden tulokset. Kuvasta voidaan nähdä, että prosessivedessä esiintyy

bakteerikasvuston lähteitä noin kerran vuodessa. Prosessiveden kokonaiskloorin keskiarvo on kuitenkin korkeampi kuin kunnallisen talousveden, kuten taulukosta 1 ja liitteen 2 kuvasta 4 voidaan nähdä. Kokonaiskloorin määrä edustaa veden desinfioinnin riittävyyttä. Syy bakteerien esiintymiseen prosessivedessä johtuu todennäköisesti prosessiveden kokonaiskloorin pitoisuuden vaihtelusta (liite 2 kuva 4). Prosessiveden desinfioinnin määrää muutetaan viikoittaisen omavalvontatuloksen mukaan. Kokonaiskloorimittarit talousveden lisädesinfioinnille on prosessia ohjaava mittari. Mittari vastaa myös prosessiveden lisädesinfioinnista, jos sitä käytetään suoraan talousvetenä. Mittarin tulosten perusteella automaatio muuttaa natriumhypokloriitin annoksen määrää veteen. Vikamittaukset erityisesti talousvedessä ovat vaarallisia. Liian pieni määrä desinfiointiainetta voi aiheuttaa pahimmillaan vesiepidemian ja liian suuri määrä (yli 5 mg/l) pakottaa laittamaan veden käyttökieltoon [Talousvesiasetuksen soveltamisohje Osa 1 2018].

Omavalvontatulosten perusteella prosessivesi täyttää talousveden laatusuosituksen hetkellisiä poikkeustilanteita lukuun ottamatta. Harvinaisempien veden epäpuhtauksien tarkkailua ei tehdä muuten kuin vuosittaisessa raakaveden, talousvesiverkon ja prosessiveden laaduntarkkailussa. Jos näytteissä esiintyy epätavallisimpia epäpuhtauksia, selvitetään mistä kontaminaatio johtuu. Vesilaitoksella varmistetaan puhdistusprosessin tehokkuus puhdistamaan havaittua epäpuhtautta ja epäpuhtauden esiintymistä vesissä seurataan. [Laitoksen käyttöohjeistus 2020.]

7.2.3 Näytesarjan tulosten merkitys

Kuvasta 4 nähdään, että raudan tämän hetkinen pitoisuuden keskiarvo sekä prosessivedellä että kunnalliselta talousvedeltä jää laatusuositus rajan alle. Rautapitoisuudet sekä prosessivedessä että kunnallisessa talousvedessä ovat tasaisia prosessiveden piikkiä lukuun ottamatta. Raudan näytesarjassa nähtävä prosessiveden rautapitoisuuden piikki selittyy ohjaavan pH-mittarin vialla. Vesilaitoksen käyttäjän mukaan raudan piikit johtuvat juuri prosessin kemikaaliautomaation virheistä, joiden syy on vanhat prosessia ohjaavat mittalaitteet. Vanhojen mittalaitteiden käyttöikä lähenee loppuaan ja tämä aiheuttaa mittausvirheitä tihenevässä tahdissa. Tämä vaikuttaa myös muuten prosessiveden laatuun ja käytettävyyteen teollisuudessa.

Kaliumpermanganaatti-indeksin laatusuositus on 20 mg/l. Kuten kuvasta 5 on nähtävissä sekä prosessivesi, että talousvesi täyttävät laatusuositukset. Kaliumpermanganaatti-indeksin tulokset ovat vain kymmenesosa laatusuosituksen arvosta. Kaliumpermanganaatti-indeksin näytestarjan tuloksista pystytään näkemään, että prosessiveden kaliumpermanganaatti-indeksi on hieman korkeampi kuin kunnallisen prosessiveden. Ero on pieni, mutta talousvedeksi johdetun prosessiveden loppudesinfiointia kannattaa nostaa samassa suhteessa desinfiointituloksen varmentamiseksi. TOC:n ja kalsiumpermanganaatti-indeksin tuloksilla ei vaikuta olevan erityistä yhteyttä, kun verrataan näytestarjan kuvaa 5 ja kuvaa 6 keskenään. Kuvasta 6 nähdään, että prosessiveden TOC ei eroa kunnallisen talousveden tuloksista muuten kuin marginaalisesti. Prosessiveden orgaanisten hiiliyhdisteiden ei voi näin olettaa muodostavan suurempaa määrää desinfiointin sivutuotteita, kuin kunnallisen talousveden.

