

Tiia Lehmusmetsä

Biofilmipotentiaalin määrittäminen vedenkäsittelyn seurannassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikka

Insinöörityö

3.4.2015

| | |
|---|---|
| Tekijä(t) Otsikko | Tiia Lehmusmetsä Biofilmipotentialin määrittäminen vedenkäsittelyn seurannassa |
| Sivumäärä Aika | 43 sivua + 1 liite 3.4.2015 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | Bio- ja elintarviketekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | Biolääketiede |
| Ohjaaja(t) | Lehtori Carola Fortelius Laboratorioinsinööri Johanna Laimio |
| <p>Tämän työn tarkoitus oli tutkia mahdollisuutta biofilmin kasvamiseen Vantaan energian jätevoimalaitoksen vesijärjestelmässä. Mielenkiinnon kohteena oli etenkin raakavesisäiliö ja vedenkäsittely. Laitos on niin uusi, että vielä ei ole havaittu mikrobiongelmia.</p> <p>Työ toteutettiin tekemällä kirjallisuuskatsaus, jossa tutkittiin biofilmin muodostumista, biofilmin aiheuttamia ongelmia teollisuudessa, mahdollisia ongelmakohtia jätevoimalaitoksella sekä menetelmiä mikrobikasvuston havaitsemiseen ja poistamiseen. Lopuksi tehtiin lyhyt seurantajakso, jossa mitattiin kokonaisbakteerimäärää vedenkäsittelyn vesistä. Tuloksien perusteella mietittiin koesuunnitelmaa mikrobikasvuston seuraamiseksi.</p> <p>Kokonaisbakteerimääritys tehtiin käänteisosmoosilaitteiston rejektivedestä. Tulokseksi saatiin, että rejektivedessä kasvaa mikrobeja kohtalaisesti. Seurantajakson lyhyden takia ei voida kuitenkaan sanoa tuloksien olevan muuta kuin suuntaa antavia. Huomioon tulee myös ottaa se, ettei tiedetty onko nyt saatu tulos niin sanotusti normaalitilanne vai onko kasvu normaalia suurempaa.</p> <p>Tehdyn selvityksen perusteella todettiin, ettei laitoksella vielä ole mikrobiperäisiä ongelmia. Jos on aihetta epäillä mikrobikasvustoa, otetaan käyttöön jokin koesuunnitelmassa mainittu menetelmä mikrobikasvuston seuraamiseen.</p> | |
| Avainsanat | biofilmi, mikrobiologien korrosio, biofoulaantuminen, vedenkäsittely |

| | |
|---|--|
| Author(s) Title | Tiia Lehmusmetsä Determination of potential to biofilm growth in water treatment monitoring |
| Number of Pages Date | 43 pages + 1 appendices 3 April 2015 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Biotechnology and Food Engineering |
| Specialisation option | Biomedicine |
| Instructor(s) | Carola Fortelius, Senior Lecturer Johanna Laimio, Laboratory Engineer |
| <p>The purpose of this final year project was to research the possibilities of biofilm growth in Vantaan energia's waste power plant's water system. The points of interest were raw water tank and water treatment. The plant is relatively new, so there are no microbiologically influenced problems yet.</p> <p>The project was executed by making a literary overview where the formation of biofilm, problems in industry caused by biofilm, possible problematic points in waste power plant, and methods to investigate or remove microbiological growth were examined. In the end, a short monitoring period were executed, where total bacteria amounts were measured from water treatment waters. On the basis of the results, an experimental design to measure microbiological growth was made.</p> <p>Total bacteria measurement was made from reverse osmosis reject water. Results showed that there is a relatively high amount of bacteria. Because the monitoring period was so short, the results are only directional. Also, it should be noted that it is impossible to tell if the result is a normal situation or if the growth of bacteria has increased.</p> <p>The results indicated that there are not yet a microbiologically influenced problems in the plant. If there is a reason to suspect microbiological growth, one of the methods introduced in experimental design will be put in use.</p> | |
| Keywords | biofilm, microbiologically influenced corrosion, biofouling, water treatment |

Sisälllys

Lyhenteet

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Vantaan Energia Jätevoimalaitos | 2 |
| 3 | Veden käyttökohteet jätevoimalaitoksella | 3 |
| 3.1 | Raakavesi | 3 |
| 3.2 | Pehmennetty vesi | 3 |
| 3.2.1 | Jätevoimalaitoksen näytejäähdytysjärjestelmä | 3 |
| 3.3 | Lisävesi | 4 |
| 4 | Raakaveden laatu jätevoimalaitoksella | 5 |
| 4.1 | Savukaasulauhde | 5 |
| 4.1.1 | Savukaasulauhteen käsittely | 5 |
| 4.1.2 | Savukaasulauhteen käsittelyn seuranta | 6 |
| 4.2 | Kaupunkivesi | 7 |
| 5 | Jätevoimalaitoksen vedenkäsittely | 8 |
| 5.1 | Raakavesi | 9 |
| 5.2 | Veden pehmennys | 9 |
| 5.3 | Lisäveden valmistus | 10 |
| 5.3.1 | Käänteisosmoosi | 10 |
| 5.3.2 | Sähköinen ioninvaihto | 12 |
| 5.3.3 | Sekavaihtimet | 13 |
| 5.4 | Vedenkäsittelyn seuranta | 13 |
| 5.4.1 | Raakavesi | 13 |
| 5.4.2 | Veden pehmennys | 14 |
| 5.4.3 | Käänteisosmoosi | 15 |
| 5.4.4 | Sähköinen ioninvaihto | 16 |
| 5.4.5 | Sekavaihtimet | 16 |
| 6 | Biofilmi | 17 |
| 6.1 | Biofilmin muodostuminen | 17 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.2 | Biofilmi ongelmana teollisuudessa | 19 |
| 6.2.1 | Mikrobiologinen korroosio | 20 |
| 6.2.2 | Biofoulaantuminen | 22 |
| 7 | Ongelmakohdat jätevoimalalla | 24 |
| 8 | Biofilmin kasvun tutkiminen, estäminen ja poistaminen | 26 |
| 8.1 | Kemialliset menetelmät | 26 |
| 8.1.1 | Kemialliset seuranta ja estomenetelmät | 26 |
| 8.1.2 | Kemialliset poistomenetelmät | 28 |
| 8.2 | Fysikaaliset menetelmät | 29 |
| 8.2.1 | Fysikaaliset seuranta ja estomenetelmät | 29 |
| 8.2.2 | Fysikaaliset poistomenetelmät | 30 |
| 8.3 | Mekaaniset menetelmät | 31 |
| 8.3.1 | Mekaaniset seuranta ja estomenetelmät | 31 |
| 8.3.2 | Mekaaniset poistomenetelmät | 33 |
| 9 | Koesuunnitelma biofilmin seuraamiseen | 34 |
| 9.1 | Kokonaisbakteerimääritys | 34 |
| 9.1.1 | Tulokset | 36 |
| 9.1.2 | Tulosten tulkinta | 37 |
| 9.2 | Koesuunnitelma | 37 |
| 10 | Johtopäätökset | 39 |
| | Lähteet | 40 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. HSY veden laatu raportti | |

Lyhenteet

| | |
|------|--|
| GWh | Gigawattitunti. |
| MIC | Microbiologically influenced corrosion. Mikrobiologinen korroosio. |
| RO | Reverse osmosis. Käänteisosmoosi. |
| SBR | Sulphate-reducing bacteria. Sulfaattia pelkistävä bakteeri. |
| PFDA | Perfluorodecyl acrylate. |
| EDI | Electrode deionization. Sähköinen ioninvaihto. |
| pmy | Pesäkettä muodostava yksikkö. |
| BART | Biological Activity Reaction Test. Biologisen aktiivisuuden reaktio testi. |
| DNA | Deoksiribonukleiinihappo. Sisältää eliöiden geneettisen materiaalin. |
| TOC | Total organic carbon. Kokonais-orgaaninen hiili. |
| HSY | Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä. |

1 Johdanto

Tämä insinööriyö on tehty Vantaan Energia Oy:lle 29.9.2014 – 3.4.2015.

Vantaan Energia Oy on yksi Suomen suurimmista kaupunkienergiayhtiöistä. Yhtiön omistavat Vantaan (60 %) ja Helsingin (40 %) kaupungit. Vantaan Energia tuottaa ja myy sähköä ja kaukolämpöä, sekä tarjoaa maakaasua teollisuuden tarpeisiin. Vantaan Energian vastuulla on myös kaukolämpöverkostojen rakentaminen ja huolto Vantaalla. [1]

Sähkön ja kaukolämmön tuotanto tapahtuu pääasiassa jätevoimalaitoksella ja Martinlaakson voimalaitoksella. Jätevoimala tuottaa vuodessa 920 GWh kaukolämpöä ja 600 GWh sähköä. Määrä vastaa noin puolta Vantaan tarvitsemasta kaukolämmöstä ja noin 30 % Vantaan vuotuisesta sähköntarpeesta. Martinlaakson voimalaitos tuottaa loput. Molempien laitosten hyötysuhde on yli 90 %. [1]

Jätevoimalaitos käyttää vettä prosessiin normaalitilanteessa noin 140 000 kuutiota vuodessa. Tämän vuoksi veden laadulla on suuri merkitys laitoksen toimivuuden kannalta. Veden laatua seurataan muuten tarkasti, mutta mikrobiologista laatua ei tällä hetkellä seurata.

Tämän insinööriyön aiheena on selvittää mikrobikasvuston mahdollisuus jätevoimalaitoksen raakavedessä ja vedenkäsittelyssä. Mahdollinen mikrobikasvusto voisi aiheuttaa etenkin vedenkäsittelyssä suuria ongelmia. Työssä on keskitytty biofilmin aiheuttamiin ongelmiin.