Prosessiveden ja talousveden kovuuden ero on selvästi näkyvässä kuvassa 7. Prosessivesi on erityisen pehmeää ja kunnallinen vain pehmeää. Ero aiheuttaa talousvesiverkoston kalsiumkalvon liukenemisen siirryttäessä käyttämään prosessivettä talousvetenä. Kalsiumkalvon liukenemistä ei pystytä olettamaan tasaiseksi läpi talousvesiverkoston. Kalsiumkalvon epätasainen liukeneminen aiheuttaa aktiivisuuseron paljastuneen ja jäljellä olevan kalvon välillä, mikä johtaa mahdollisesti paljastuneen kohdan korroosioon. [Popov 2015: s. 290–294.] Ero on niin pieni ja kunnallisen talousveden kalsiumin pitoisuus niin alhainen, että kalsiumkalvon saostumisen ja liukenemisen on hidasta prosessiveteen vaihdettaessa. Näin ollen korjaaviin toimenpiteisiin ei kannata ryhtyä.

7.3 Aktiivihiiisuodattimet ja kalkkikivisuodatin

Talousvettä käytetään teollisen toimijan jakelualueella keskimäärin 70 m³/h. Aktiivihiiisuodattimien käsittelykapasiteetti ei riitä talousveden valmistukseen. Yhden aktiivihiiisuodattimen käsittelyvolyymi on noin kolmasosa tarvittavasta talousvedestä. Kaikkien suodattimien ollessa käytössä yhtä aikaa ja EBCT-aikaa lyhentämällä päästään tavoiteltuun tuottoon. Käytännössä kolmea suodatinta ei pysty pitämään jatkuvasti samaan aikaan käytössä huollon ja aktiivihiiien vaihtojen takia. EBCT-ajan lyhentäminen 15 minuutista lyhentää adsorptioaikaa ja näin huonontaa suodatustulosta. Käytännössä aktiivihiiisuodattimien tuotto ei riitä täyttämään talousveden tarvetta ilman EBCT-ajan lyhen-

tämistä tai talousveden käytön rajoittamista alueella. Nykyinen parempilaatuinen prosessivesi saavuttaa laatuvaatimukset ja laatusuositukset ilman erillistä käsittelyä. Aktiivihii-lisuodattimien hyöty prosessiveden käsittelyyn on mitätön.

Vaikka koettaisiin tarpeelliseksi, aktiivihii-lisuodattimia ei pystytä ottamaan käyttöön lyhyellä varoitusajalla talousveden saannin estyessä. Ohjeiden ja kaavioiden puuttuminen hidastaa käyttöönottoa ja suodattimien optimointia. Nykyiset laitoksen käyttäjät eivät ole koskaan käyttäneet aktiivihii-lisuodattimia talousveden valmistukseen. Käytännössä katsoen ohjeiden ja kokemuksen puute tekee käyttöönotosta turvatonta ja aikaa vievää. Samat käynnistys- ja käyttöongelmat pätevät kalkkikivisuodattimeen kuin aktiivihii-lisuodattimeen. Koska pH säädetään lipeän avulla ja veden kovuutta ei tarvitse nostaa, kalkkikivisuodattimen hyöty talousvesiprosessille on olematon.

8 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää teollisen toimijan vesilaitoksen valmiutta valmistaa talousvettä. Tarkastelu tehtiin laitostekniikan ja Suomen talousvesilainsäädännön näkökulmista. Teollinen toimija täyttää talousvettä valmistavaa laitosta koskevat määräykset viranomaisten silmissä tarpeeksi hyvin. Uuden valvontaohjelman valmistumisen ja käyttöönoton jälkeen ei laitoksen toiminnassa ole huomautettavaa. Teollisen toimijan sisäisissä materiaaleissa on puutteita. Sisäiset talousveden valmistuksen prosessikuvaukset eivät vastaa todellisuutta eikä käyttöohjeita ole saatavilla. Kaikki omavalmisteista talousvettä koskevat ohjeet ja prosessikuvaukset tulisi päivittää vastaamaan nykyisiä käytänteitä.

Prosessiveden valmistusprosessi vastaa BAT-standardia. Yksikköprosessit on valittu hyvin puhdistamaan käytettyä raakavettä ja prosessivesi on talousvesikelpoista ilman lisäpuhdistamista. Prosessivesi täyttää kaikki laatuvaatimukset ja laatusuositukset hetkellisiä poikkeustilanteita lukuun ottamatta. Prosessiveden raudan pitoisuuden piikkien yleistyminen saa raudan keskiarvon ylittämään talousveden laatusuositukset vuoteen 2021 loppuun mennessä. Jos prosessivettä käytetään talousvetenä, vanha välialkalointia ohjaava pH-mittari tulisi vaihtaa uuteen mittausvirheiden vähentämiseksi. Talousveden konaiskloorimittari olisi vaihdettava mahdollisimman nopeasti uuteen, koska jatkuvien

mittausvirheiden aiheuttamat ongelmat ovat huomattavasti vakavammat. Desinfiointin epäonnistuminen johtaa bakteerein kasvuun talousvedessä, jolloin talousveden laatuvaatimukset eivät täyty. Talousvesi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa vesiepidemian, josta teollisen toimijan on kannettava vastuu.

Aktiivihiihisuodattimet eivät ole tarpeellisia puhdistukseen, jos ei epäillä raakaveden kontaminaatiota esimerkiksi teollisuuden päästöistä. Ohjeiden puuttuminen tekee suodattimien käyttöönoton hankalaksi ja turvattomaksi. Jos aktiivihiihisuodattimet halutaan pitää talousveden valmistukseen varalla, tulisi suodattimille luoda uudet käynnistys- ja käyttöohjeet. Aktiivihiihisuodattimille tulisi tehdä koeajot puhdistustuloksen varmentamiseksi ja optimaalisen EBCT-ajan määrittämiseksi. Kalkkikivisuodattimen hyöty on mitätön talousveden valmistusprosessille eikä ole syytä käyttää resursseja prosessikuvausten ja ohjeiden laatimiseen.

Nykyinen prosessiveden johtaminen talousvesiverkkoon on ainoa mahdollinen nopea vastaus kunnallisen talousveden saannin estymiseen. Prosessiveden liitosta talousvesiverkostoon tulisi vaihtaa suurempaan virtausmäärän nostamiseksi. Liitoksen vaihtaminen vähintään 3 tuuman (putken nimellishalkaisija DN80) liittimeksi nostaisi virtausmäärän 90 m³:iin/h ilman lisäpumppausta. Ohjeiden laatiminen liitännälle ja liitoksen lisääminen PI-kaavioihin tulisi tehdä. Tämä varmistaa, että vesilaitoksen vuorohenkilökunta pystyy itsenäisesti reagoimaan kunnallisen talousveden saannin katkeamiseen, kun laitoksen käyttäjä ei ole paikalla.

Teollisen toimijan vesilaitos on pätevä varmentamaan talousveden saannin alueelle. Insinööriyön tavoitteisiin päästiin hyvin, vaikka talousveden valmistusprosessin laitteistoja ei koeajettu. Esitetyt kehitysehdotukset ovat käytännössä toteutettavissa ja varmistavat vesilaitoksen vedenkäsittelyprosessin tehon tulevaisuudessa.

Lähteet

AWWA Staff. 2009. Principles and Practices of Water Supply Operations: Water Treatment (Fourth Edition). American Water Works Association. ProQuest E-book Central.

Basile, Angelo; Cassano, Alfredo & Rastogi, Navin K. 2015. Advances in Membrane Technologies for Water Treatment: Materials, Processes and Applications. E-kirja. Woodhead Publishing Series in Energy Ser. Elsevier Science & Technology.