Jätevoimalaitos on vielä niin uusi, että mikrobien aiheuttamia ongelmia ei ole ainakaan vielä havaittu. Sen vuoksi työssä keskitytään pohtimaan, mitkä ovat edellytykset mikrobikasvustolle, mikrobikasvuston aiheuttamat haitat ja mitkä ovat jätevoimalaitoksen ongelmakohdat mikrobikasvustoa ajatellen. Lopuksi esitetään menetelmiä mikrobikasvuston havaitsemiseen, kasvun estämiseen ja poistamiseen, sekä vertailtiin mahdollisesti käyttöön otettavia menetelmiä.

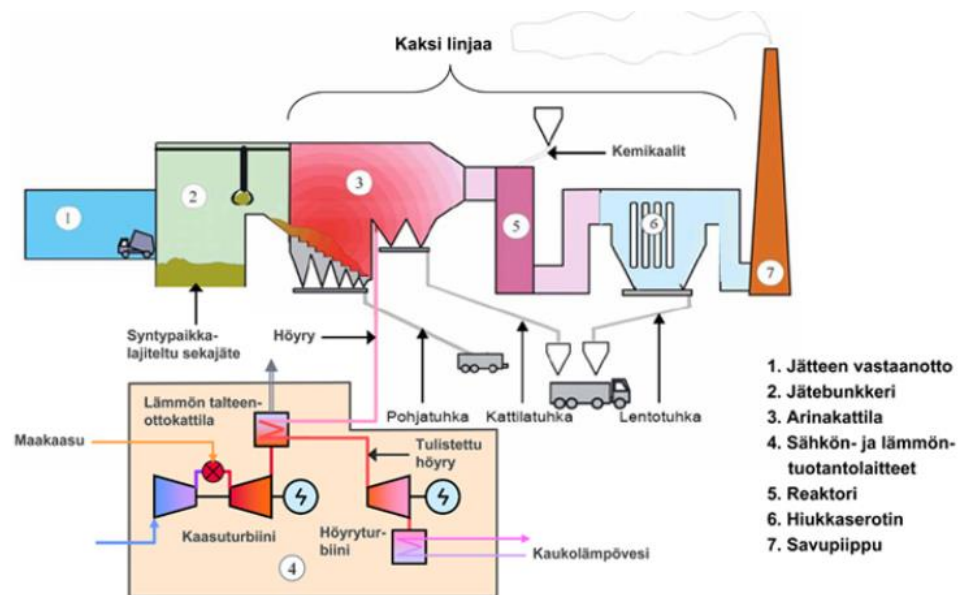
2 Vantaan Energia Jätevoimalaitos

Vantaan energian jätevoimalaitoksen rakentaminen alkoi syksyllä 2011 ja koekäyttö alkoi keväällä 2014. Virallisesti jätevoimala vihittiin käyttöön syyskuussa 2014. Jätevoimalalla poltetaan sekajätettä, joka muuten päätyisi kaatopaikalle. Vuodessa jätettä poltetaan 320 000 tonnia. Jätettä voimalalle toimittavat Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY ja Rosk 'n Roll Oy. Jäte kerätään lähinnä kotitalouksilta Uudeltamaalta. [1]

Jätteen käyttö polttoaineena vähentää fossiilisten polttoaineiden, kuten kivihiilen ja maakaasun, käyttöä. Jätevoimalan ansioista Vantaan energian lämmön ja sähköntuotannon fossiilisten polttoaineiden käyttö vähenee noin 30 % ja hiilidioksidipäästöt pienenevät noin 20 %. Polttoaineena voidaan käyttää myös maakaasua. Maakaasua käytetään lähinnä jätekattiloiden käynnistyksissä ja alasajoissa sekä kaasuturbiinia ajettaessa. [1]

Jätevoimalalla käytettävän savukaasunpuhdistuksen vuoksi jätevoimalan päästöt alittavat keskimäärin 50 %:lla jätteenpolttodirektiivin sallimat päästörajat. [1]

Jätevoimalalla on kaksi jätekattilaa, lämmöntalteenottokattila ja kaasuturbiini. Kuvassa yksi on kuvattuna jätevoimalan pääprosessit. Kaasuturbiinia käytetään tehostamaan sähköntuotantoa. Jätteet poltetaan arinapolttotekniikalla, joka on toimintavarma ja maailmanlaajuisesti käytetyin jätteenpolttotekniikka. Jätteet poltetaan vähintään 850 °C:ssa; normaaliajossa lämpötila on 1 000 °C:sta. [1]



Kuva 1: Vantaan energian jätevoimalan kaaviokuva. Kuvassa laitoksen toiminta pääpiirteittäin. [6]

3 Veden käyttökohteet jätevoimalaitoksella

Vettä käytetään laitoksella paljon, eikä laitos ei voisi toimia ilman vettä. Eri laatuista vettä käytetään hyvinkin erilaisiin kohteisiin, kuten jäähdytykseen, lämmönvaihtoon ja höyryn tuotantoon.

3.1 Raakavesi

Voimalaitoksella raakavettä käytetään prosessissa kattiloiden ulospuhallussäiliöiden jäähdytykseen, pohjakuonan sammutukseen, kattiloiden vesinuohoukseen, savukaasujen puhdistukseen sekä pehmennetyn ja suolanpoistetun veden, eli lisäveden, valmistukseen. Raakavesisäiliöstä otetaan myös palovesi ja sprinklerivesi. [2]

3.2 Pehmennetty vesi

Pehmenettyä vettä käytetään laitoksella sellaisenaan näytejäähdyttimien jäähdytysvetenä, savukaasulauhduttimilla pitämään yllä minimikiertoa, jos lauhdetta ei tule tarpeeksi sekä kaukolämmön lisävetenä. Pehmenetystä vedestä valmistetaan myös lisävettä suolanpoistolla. [3]

3.2.1 Jätevoimalaitoksen näytejäähdytysjärjestelmä

Näytejäähdytysjärjestelmässä kiertää pehmenettyä vettä. Näytteitä jäähdytetään, jotta ne voidaan analysoida. Lähes kaikkien näytteiden lämpötila on yli 100 °C:tta ennen jäähdytystä, höyrynäytteiden jopa useita satoja asteita. Lauhde näytteidenkin lämpötila ennen jäähdytystä on lähelle sataa astetta. [43]

Näytejäähdytysjärjestelmä koostuu jäähdytystornista, jäähdytystornin kiertopumpuista, jäähdytystornikierron suodattimesta, LTO-kattilan ja jätekattiloiden näytejäähdyttimistä sekä putkistoista. Jäähdytysvetenä käytetään pehmenettyä vettä. [4]

Vesi jäähdytetään märkjäähdytystornissa, jossa on koneellinen ilmanotto. Vesi pumpataan tornin yläosaan, josta se sumutetaan alas pohja-altaaseen. Ilmaa virtaa alhaalta

veden vastaisesti. Puhallin sijaitsee tornin päällä. Pohja altaasta vesi pumpataan takaisin näytejäähdytyskiertoon. [4]

Jäähdytystorniin tulevan veden lämpötila on noin 42 °C:tta ja lähtevä vesi maksimissaan 26 °C, uloslähtevän veden lämpötilaksi on kuitenkin asetettu 20 °C:tta. Lämpötilaa säädetään jäähdytystornin puhaltimen taajuusmuuttajalla. Jäähdytysveden virtausnopeus on noin 10 kg/s. [4]

Jäähdytyskierron suodattimen on tarkoitus poistaa kiintoainetta järjestelmästä. Suodattimen huokoskoko on 500 µm, se on itsehuuhteleva, eli huuhtelu käynnistyy paine-eron kasvaessa liian suureksi. Huuhtelun voi myös ajastaa käynnistymään tietyin väliajoin. [4]

3.3 Lisävesi

Lisäveden suurimmat käyttökohteet ovat laitoksen kaksi jätekattilaa, matalapaine- ja välipainekattilat. Normaalitylanteessa kattiloista poistuu vain vähän vettä, lähinnä ulospuhallusten kautta, joka korvataan lisävedellä. Ulospuhalluksia käytetään, jotta kattilavedessä olevat suolat eivät päätyisi höyrykiertoon. [5]

Käynnistystilanteissa kulutus on huomattavasti suurempaa, kun lämmitetään turbiinille meneviä putkistoja, puhalletaan höyryä katolle ja hylätään lämmönvaihtajien lauhteita. Vettä ja höyryä hylätään, jotta mahdolliset seisotuksen aikaiset epäpuhtaudet, lähinnä kiintoaine, saadaan huuhdeltua pois kierrosta. [43]

Lisävettä käytetään myös kaukolämmön ja lauhteen esilämmittimien täyttöön, kaukolämmön lämmönvaihtajien täyttöön, arinan jäähdytysvesijärjestelmän täyttöön sekä kaasuturbiinin pesuvesisäiliön täyttöön. [5]

Lisävettä käytetään laboratoriossa puhtaana vetenä ja vesilaitoksella kemikaalien laimentamiseen sekä glykolin laimentamiseen glykolipiirissä. [5]

4 Raakaveden laatu jätevoimalaitoksella

Raakavesi on koko voimalaitoksen veden perusta, joten sen laatu on hyvin tärkeää. Liikainen raakavesi aiheuttaa ongelmia myöhemmin prosessissa. Raakaveden pääasiallinen lähde on tällä hetkellä kaupunkivesi.

4.1 Savukaasulauhde

Savukaasulauhde on savukaasusta lauhdutettua vettä, jota voidaan käsiteltynä käyttää laitoksen tarpeisiin. Jätepolttoaineen sisältämä vesi höyrystyy kattilan polttokammiossa ja vesihöyryyn sitoutunut energia saadaan savukaasulauhduttimessa talteen jäähdytetäessä savukaasua vesiruiskutuksella. Samalla savukaasut puhdistuvat edelleen ja epäpuhtaudet siirtyvät savukaasulauhteeseen. Lauhduttimilla savukaasun lämpöenergia siirretään kaukolämpöveeten. Laitoksella on kaksi savukaasulauhdutinta, kummallakin jätteenpolttolinjalla omansa. Savukaasulauhduttimet ovat pystymallisia lieriöitä, joihin savukaasu johdetaan yläkautta ja kaukolämpövesi alakautta. Lauhduttimien jälkeen jäähdytynyt savukaasu johdetaan savupiippuun ja sieltä ulos. [6;43]

Savukaasulauhdetta käytetään voimalaitoksella raakavetenä korvaamaan kaupungin talousvettä. Kun savukaasulauhteen käsittely on saatu optimoitua, on tarkoitus käyttää savukaasulauhdetta pääasiallisena raakaveden lähteenä. Tämän vuoksi savukaasulauhteen laatu on tärkeää ja sitä seurataan kuten lisävedenvalmistustakin. [43]

4.1.1 Savukaasulauhteen käsittely

Jotta savukaasulauhdetta voidaan käyttää raakavetenä, sitä tulee käsitellä puhtaammaksi. Lauhduttimilta tuleva vesi johdetaan hiekkasuodattimelle, joka poistaa kiintoainetta ja kiintoaineeseen sitoutuneita metalleja. Hiekkasuotimen jälkeinen puhdas vesi johdetaan amiad-suodattimien kautta savukaasulauhteen käsittelyyn. Amiad-suodattimet poistavat kiintoainetta. Suodattimien huokoskoko on 10 µm, suodattimia on kaksi ja ne ovat vuorotellen käytössä. [7]

Hiekkasuodattimen huuhteluvesi johdetaan lamellille. Lamellilla erotetaan vedestä kiintoainetta. Kiintoaineen erotusprosessi on vielä kesken, mutta tarkoituksena on saada selkeytetty vesi takaisin kiertoon. Lamellilla erottuva liete johdetaan lietesäiliöön ja sieltä

edelleen jatkokäsittelyyn. Kuvassa 2 on esitetty karkeasti savukaasun käsittelyn vaiheet. [7]

Savukaasulauhteen käsittely koostuu pehmentimistä, käänteisosmoosilaitteistosta ja selektiivisistä raskasmetallien ioninvaihtimista. [7]

Pehmentimet poistavat kovuutta aiheuttavat ionit, jonka jälkeen vesi johdetaan aktiivihiili- ja patruunasuodattimien kautta käänteisosmoosilaitteistolle. [7]

Käänteisosmoosilaitteisto on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa on seitsemän paineastiaa, joiden permeaatti johdetaan raakavesisäiliöön. Ensimmäisen vaiheen rejektit johdetaan osittain toiseen vaiheeseen ja osittain takaisin ensimmäisen vaiheen syötteenä. Toinen vaihe voidaan myös ohittaa ja johtaa ensimmäisen vaiheen rejekti suoraan raskasmetalli-ioninvaihtimille. [7]

Toisessa vaiheessa on kaksi paineastiaa. Toisen vaiheen permeaatti johdetaan takaisin syötteenä ennen pehmentimiä. Rejektit kierrätetään osittain toisen vaiheen syötteenä ja loput johdetaan raskasmetalli-ioninvaihtimien kautta viemäriin. [7]

Savukaasulauhteen puhdistus tapahtuu pääasiassa käänteisosmoosilaitteistolla, joka poistaa 96 - 99 % lauhteen suoloista. RO-kalvot poistavat myös orgaanista ainesta ja mikrobeja. RO-kalvojen teoreettinen huokoskoko on $< 0,002 \mu\text{m}$, maksimi lämpötila syöttevedelle on $+ 25 \text{ }^\circ\text{C}$:sta, pH:n tulisi olla alueella 5 - 7 ja johtokyvyn tulisi olla 500 - 1000 $\mu\text{S/cm}$. Permeaatin johtokyky on alle 50 $\mu\text{S/cm}$. [7]

4.1.2 Savukaasulauhteen käsittelyn seuranta

Savukaasulauhteen käsittelystä seurataan osittain samoja asioita kuin lisäveden valmistuksessa. Esisuodattimien ja kalvojen paine-erot kertovat suodattimien ja kalvojen likaantumisen. [7]

Käsittelyä seurataan tällä hetkellä paikallisesti. Lauhteen laatuun ei voida merkittävästi itse vaikuttaa, koska se riippuu ensisijaisesti poltetun jätteen laadusta.

Hiekkasuodattimen jälkeisestä savukaasulauhteesta teetetään tiettyjä analyysejä ulkopuolisella laboratoriollla kuukausittain liittyen viemäriin johdettavien jätevesien tarkkailuun. Lisäksi on teetetty joitakin savukaasulauhteen käsittelyprosessin kannalta kiinnostavia analyysejä prosessin eri vaiheista. [43]

Analyysejä on teetätetty esimerkiksi savukaasulauhde RO:n syötteestä ja permeaatista. Analyysin mukaan permeaatissa ei ole mitattavia pitoisuuksia muita suoloja kuin natriumia. Syötteessä sen sijaan on natriumia, piitä, kloridia ja sulfaattia. [44]

4.2 Kaupunkivesi

Kaupunkiveden laadusta vastaa Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä eli HSY. Vedestä seurataan sen mikrobiologista, fysikaalis-kemiallista ja aistinvaraista laatua. [42]

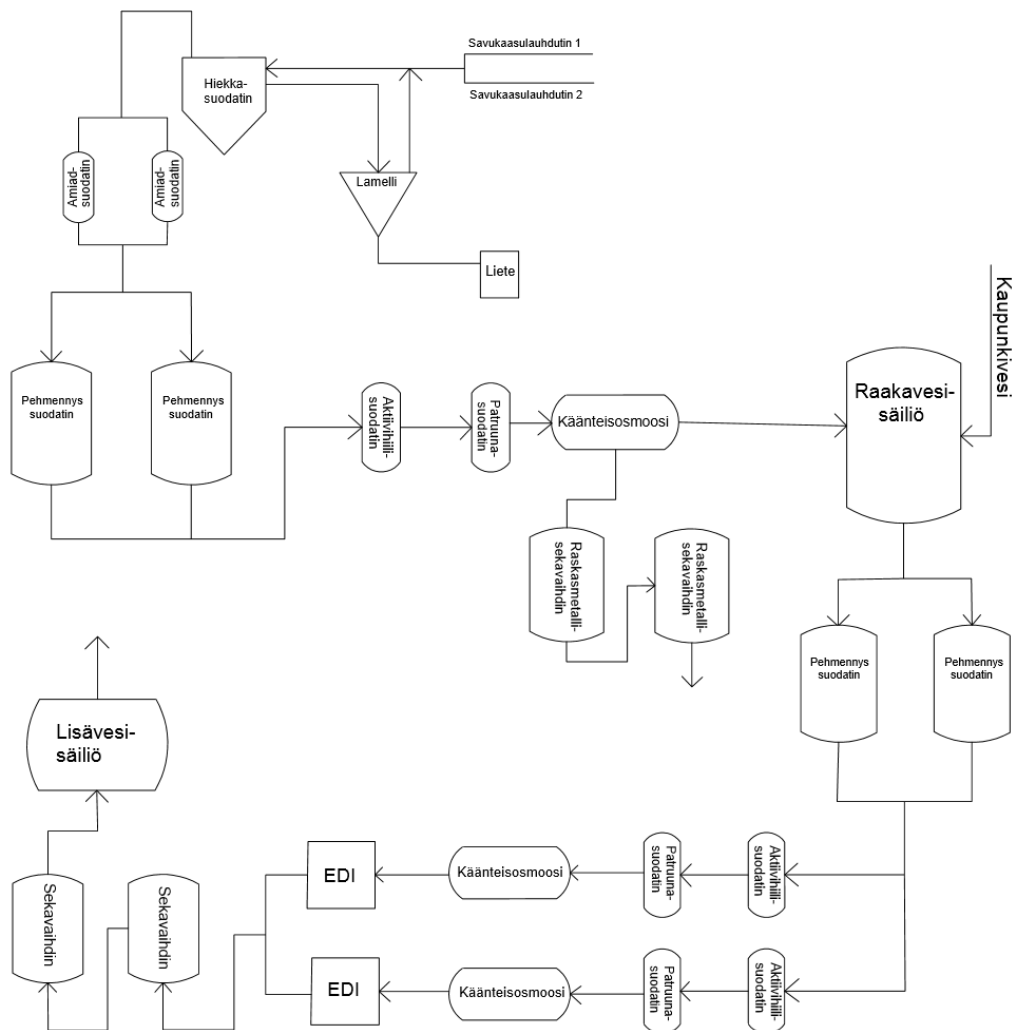
Liitteessä 1 on esitetty HSY:n keskimääräisen veden laadun analyysitodistus, laitoksen raakaveden kannalta kiinnostavia analyysejä on pH, johtokyky, kovuus, TOC, kaliumpermanganaattiluku ja rauta. Muidenkin metallien pitoisuudet ovat tärkeitä, mutta keskimäärin niiden pitoisuudet ovat alle määritysrajan, tai hyvin lähellä sitä [42].