Bratby, John. 2016. Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment - Third Edition. E-kirja. IWA Publishing. ProQuest E-book Central.

BWT Best Water Technology. Veden kemialliset ominaisuudet. BWT Group:n sivustoilta. <<https://www.bwtwater.fi/fi/vesianalyysi/Sivut/veden-kemialliset-ominaisuudet.aspx>> Luettu 14.1.2020.

Cecen, Ferhan & Aktas, Özgür. 2011. Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment: Integration of Adsorption and Biological Treatment. John Wiley & Sons, Incorporated. E-book Central.

Chowdhury, Zaid; Summers, Scott R & Westerhoff, Garret P. 2011. Activated Carbon: Solutions for Improving Water Quality. American Water Works Assc. ProQuest, E-book Central.

Keller, Jerry. 1990. Impact of water supply on plant sanitation. Beverage World. Vol. 118, Iss. 1685, pp. 88. ProQuest.

Lahti, Heidi; Vieno, Niina & Kaunisto, Tuija. 2011. Talousveden käsittelykemikaalit ja standardisointi. Verkkoaineisto. Prizztech: Vesi-instituutin raportteja 3. <<https://www.samk.fi/wp-content/uploads/2016/06/20110302raporttikansi.pdf>>

Laitinen, Jyrki; Nieminen, Jenni; Saarinen, Risto & Toivikko, Saijariina. 2014. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT) - Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Verkkoaineisto. Suomen ympäristö 3/2014. Ympäristöministeriö. <<http://hdl.handle.net/10138/43199>>

Laitoksen asiantuntija. Yhteistyöyritys. Porvoo. Haastattelu 23.1.2020.

Laitoksen käyttäjä. Yhteistyöyritys. Porvoo. Haastattelu 30.1.2020.

Laitoksen käyttöohjeistus. 2020. Valvontatutkimusohjelma. Yrityksen sisäiset materiaalit. Luettu 26.2.2020.

Laitoksen oma valvontatulokset 2017–2020. Yrityksen sisäiset materiaalit. Luettu 26.2.2020.

Neuvoston direktiivi ihmisten käyttöön tarkoitetun veden laadusta. 98/83/EY Annettu 3.11.1998. Viim. muutos 6.10.2015. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:01998L0083-20151027&from=FI>> Luettu 8.1.2020.

Popov, Branko N. 2015. Corrosion Engineering, Principles and solved Problems. E-kirja. Elsevier. ProQuest E-book Central.

Rantala, Marjo. 2007. Kalkkikivirouheella suoritettavan alkaloinnin optimoiminen. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus. <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201003063385>>

Shammas, Nazih K. & Bennet Gary F. 2010. Flotation Technology: Principles of Air Flotation Technology. Handbook of Environmental Engineering, Volume 12: Flotation Technology DOI: 10.1007/978-1-60327-133-2_1

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 2015 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Annettu 17.11.2015. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2015/20151352>> Luettu 8.1.2020.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousvettä toimittavassa laitoksessa työskentelevältä vaadittavasta laitosteknisestä ja talousvesihygienisestä osaamisesta ja osaamisen testaamisesta. 1351/2006. Annettu 12.12.2006. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20061351>> Luettu 10.1.2020.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2.3.2018. Tutkimus ja kehittäminen, Unified Intelligent WATER Management (Water-M). THL.fi-sivustolta. THL 2020. <<https://thl.fi/fi/tutkimus-ja-kehittaminen/tutkimukset-ja-hankkeet/unified-intelligent-water-management-water-m->> Luettu 15.1.2020.

Terveydensuojelu Porvoon kaupunki. 2008. Selvityspyyntö kiinteistöjen talousvesiverkoista. Vain sisäiseen käyttöön. Luettu 27.2.2020.

Toitturi, Kati. 1998. Aktiivihillisuodatus jalostamon vesilaitoksella. Tutkimusraportti. Neste, Porvoon jalostamo.