Kaupunkiveden pH on noin 8 ja sähkönjohtavuus noin 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kovuus on noin 3 $^{\circ}\text{dH}$, TOC noin 2 mg/l ja kaliumpermanganaattiluku noin 4 mg/l. Rautaa on keskimäärin 50 $\mu\text{g}/\text{l}$. [42]

5 Jätevoimalaitoksen vedenkäsittely

Jätevoimalaitos kuluttaa paljon vettä ja veden laadulla on suuri merkitys. Lämmön ja sähkön tuotanto perustuu veden ja höyryn kiertoon kattiloissa, höyryturbiinilla ja kauko-
lämpöverkossa. [43] Kuvassa kaksi on esitetty vedenkäsittelyn pääpiirteet.

Raakavetenä laitoksella käytetään kaupungin vesijohtoverkostonvettä sekä käsiteltyä savukaasulauhdetta. Raakavettä käytetään laitoksella sellaisenaan ja sitä käsitellään puhtaampaa vettä vaativiin kohteisiin. Suolatonta vettä tarvitaan kattiloihin, koska kovassa paineessa ja kuumuudessa vähäisetkin epäpuhtaudet voivat aiheuttaa ongelmia, kuten saostumista kattilan seinämiin ja turbiinin siipiin sekä korroosiota vesi-höyry-järjestelmässä. [43]



Kuva 2: Vantaan energian jätevoimalaitoksen vedenkäsittelyn kaaviokuva.

Kaukolämpövesi kiertää omassa putkistossaan ja sen käsittely tapahtuu Vantaan energian Martinlaakson voimalaitoksella. [43]

5.1 Raakavesi

Raakavesi on käsittelemätöntä vettä, josta tehdään puhdasta vettä laitokselle. Raakavettä käytetään myös sellaisenaan joissakin kohteissa. [2]

Raakavesisäiliön tilavuus on 1500 l, säiliö toimii myös palovesisäiliönä ja siinä on aina oltava 1000 l kapasiteettia palovedeksi. Säiliön materiaali on duplex-terästä (1.4162). Lämpötila säiliössä pysyy ympäri vuoden noin 12 °C:ssa. pH vaihtelee 6 ja 9 välillä ja johtokyky on noin 100 µS/cm. [2]

Raakavesipumpuista toinen on käytössä ja toinen varalla, pumppujen minimivirtaus on 4,7 kg/s ja mitoitusvirtaama 25,0 kg/s. Normaali virtaus raakavesisäiliöstä on noin 5 kg/s. Starttipumppu käynnistyy virtauksen ollessa yli 26 kg/s. Pumpun minimivirtaus on 22,3 kg/s ja mitoitusvirtaama 150 kg/s. [2]

Raakaveden esilämmitin on levylämmönvaihdin. Se lämmittää veden + 20 °C:een, joka on vedenkäsittelyn edellyttämä lämpötila. Esilämmitin on sijoitettu pumppujen jälkeen, ennen vedenkäsittelylaitosta. [2] Vedenkäsittelylaitoksella tapahtuu veden pehmenys ja suolan poisto [8].

5.2 Veden pehmenys

Veden pehmenys perustuu ioninvaihtoon. Kovuutta aiheuttavat kalsium- (Ca^{2+}) ja magnesium-ionit (Mg^{2+}). Pehmentimillä kyseiset ionit vaihdetaan natrium-ioneihin (Na^+) ioninvaihtohartsin avulla. Ioninvaihtohartsi elvytetään kylläisellä natriumkloridiliuoksella. [8]

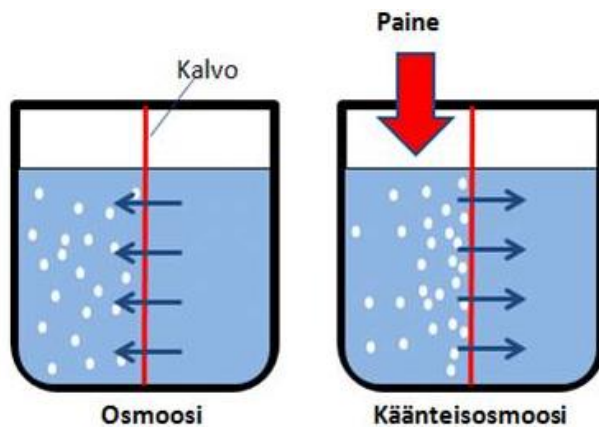
Veden pehennys jätevoimalaitoksella on jatkuvatoimista; laitoksella on kaksi pehennintä, jotka ovat vuorotellen käynnissä. Pehmennettyä vettä käytetään laitoksella sellaisenaan ja siitä valmistetaan lisävettä suolanpoistolla. [8]

5.3 Lisäveden valmistus

Lisävettä valmistetaan poistamalla pehennetystä vedestä lähestulkoon kaikki suolat ja muut epäpuhtaudet. Suolanpoisto tapahtuu kahdella rinnakkaisella sarjalla, joilla on molemmilla esisuodatus, käänteisosmoosilaitteisto (RO) ja sähköinen ioninvaihto (EDI). Sarjojen jälkeen sijaitsevat sekavaihtimet, jotka ovat sarjaan kytketty. [8]

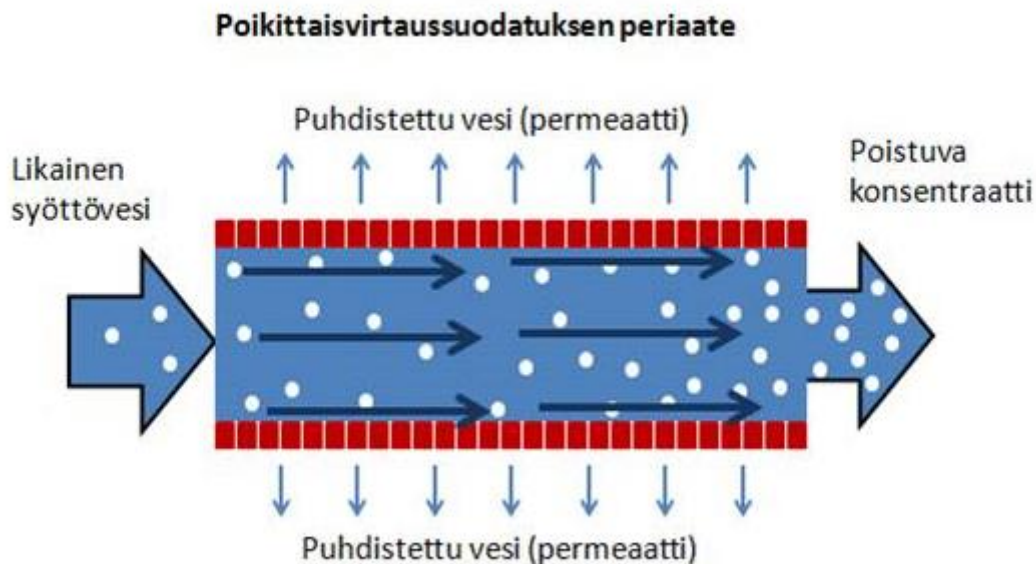
5.3.1 Käänteisosmoosi

Osmoosi on ilmiö, jossa vesi kulkeutuu puoliläpäisevän kalvon läpi sille puolelle, jossa vesipitoisuus on pienempi ja veteen liuenneiden konsentraattien pitoisuus suurempi. Toisin sanoen osmoosi pyrkii tasoittamaan pitoisuseroja vedessä. Käänteisosmoosissa pyritään voittamaan osmoottinen paine, jolloin vesi siirtyy puoliläpäisevän kalvon läpi käänteisesti osmoosiin nähden eli konsentraatti puolelta puhtaammalle puolelle. [9]



Kuva 3: Osmoosi ja käänteisosmoosi. Osmoosissa liuotin siirtyy väkevämmälle puolelle puoliläpäisevän kalvon läpi tasoittaen pitoisuseroja. Käänteisosmoosissa paineen avulla liuotin siirtyy puoliläpäisevän kalvon läpi laimeammalle puolella, puhdistaan liuotinta. [9]

Käänteisosmoosin ongelma on suolan ja muun aineksen konsentroituminen kalvon pinnalle. Tämä ilmiö voidaan estää käyttämällä cross-flow suodatusta, eli poikittais- tai ristivirtaussuodatusta. Tekniikka perustuu veden syöttämiseen suurella nopeudella kalvon suuntaisesti, jolloin konsentroitumista kalvon pinnalle ei tapahdu. [9]



Kuva 4: Cross-flow suodatuksen toiminta periaate. Vesi syötetään kalvojen suuntaisesti, jolloin ei tapahdu konsentroitumista RO-kalvoille. Kuvassa RO-kalvot piirretty punaisella. [9]

Suolanpoisto laitoksella tapahtuu pääasiassa käänteisosmoosilaitteistolla, joka poistaa noin 98 % raakaveden suoloista. Ennen käänteisosmoosilaitteistoa ovat esisuodattimet, 5 µm aktiivihillisuodattimet ja 1 µm patruunasuodattimet, joiden tarkoitus on poistaa suurin kiintoaines ja vapaa kloori. [8]

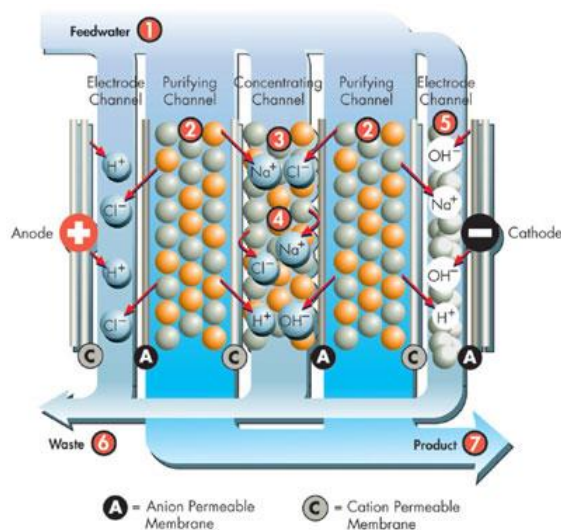
Jätevoimalaitoksella on kaksi RO-laitteistoa, jotka voivat olla päällä samaan aikaan tai yksi kerrallaan, riippuen lisävesisäiliön pinnasta. Kummassakin RO-laitteistossa on kaksi paineastiaa. Paineastiassa sijaitsevat RO-kalvot. Pehmennetty vesi syötetään ensimmäisille kalvoille, joilta poistuva rejektio syötetään toisille kalvoille. Toisilta kalvoilta poistuvasta rejektistä osa johdetaan takaisin RO-syöttövedeksi ja osa johdetaan rejektitankkiin. [8]

Permeaattivirrat yhdistyvät paineastioiden jälkeen. Permeaatti johdetaan edelleen sähköiseen ioninvaihtoon. Permeaattia saadaan noin 75 % syötetystä vedestä ja konsentraattia tulee tällöin 25 %. [8]

Sähkönjohtavuus RO-kalvojen jälkeen tulisi olla alle 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, silikaattipitoisuus alle 0,12 mg/l, natriumpitoisuus alle 0,5 mg/l, jäännekovuus alle 0,05 °dH ja TOC alle 0,2 mg/l. [8]

5.3.2 Sähköinen ioninvaihto

Sähköisessä ioninvaihdossa, eli EDI:llä (electrode deionization), poistuu lähes kaikki loput suolat. EDI:n toiminta perustuu ioninvaihtohartsilla täytettyihin kennoihin, jotka rajoittuvat puoliläpäiseviin kalvoihin, toisella puolella on anionispesifinen kalvo ja toisella puolella kationispesifinen kalvo. Ioninvaihtohartsilla täytetyt kennot ovat sijoitettu anodin ja katodin väliin. Hartsia ei tarvitse elvyttää, koska vesimolekyylit hajoavat sähkökentässä ja regeneroivat massaa jatkuvasti. [8]



Kuva 5: Elektronisen ioninvaihdon toiminta periaate. Vedestä poistetaan ionit käyttämällä sähköä ja puoliläpäiseviä kalvoja hyväksi. Ionit liikkuvat kohti anodia ja katodia jännitteen ja ioninvaihtohartsin avulla, joista ne huuhdotaan konsentraatin mukana pois. [39]

Ionit kulkeutuvat kohti anodia ja katodia jännitteen sekä ioninvaihtohartsin avulla. Läpäistään puoliläpäisevän kalvon ionit huuhdotaan konsentraatti virtauksen mukana rejektisäiliöön. [8]

Jätevoimalla on kaksi EDI:ä, yksi kummallakin sarjalla. EDI:en saanto on noin 95 %. EDI:en jälkeen vedessä tulisi olla silikaattia ja natriumia alle 0,01 mg/l, TOC:a alle 0,2 mg/l ja sähkönjohtavuuden tulisi olla alle 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. [8]

5.3.3 Sekavaihtimet

EDI:en permeaatit yhdistetään ja johdetaan sekavaihtimille, jotka varmistavat veden laadun jos EDI:t eivät toimi kunnolla. Sekavaihtimissa on anioni- sekä kationihartsia. Hartseja ei elvytetä, vaan niiden ehtyessä ne vaihdetaan uusiin. Sekavaihtimilta vesi johdetaan lisävesisäiliöön ja sieltä edelleen prosessiin. [8]

Sekavaihtimien jälkeen vedessä tulisi olla natriumia ja silikaattia alle 0,01 mg/l, TOC:a alle 0,2 mg/l ja sähkönjohtavuuden tulisi olla alle 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. [8]

5.4 Vedenkäsittelyn seuranta

Vedenkäsittelyn seuranta on tärkeää. Seuranta tehdään, jotta voidaan varmistaa tuotettavan veden laatu ja laitteiden toimivuus. Seurannan perusteella päätetään myös laitteiden puhdistuksesta ja huolloista. Seurantaan kuuluu laitteiden toimivuuden seuranta paikallisesti sekä vesien laadun analysointia laboratoriossa. [43]

Tällä hetkellä vedenkäsittelyssä seurataan raakaveden laatua, pehmennetyn veden laatua, RO-laitteiston toimivuutta ja veden laatua, EDI:en toimivuutta ja veden laatua sekä sekavaihtimien toimintaa ja veden laatua. Myös savukaasulahteen käsittelyä seurataan. Vedenkäsittelyn toimintaa seurataan joka päivä, mutta tarkat arvot ja analyysit otetaan kerran viikossa. [43]

5.4.1 Raakavesi

Raakavedestä määritetään pH ja johtokyky, kovuus, kiintoaine ja kaliumpermanganaattiluku. pH:ta ja johtokykyä seurataan esimerkiksi siksi, että tietyllä pH alueella tapahtuu metallien saostumista. Saostuneet metallit voivat tukkia RO-kalvoja ja esisuodattimia. Alhainen pH kertoo myös hiilidioksidin liukenemisestä veteen. Hiilidioksidi muodostaa

veden kanssa hiilihappoa, joka laskee veden pH:ta ja näin lisää korroosio riskiä. Hiilidioksidia ei saa poistettua vedenkäsittelyssä; poistaminen tapahtuu annostelemalla natriumhydroksidia veteen. [43]

Kovuusmäärityksellä mitataan kalsium ja magnesium pitoisuuksia. Jos kovuutta on paljon, se kuluttaa pehmennyssuodattimien hartsia nopeammin. Tällöin pehmentimille asetettu jakson pituus voi loppua kesken ja kovuutta voi päästä läpi. [43]

Kiintoaine kertoo raudanoksidien määrän. Suuri rautapitoisuus voi kertoa säiliön ruostumisesta tai että kaupunkivesiverkosta tulee rautaa. Kiintoaine aiheuttaa ongelmia myöhemmin vedenkäsittelyssä, esimerkiksi tukkimalla RO-kalvoja. [43]

Kaliumpermanganaattiluku kertoo kemiallisen hapenkulutuksen. Kemiallista hapenkulutusta voidaan käyttää orgaanisen aineksen määrän arviointiin vedestä. Korkea kaliumpermanganaattiluku tarkoittaa, että vedessä on paljon orgaanista ainesta, jota bakteerit voivat käyttää ravintona. [43;47] Kaliumpermanganaattiluvulle ei ole asetettu raja-arvoa mutta sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa talousveden laatuvaatimuksista tavoitearvoksi on asetettu 5 mg/l [10].

5.4.2 Veden pehmennys

Pehmennyssuodattimilta seurataan paikallisesti kovuutta, virtauksia ja painetta. Pehmennyssuodattimelle on asetettu raja-arvot paineen ja virtauksien suhteen, joita ei tule ylittää tai laitteiden toimivuus voi kärsiä. Kovuusanalysointori hälyttää, jos asetettu raja-arvo ylittyy. Tämä kertoo pehmentimien hartsin ehtymisestä. [11;43]

Pehmennetystä vedestä analysoidaan kovuus, kiintoaine ja vapaa kloori. Kovuusanalyysi kertoo, jos pehmentimien hartsi on ehtynyt. Pehmentimillä on myös jatkuvatoiminen mittaus, laboratorioanalyysi tehdään varmistukseksi. Kiintoaine määrityksen funktio on sama, kuin raakavedellä. Jos pehmentimien kiintoaine on huomattavasti suurempi kuin raakaveden, kertoo se pehmentimien mahdollisesta ruostumisesta tai muusta ongelmasta. [11;43]

5.4.3 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosilaitteistoista seurataan paikallisesti syöttöpaineita ja lähtöpaineita, johtokykyä, paineenkorotuspumpun taajuutta sekä virtauksia. Paineita seurataan, jotta nähdään nouseeko paine-ero jossakin kohtaa laitteistoa. Seurattavia kohteita ovat aktiivihii-lisuodattimet, patruunasuodattimet ja RO-kalvot. Paine-eron nousu kertoo suodattimien tai kalvojen likaantumisen. Aktiivihii- ja patruunasuodattimilla paine-eron noustessa yli yhteen bar:n, tulee suodattimet vaihtaa. RO-kalvoilla paine ero ei saa nousta yli 15 % puhtaiden kalvojen paine-eroa suuremmaksi. Jos paine-ero nousee kalvoilla, ne tulee pestä. [11;43]

Johtokykyä seurataan RO-permeaatista. Johtokyvyn nousu tarkoittaa, että kalvot päästävät läpi enemmän suoloja kuin aiemmin. Tämä kertoo kalvojen likaantumisen tai vaurioitumisesta. Virtausta seurataan permeaatista, rejektistä ja rejektin kierrätyksestä. Tärkein virtausmittaus on permeaattivirtaus. Kalvojen likaantuessa permeaattivirtaus pienenee, jolloin kalvot tulee pestä. Rejkti- ja rejektin kierrätysvirtaus kertovat kalvojen hyötysuhteesta. Paineenkorotuspumpun taajuus kertoo myös kalvojen likaantumisen. Jos pumpun taajuus nousee huomattavasti ja RO-kalvojen syöttöpaine ei muutu, ovat kalvot likaantuneet. [11;43]

Laboratoriossa RO-laitteiston näytteistä tutkitaan kiintoaine-, silikaatti- ja natriumpitoisuudet. Kiintoaine tutkitaan rejektivedestä. Jos kiintoainepitoisuus on pitkän aikaa korkea, voi olettaa kohta kalvojen olevan tukossa. Jos rejektissä on paljon kiintoainetta, mutta esisuodattimien paine-ero ei ole noussut, voi olettaa että suodattimet eivät toimi niin kuin pitäisi. Silikaatti- ja natriumpitoisuudet mitataan permeaattivedestä. Ne kertovat kalvojen suolanerotuskyvystä. Jos pitoisuudet nousevat paljon, ovat kalvot likaiset ja ne tulisi pestä. [11;43]