Trussell, Rhodes; Hand, David; Tchobanoglous, George & Crittenden, John C. 2012. Principles of Water Treatment. E-kirja. John Wiley & Sons, Incorporated.

Vainio, Sampo; Janatuinen, Aki & Niemi, Juha. 2018. Mustijoen vesistön virtavesien kalatalouden kehittämissuunnitelma. Verkkoaineisto. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. 2018. <<https://www.vesi-ilma.fi/images/pdf/julkaisut/MustijokiOpt.pdf>>

Valvira Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. 15.5.2018. Talousvesiasetuksen soveltamisohje Osa 1, Talousvettä koskevia säädöksiä. Verkkoaineisto. Valvira.

<https://www.valvira.fi/documents/14444/6739502/Talousvesiasetuksen_soveltamisohje_osa_1.pdf/17e75403-6280-d44b-0642-6c7168bc9032>

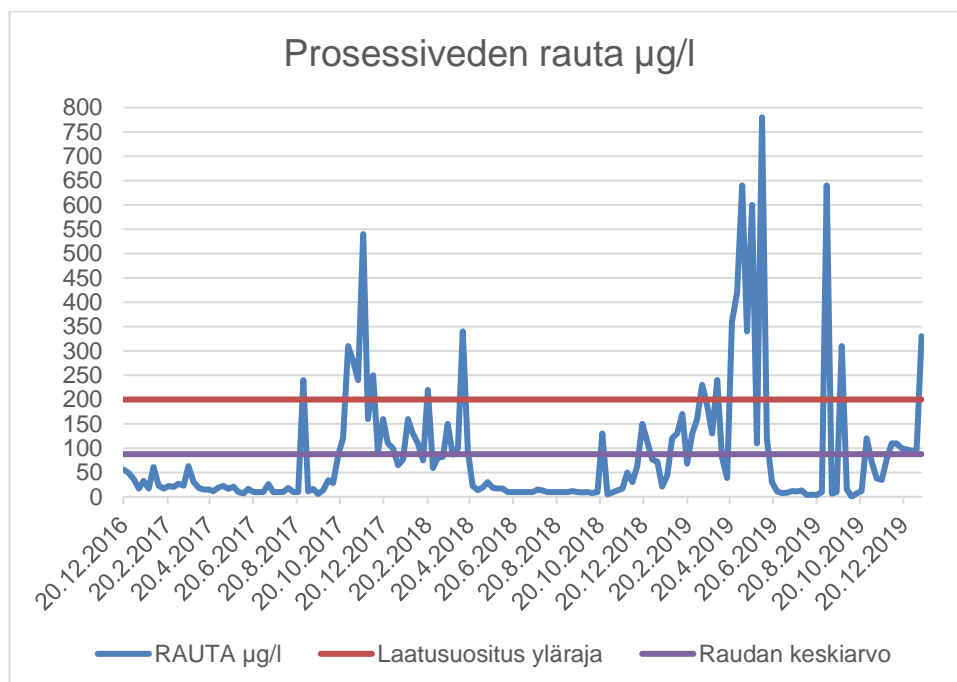
Water-M project. 2017. D1.2 BAT review: Evaluation of Best Available Technologies for Water Management. Measurepolis Development Oy.

Zacheus, O. 2015. Yhteenveto suurten, EU:lle raportoi tavien laitosten talousveden laadusta vuonna 2015. Verkkoaineisto. Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. <<https://www.valvira.fi/documents/14444/249256/2015+Yhteenveto+EU-vedenjakelualueiden+valvonnasta+ja+laadusta/651856d2-e57e-40cb-bc6d-901589b0165b>>