Kalvojen likaantuessa ensimmäisenä yleensä nousee paine-ero ja permeaattivirtaus pienenee. Kalvovalmistajalla on suositukset erilaisten epäpuhtauksien pesuun ja käytettävään kemikaaleihin. [11;43]

5.4.4 Sähköinen ioninvaihto

EDI:itä seurataan paikallisesti painetta, virtauksia, johtokykyä, virtaa ja jännitettä. EDI:itä ei seurata paine-eroja, vaan paineen pysymistä samana. Paineiden tulisi pysyä tietyssä suhteessa toisiinsa nähden. Painetta seurataan syötteestä, konsentraatin syötteestä, ulostulevasta konsentraatista, elektrolyyttikonsentraatista ja permeaatista. [11;43]

Permeaatista, elektrolyyttikonsentraatista ja konsentraatista seurataan virtauksia. Tästäkin permeaattivirtaus on tärkein. Jos RO-permeaattivirtaus ei ole pienentynyt, mutta EDI:n permeaatti on, voidaan olettaa EDI:n likaantuneen. Rejektit kertovat EDI:n hyötysuhteesta. [11;43]

Johtokykyä seurataan permeaatista. Johtokyvyn nousu kertoo, että EDI:t päästävät suola läpi. Tällöin ne tulisi pestä. EDI:lle on asetettu tietty virta, joka pysyy samana koko ajan. Jännitteen nousu kertoo EDI:n likaantumisesta. Jos jännite nousee ja virta pysyy samana, on EDI:llä enemmän vastusta, eli se tekee enemmän töitä saadakseen veden puhtaaksi. [11;43]

Laboratoriossa mitataan permeaatin silikaatti- ja natriumpitoisuudet. Kohonneet pitoisuudet kertovat, että EDI:t eivät enää poista kaikkia suoloja. Tällöin EDI:t tulisi pestä. [11;43]

5.4.5 Sekavaihtimet

Sekavaihtimilta seurataan paikallisesti paineita, virtauksia ja johtokykyä. Painetta seurataan sekavaihtimille sisään tulevasta ja ulos menevästä vedestä, sekä hartsinpidättimiltä. Hartsinpidättimien paine-eron nousu kertoo niiden tukkeutumisesta. Sekavaihtimilta seurataan vain virtausta lisävesisäiliöön. Virtauksen ei tulisi muuttua, jos EDI:llä ei ole muutoksia virtauksissa. [11;43]

Laboratoriossa tutkitaan silikaattipitoisuutta. Kohonnut silikaattipitoisuus tarkoittaa ioninvaihtohartsin olevan ehtynyt, jolloin se tulisi vaihtaa. Koska sekavaihtimet ovat peräkkäin, tulisi silikaattipitoisuuden nousta ensimmäisellä vaihtimella ensin. [11;43]

6 Biofilmi

Biofilmi on bakteerien, levien, sienten ja alkueläinten, yhdessä tai erikseen, muodostama kasvusto.[12;13] Biofilmi määritellään normaalisti pintaan kiinnittyneiden mikrobien muodostamana yhteisönä, jota suojaa polysakkaridi kerros. [13] Biofilmi voi muodostua yhdestä mikrobikerroksesta tai useista erityyppisistä mikrobikerroksista sekä kuolleista mikrobeista. [13] Biofilmin kasvualusta voi myös vaikuttaa biofilmin olomuotoon.[13] Kaikki bakteerit muodostavat biofilmiä, mutta eri bakteerilajien muodostamien biofilmien välillä on eroja; toiset lajit muodostavat vahvemman polysakkaridi kerroksen kuin toiset [13]. Luonnossa suurin osa bakteereista esiintyy biofilmi-muodossa. [14]

Biofilmi aiheuttaa muun muassa biofoulaantumista, joka tarkoittaa biologisen aineksen kerääntymistä johonkin pintaan. Myös mikrobiologinen korrosio on biofilmin aiheuttama ilmiö. [15;16]

6.1 Biofilmin muodostuminen

Biofilmiä voi muodostua lähes minkälaisen materiaalin pinnalle tahansa.[12;13] Biofilmiä on löydetty erittäin vähäravinteisista sekä erittäin runsasravinteisista ympäristöistä. [13] Biofilmin muodostuminen alkaa kuitenkin mikrobien kiinnittymisellä pintaan, jolloin kasvuolosuhteet vaikuttavat siihen, millaisia mikrobeja kyseisessä paikassa kasvaa ja millaisen biofilmin ne muodostavat. [13;17] Biofilmin muodostuminen voi kestää minuuteista tunteihin, riippuen ympäröivistä olosuhteista [13].

Tärkeimmät mikrobikasvustoon vaikuttavat tekijät ovat ympäristön pH, vesi, happi, valo, ravinteet ja lämpötila [18]. Mikrobeja voidaan luokitella monella tapaa, riippuen esimerkiksi niiden kasvuolosuhteista. Mikrobit jaetaan yleensä anaerobisiin ja aerobisiin mikrobeihin hapen tarpeen mukaan; psykrofiilisiin, mesofiilisiin, termofiilisiin ja hypertermofiilisiin lämpötila optimin mukaan; asidofiilisiin, alkalofiilisiin ja neutrofiilisiin pH optimin mukaan; kemotrofisiin ja fototrofisiin energian saannin mukaan, heterotrofisiin ja autotrofisiin hiilen lähteen mukaan sekä halofiilisiin, halotolerantteihin, ekstremofiileihin, osmofiilisiin ja kserofiilisiin veden aktiivisuuden mukaan, eli suolan ja sokerin tarpeen/siedon mukaan. [17;18;41]

Anarobiset mikrobit eivät yleensä siedä happea ollenkaan, eri mikrobilajien herkkyys hapelle voi vaihdella. Aerobit mikrobit tarvitsevat happea kasvaakseen, optimaalisin happipitoisuus on noin 21 %, eli ilman happipitoisuus. On myös olemassa mikroaerofiilejä mikrobeja, jotka sietävät vähän happea, kuitenkin alle 21 %, sekä fakultatiivisiä mikrobeja, jotka muuttavat aineenvaihduntaansa hapen läsnäolon mukaan. [14;18]

Psykrofiilien mikrobien optimikasvulämpötila on -5 – 20 °C:sta, mesofiilien optimi on 20 – 40 °C:sta, termofiilien optimi on 45 – 80 °C:sta ja hypertermofiilien optimi on yli 80 °C:sta. Asidofiilisten mikrobien pH optimi on 0 – 7, alkalofiilien 7 – 14 ja neutralofiilien 3 – 10. [14;18]

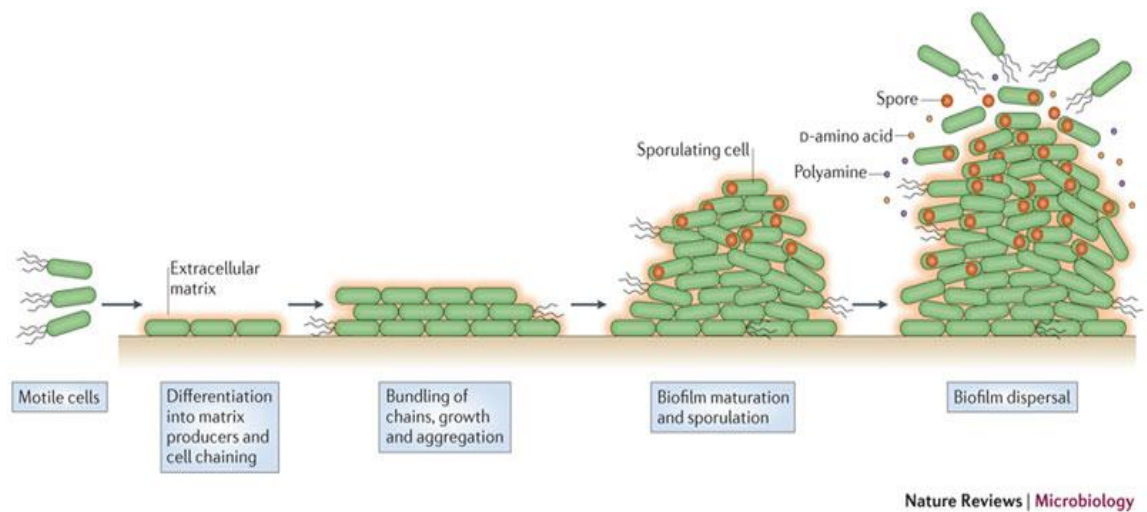
Kemotrofiset mikrobit käyttävät kemiallisia yhdisteitä energian lähteenä ja vastaavasti fototrofiset mikrobit saavat energiaa auringon valosta. Heterotrofiset mikrobit käyttävät orgaanisia yhdisteitä hiilen lähteenä ja autotrofiset mikrobit hiilidioksidia. Pääosa bakteereista on kemoheterotrofisia, eli käyttävät energian lähteenä kemiallisia yhdisteitä ja hiilen lähteenä orgaanisia yhdisteitä. Levät taas ovat usein fotoautotrofisia, eli käyttävät energian lähteenä auringon valoa ja hiilen lähteenä hiilidioksidia. [14;18]

Halofiilit mikrobit vaativat yli 1 % suolapitoisuutta, ekstremofiilien optimi on 15 – 30 % suolapitoisuus. Halotolerantit mikrobit sietävät pieniä suolapitoisuuksia. Osmofiilit mikrobit viihtyvät korkeissa sokeripitoisuuksissa ja kserofiilit mikrobit viihtyvät kuivissa olosuhteissa. [14;18]

Ravinteista tärkeimmät ovat orgaaninen hiili, typpi ja fosfori [18]. Muita tärkeitä ravinteita ovat rikki, natrium, magnesium, rauta, kalium ja kalsium [18].