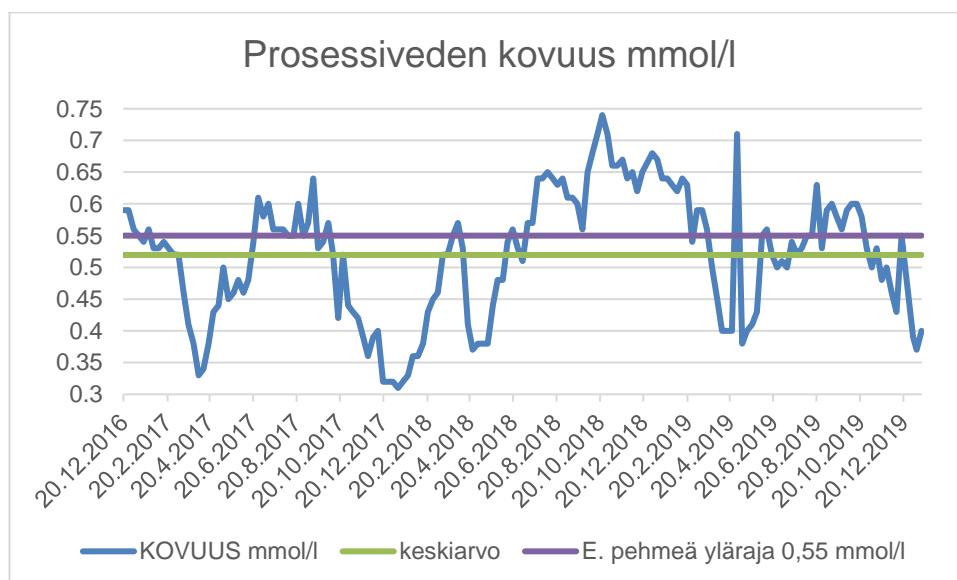
Talousveden laatuvaatimukset ja – suositukset

Mikrobiologiset laatuvaatimukset (enimmäistiheys)	
Escherichia coli	0 pmy/100 ml
Suolistoperäiset enterokokit	0 pmy/100 ml
Kemialliset laatuvaatimukset (enimmäispitoisuus)	
Akryyliamidi	0,10 µg/l
Antimoni	5,0 µg/l
Arseeni	10 µg/l
Bentseeni	1 µg/l
Bentso(a)pyreeni	0,010 µg/l
Boori	1,0 mg/l
Bromaatti	10 µg/l
Kadmium	5,0 µg/l
Kromi	50 µg/l
Kupari	2,0 mg/l
Syanidit	50 µg/l
1,2-dikloorietaani	3,0 µg/l
Epikloorihydrini	0,10 µg/l
Fluoridi	1,5 mg/l
Lyijy	10 µg/l
Elohopea	1,0 µg/l
Nikkeli	20 µg/l
Nitraatti (NO ₃)	50 mg/l
Nitraattityppi (NO ₃ -N)	11,0 mg/l
Nitriitti (NO ₂)	0,5 mg/l
Nitriittityppi (NO ₂ -N)	0,15 mg/l
Torjunta-aineet	0,10 µg/l
Polysykliset aromaattiset hiilivedyt	0,10 µg/l
Seleen	10 µg/l
Tetra- ja trikloorieteeni yhteensä	10 µg/l
Trihalometaanit yhteensä	100 µg/l
Vinyylikloridi	0,50 µg/l
Kloorifenolit yhteensä	10 µg/l
Laatusuositukset	
Alumiini	200 µg/l
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,50 mg/l
Ammoniumtyppi (NH ₄ -N)	0,40 mg/l
Kloridi	100 mg/l
Mangaani	50 µg/l
Rauta	200 µg/l
Sulfaatti	250 µg/l
KmnO ₄ -luku	20 mg/l
CODMn, O ₂	5 mg/l
Koliformiset bakteerit	0 pmy/100 ml
Radon	300 becquere/l
	Tavoitetaso
pH	6,5 - 9,5
Sähkönjohtavuus	alle 2 500 µS/cm
Sameus 1,0 NTU	1,0 NTU
Väiriluku 5	5
Haju ja maku	ei selvää vierasta hajua tai makua

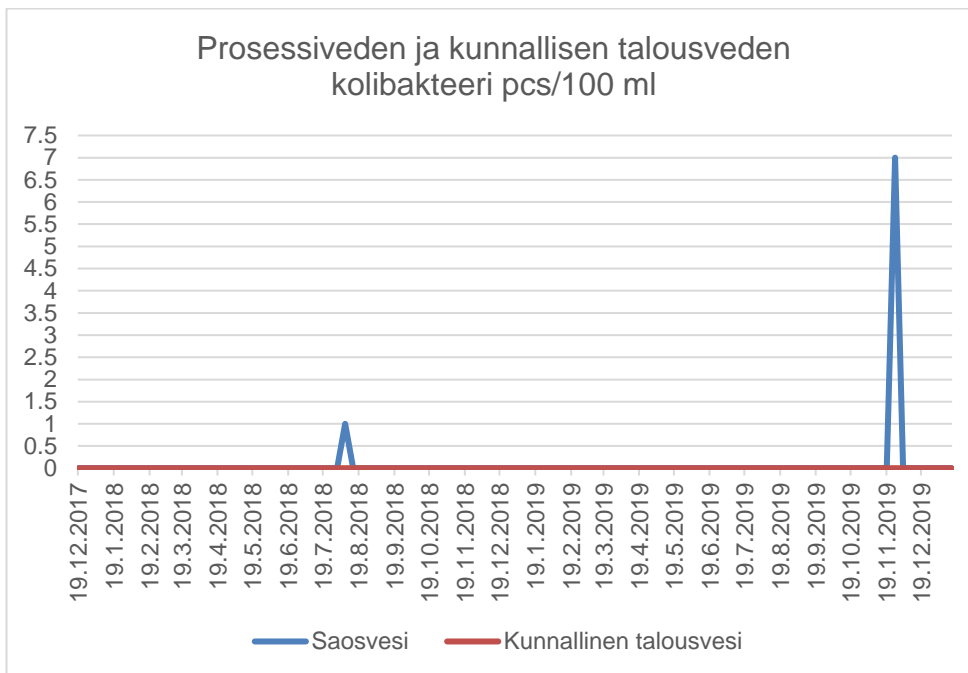
Prosessiveden omavalvontatulokset



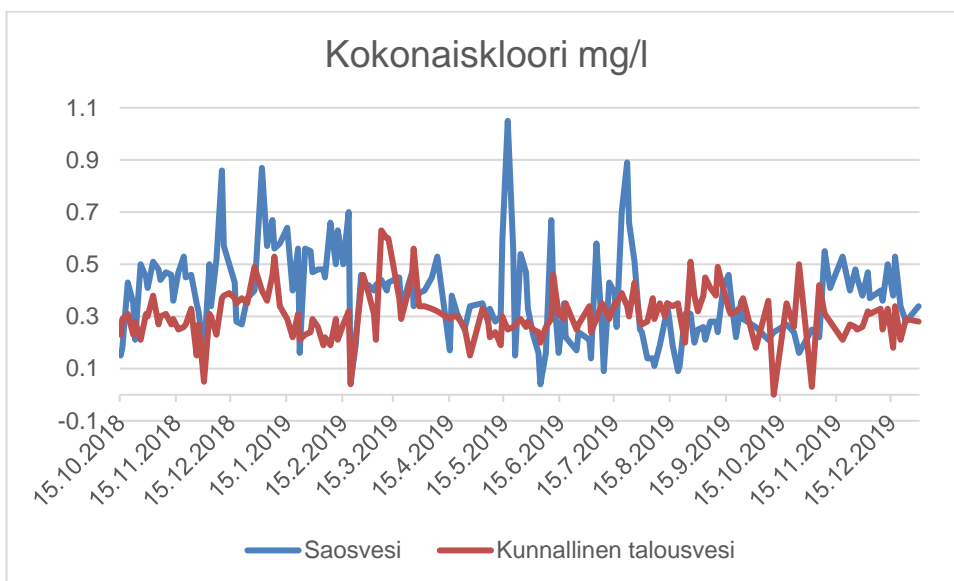
Kuva 1. Raudan omavalvontatulokset 2017–2019.



Kuva 2. Prosessiveden kovuuden omavalvontatulokset 2017-2019



Kuva 3. Kolibakteerien pesäkeluvun omavalvontatulokset 2018–2019.



Kuva 4. Kokonaiskloorin omavalvontatulokset 2018-2019