Biofilmin muodostuminen alkaa oikeista olosuhteista. Kun veden kemialliset yhdisteet, orgaaniset yhdisteet ja proteiinit ovat järjestäytyneet sähköstaattisesti oikein, voivat mikrobit kiinnittyä pintaan. Kiinnittymiseen mikrobit käyttävät eksopolysakkarideja, eli soke-ripolymeereja, joita mikrobit erittävät ulkopuolelleen. Eksopolysakkarideilla on myös tärkeä rooli mikrobien suojautumisessa ulkopuolisilta tekijöiltä. Biofilmin kasvaessa paksummaksi, alkaa muodostua eroja alempien ja ylempien kerrosten välille. Ylempänä olevat mikrobit saavat enemmän ravinteita, jolloin ne kasvavat nopeammin. Biofilmi alkaa myös keräämään muitakin partikkeleja, niin epäorgaanisia kuin orgaanisiakin, jotka kasvattavat biofilmin paksuutta lisää. [17]

Seisovassa vedessä biofilmi kasvaa herkemmin ja nopeammin, kuin virtaavassa vedessä. Ravinteiden määrä on kuitenkin suurin rajoittava tekijä.



Kuva 6: Biofilmin muodostuminen. 1. Liikkuvat bakteerit kiinnittyvät pintaan ja muodostavat polysakkaridikerroksen. 2. Lisää bakteereja kiinnittyy biofilmiin. 3. Biofilmi kasvaa ja jotkin bakteerit muodostavat itiöitä. 4. Biofilmistä irtoaa kappaleita ja yksittäisiä bakteereja. [Nature Reviews Microbiology 11/2013, s. 157–168]

Kun biofilmiä alkaa muodostua pintaan ja se kasvaa, voi sen rakenne ja mikrobikoostumus muuttua. Biofilmin ollessa yli 12 μm , se voi muodostaa anaerobisia pisteitä. Tällöin anaerobiset bakteerit, kuten sulfaattia pelkistävät bakteerit, pääsevät kasvamaan biofilmissä. Biofilmin kasvaessa siihen muodostuu usein erilaisia kemikaalikerrostumia. Biofilmin alla olosuhteet alkavat muuttua, verrattuna ympäröivään materiaaliin. pH ja happipitoisuuden muuttuessa tapahtuu esimerkiksi metallin aateloitumista, joka tarkoittaa metallin korroosio potentiaalin muuttumista positiivisempaan suuntaan, jolloin metalli liukenee helpommin. Tämä aiheuttaa metallin pintaan kuoppia. [15;17]

6.2 Biofilmi ongelmana teollisuudessa

Biofilmi aiheuttaa monia ongelmia teollisuudessa, esimerkiksi vesijohtoverkostossa, säiliöissä, suodattimissa, vedenkäsittelyssä ja jäähdytysjärjestelmissä. Biofilmi kasvaa helposti hitsattuihin kohtiin ja muutenkin karkeisiin materiaaleihin. Biofilmi voi aiheuttaa te-

hokkuuden laskua, laitteiden vaurioitumista ja biofoulaantumista putkistoissa, lämmönvaihtajissa sekä muissa koneistoissa. Biofoulaantumisen ohella mikrobiologinen korrosio on biofilmin aiheuttamia suurimpia ongelmia. Biofilmi aiheuttaa teollisuudelle vuosittain miljardien dollarien menetyksen. Biofilmi voi myös vaikuttaa ihmisten terveyteen, kun mikrobit pääsevät kosketuksiin elintarvikkeiden tai juomaveden kanssa. [15;17]

Ongelmana biofilmi on suuri etenkin siksi, että sen poistaminen on hankalaa. Paras tapa saada biofilmi poistettua on mekaaninen poistaminen, kuten hankaus tai harjalla pesu. Usein tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, mikä vaikeuttaa biofilmin poistamista huomattavasti. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää kemiallisia ja fysiologisia menetelmiä. Koska biofilmin poistaminen on hyvin hankalaa, kasvun estäminen on ensiarvoisen tärkeää.

Tässä kirjallisuuskatsauksessa keskitytään mikrobiologiseen korroosioon ja biofoulaantumiseen.

6.2.1 Mikrobiologinen korrosio

Mikrobiologinen korrosio, MIC, on mikrobien toiminnasta aiheutuvaa korroosiota. Mikrobiologisen korroosion on arvoitu olevan vastuussa 20 %:sta korroosion aiheuttamista vaurioista. [17]

MIC on sähkökemiallinen tapahtuma, joka vaatii mikrobien lisäksi energian lähteen, hiilen lähteen, elektronin luovuttajan, elektronin vastaanottajan sekä vettä.[15;17]

Mikrobit, jotka aiheuttavat korroosiota, ovat yleensä kiinnittyneitä pintaan biofilminä; myös biofoulaantuminen voi aiheuttaa mikrobiologista korroosiota. Mikrobiologista korroosiota voi esiintyä lähes kaikenlaisissa ympäristöissä, kuten maalla ja makeassa että suolaisessa vedessä.[17] Tämän kirjallisuuskatsauksen kannalta kiinnostavin paikka on kuitenkin teollisuus ja teollisuuden materiaalit. Mikrobiologisen korroosion esiintymistä on tutkittu eniten metalleissa, mutta sitä voi esiintyä myös muovi ja kumi pinnoilla [15].

Mikrobit voivat aiheuttaa korroosiota muun muassa käyttämällä pintamateriaalia aineenvaihdunnassaan ja tuottamalla happoa tai muita konsentraatteja, happoja tai sulfideja sekä synnyttämällä hapetus-pelkistysreaktioita. [15]

Monet mikrobit tuottavat orgaanisia happoja, jotka liuottavat pintamateriaalia, mutta muodostavat myös kompleksiyhdisteitä, joilla voi olla erilaisia vaikutuksia pintamateriaaliin. Jotkin mikrobit voivat tuottaa epäorgaanisia happoja, kuten rikkihappoa ja typpihappoa, jotka ovat voimakkaasti syövyttäviä. Rikkihappoa muodostuu esimerkiksi, kun *Thiobacillus* -suvun bakteerit hapettavat rikkivetyä. Typpihappoa muodostuu vastaavasti, kun bakteerit hapettavat nitriittiä ja ammoniakkia. [15]

Jotkin mikrobit voivat pelkistää sulfaattia rikkivedyksi ja yhä edelleen rautasulfaatiksi tai rikkihapoksi. [15] Nämä sulfaattia pelkistävät bakteerit, esimerkiksi desulfovibriot, kiihdyttävät korroosiota ja aiheuttavat vaurioita etenkin putkistoissa, pumppausjärjestelmissä ja säiliöissä. Sulfaattia pelkistäviä bakteereja on todettu esiintyvän eniten korrosio tapauksissa ja niitä on tutkittu eniten mikrobiologisen korroosion aiheuttajana. [15;17]

Biofilmin kasvaessa olosuhteet muuttuvat biofilmin sisällä, jolloin biofilmiin muodostuu erilaisia kemikaali-konsentroitumia. Kloridi on yksi yleisimmistä konsentroituvista kemikaaleista. Kloridi kiihdyttää korroosiota metalleissa. [15]

Metallin pinnalle muodostuva biofilmi aiheuttaa anodisia ja katodisia reaktioita, jotka aiheuttavat muun muassa pisteruostumista. [15]

Ruostumattomalle teräkselle eniten korroosiota aiheuttaa rautaa ja mangaania hapettavat bakteerit, kuten *Gallionella*-bakteerit. Rautaa ja mangaania hapettavat bakteerit tuottavat esimerkiksi ferrikloridia, joka aiheuttaa ruostumattomassa teräksessä voimakasta pistesyöpymistä. Ruostumattoman teräksen pinnalla biofilmi aiheuttaa katodisia reaktioita. [15]

Mikrobiologinen korrosio on yleensä monen mekanismin ja reaktion yhteisvaikutusta, jolloin voi olla vaikeaa päätellä mistä korrosio johtuu. [15]

Mikrobit voivat edesauttaa putkien ja muiden rakenteiden vaurioitumista myös välillisesti. Mikrobien tuottamat hapot laskevat veden pH:ta, mikä itsessään lisää korrosio-riskiä, mutta estää myös pintaa suojaavan kerrostuman muodostumisen. [15]

Taulukko 1: Mikrobiologista korroosiota aiheuttavia mikrobiryhmiä, niiden kasvuolosuhteet ja vaikutustavat. [15]

| Mikrobiryhmä | Olosuhteet verkoston sisällä | Maaperän ominaisuudet | Materiaalit, joihin voivat vaikuttaa | Vaiikutustapa* |
|--|--|--|--|--|
| Sulfaattia pelkistävät bakteerit (SRB), (esim. <i>Desulfotomobrio</i> , <i>Desulfobacter</i>) | 1. Hapettomuus/ vähähappisuus lisää riskiä, jotkut lajit siedävät happea. 2. Havaittu matalissa lämpötiloissa. 3. Vähäinen virtaus lisää riskiä. | Riskiä lisää matala ominaisvastus, sulfaattipitoisuus, savi (etenkin merenpohjan), muta, epäsojiva täyttömateriaali. | teräs, ruostumaton teräs, valuraudat, kuparimetallit, sinkki, alumiini | Pelkistävät sulfaatin rikkivedyksi tai sulfidiksi. |
| Rikkiä ja sulfidia hapettavat bakteerit (esim. <i>Thiobacillus</i>) | 1. Hapelliset olosuhteet. 2. Havaittu matalissa lämpötiloissa. | Ei tietoa | metallit (ei tarkempaa tietoa) | Alkuainerikki tai sulfidi hapettuu rikkihapoksi. |
| Rautaa tai mangaania hapettavat bakteerit (esim. <i>Gallionella</i> , <i>Leptothrix</i>) | 1. Hapelliset olosuhteet. 2. Havaittu matalissa lämpötiloissa. | Ei tietoa | teräs, ruostumaton teräs, valuraudat | Ryhmässä monia mekanismeja. Rautanystryöden muodostuminen tyypillistä. Hapettavat rautaa ja mangaania. |
| Rautaa hapettavat ja limaa tuottavat bakteerit (erityisesti <i>Sphaerotilus</i> , <i>Pseudomonas</i>) | 1. Hapelliset olosuhteet. | Ei tietoa | teräs, ruostumaton teräs, valuraudat | Ryhmässä monia mekanismeja. Hapettavat rautaa ja tuottavat limaa, vaikuttavat vahvasti konsentraatiokannojen muodostumiseen. Lisävät SRB:n todennäköisyyttä. |
| Nitraattia pelkistävät bakteerit | 2. Havaittu matalissa lämpötiloissa. | Ei tietoa | metallit (ei tarkempaa tietoa) | Ei tietoa |
| Ammoniakkaa ja nitriittiä hapettavat bakteerit | 1. Hapelliset olosuhteet. | Ei tietoa | Ei tietoa | Ammoniakki ja nitriitti hapettuvat typpihapoksi ja typpihapokkeeksi |
| Happoja tuottavat sienet | 1. Hapelliset olosuhteet. | Elävät maaperässä, ei tietoa vaikutuksista materiaaleihin. | Ei tietoa | Orgaanisia happoja muodostuu. |
| Aktinomykeetit (aktinobakteerit) | 2. Havaittu matalissa lämpötiloissa. | Elävät maaperässä, ei tietoa vaikutuksista materiaaleihin. | luonnonkumi | Ei tietoa |

* vaikutustapa riippuu materiaalista

6.2.2 Biofoulaantuminen

Biofoulaantuminen tarkoittaa biologisen materiaalin, kuten mikrobien, levien, kasvien tai eläinten kasaantumista ja kiinnittymistä johonkin pintaan. Usein biofoulaantumista esiintyy biofilmin muodossa, mutta myös muut organismit voivat aiheuttaa foulaantumista. Esimerkiksi simpukoiden kerääntyminen vedenalaisiin rakennelmiin luetaan biofoulaantumiseksi. [16] Tässä kirjallisuuskatsauksessa keskitytään mikrobien aiheuttamaan biofoulaantumiseen.

Biofoulaantumista voi esiintyä muun muassa putkistoissa, vedenkäsittelyssä, jäähdytysjärjestelmissä, paperitehtailla viiroissa, laivoissa ja muissa vedenalaisissa rakennelmissä sekä lääketieteellisissä instrumenteissa. [16]

Biofoulaantuminen on suuri ongelma käänteisosmoosilaitteistoissa. RO-kalvot tarjoavat erinomaisen kiinnittymispinnan mikrobeille ja biofilmin kasvaessa RO-kalvot kärsivät ja tukkeutuvat. Biofilmin kasvaminen toisin sanoen nostaa kalvojen paine-eroa, huonontaa tuottoa ja lyhentää kalvojen käyttöikää.[16;19;20]

Biofilmin muodostumiseen RO-kalvoilla vaikuttaa kolme tekijää: ravinteiden määrä vedessä, RO-laitteiston käyttö olosuhteet, kuten vuon määrä, eli veden saanto neliometriä kohden tunnissa ($l/m^2/h$) ja cross-flow nopeus sekä RO-kalvojen ominaisuudet, kuten kalvojen varaus, pinnan kulma ja pinnan karkeus. [16]

Vuon määrällä on suuri merkitys kalvojen biofilmin muodostuksessa, koska se vaikuttaa bakteerien kiinnittymiseen ja ravinteiden määrään kalvojen pinnalla. Cross-flow nopeus vaikuttaa kalvojen leikkausnopeuteen ja ravinteiden konsentraatio polarisaatioon. [16]

Tutkimuksissa on todettu, että suuremmalla vuolla ja pienemmällä cross-flow nopeudella biofoulaantumista on tapahtunut voimakkaammin. Tutkimuksissa todettiin myös, että välikappaletta käytettäessä biofoulaantuminen ei ollut yhtä voimakasta, kuin ilman välikappaletta. [16]

Korkeamman leikkausnopeuden on todettu aiheuttavan tiiviimpi biofilmi kerrostuma, kun taas matalampi leikkausnopeus saa aikaan paksumman ja ilmavamman biofilmi kerroksen. [19]

RO-kalvoilla epäorgaanista foulaantumista voi aiheuttaa myös kemialliset yhdisteet, kuten kalsium ja magnesium. Tätä estetään käyttämällä kemikaaleja, joita yleisesti kutsutaan antiscalanteiksi. Antiscalantit ovat polyelektrolyyttisiä yhdisteitä, joista yleisemmin käytettyjä ovat polyfosfonaatit, polyaryylihapot ja polyfosfaatit. Vaikka antiscalantit parantavat RO-laitteiston käytettävyyttä, niiden on todettu lisäävän biofoulaantumisen riskiä. Bakteerit voivat käyttää antiscalanteja ravinteiden, etenkin fosfaatin, lähteenä ja joissain tapauksissa antiscalantin käyttö helpottaa bakteerien kiinnittymistä kalvon pintaan. [21]

7 Ongelmakohdat jätevoimalalla

Kun tarkastellaan olosuhteita jätevoimalan raakavesijärjestelmässä ja näytejäähdytysjärjestelmässä, voidaan ongelma-kohtien sanoa olevan RO-laitteisto, raakavesisäiliö ja näytejäähdytysjärjestelmä kokonaisuudessaan.

Raakavesisäiliöön tuleva vesi on kaupunkivettä, joka ei ole täysin steriiliä, sekä käsiteltyä savukaasulauhdetta. Suositeltu raja heterotrofisille mikrobeille kaupunkivedessä on <100 pmy/ml [22]. Säiliöön tulevaa kaupunkivettä ei käsitellä mitenkään, joten on mahdollista, että mikrobit pääsevät kasvamaan säiliössä. Normaali virtaus säiliöstä on noin 5 kg/s eli 18 13/h. Vuorokaudessa vettä vaihtuu noin 400 kuutiota. Mikrobit kasvavat paremmin seisovassa vedessä, mutta muiden olosuhteiden ollessa otolliset voivat mikrobit kasvaa virtaavassakin vedessä.

Lämpötila raakavesisäiliössä pysyy noin 12 asteessa, kesällä lämpötila voi nousta lähelle 20 astetta. Psykrofiileille mikrobeille tämä on optimilämpötila, mutta myös mesofiilit mikrobit voivat kasvaa alle 20 asteessa. Tällöin mikrobikasvu on hitaampaa kuin lämpöisessä. Sulfaattia pelkistäviä bakteereja on tavattu kylmissäkin vesissä ja ne aiheuttavat korroosiota paljon säiliöissä ja putkistoissa.

Raakavesisäiliön pH on noin 7, mikä on optimaalinen lähes kaikille mikrobeille. Talousvedessä on jonkin verran ravinteita, joita mikrobit voivat hyödyntää. Raakavesisäiliön vesi ei ole hapetonta, joten säiliöön mahdollisesti muodostuva mikrobikasvusto koostuu todennäköisesti aerobisista mikrobeista. Jos biofilmi kuitenkin pääsee muodostumaan säiliön pintaan, voivat anaerobiset bakteerit kasvaa biofilmin sisällä.

Raakavesisäiliö on suljettu säiliö, eli sinne ei pääse valoa. Tällöin levät eivät todennäköisesti kasva siellä. Säiliössä on kuitenkin ilmastusputki, jolloin ilmassa olevat mikrobit pääsevät säiliöön. Erityisen suuren riskin tästä tekee se, että jäteautot ajavat raakavesisäiliön vierestä. Tällöin riski ilmasta tulevalle kontaminaatiolle kasvaa.

Vedenkäsittelyssä erityisesti käänteisosmoosilaitteisto on herkkä mikrobiologiselle kasvulle. Tulevan veden lämpötila säädetään 20 asteeseen, mikä on etenkin mesofiileille mikrobeille hyvä kasvulämpötila. pH on sama kuin raakavedellä, eli noin 7. Toistaiseksi jätevoimalalla ei säädetä pH:ta ennen sarjoja.

RO-kalvot tarjoavat hyvän kiinnittymispinnan mikrobeille ja kalvon pinnalla riittää ravinteita konsentroitumisen takia. Myöskään RO-kalvoille ei pääse valoa, eli levien kasvu ei ole todennäköistä. Virtaus RO-laitteistolle on noin 14 l/h, mutta laitteisto ei ole kokoajan päällä. Seisovassa vedessä mikrobien on helpompi kiinnittyä pintaan.

Pehmennysuodattimet ovat toinen mahdollinen mikrobien kasvupaikka. Pehmennysuodattimilla poistetaan vain kovuutta aiheuttavat ionit, kaikki muut ravinteet jäävät veteen. Tulevan veden lämpötila on noin 20 asteista ja pH noin 7. Virtaus pehmentimiltä vaihtelee noin 10–40 l/h:ssa. Pehmennysuodattimet ovat käytössä vuorotellen, jolloin toinen pehmentin saattaa seisoa useita päiviä käyttämättä. Tämä lisää riskiä mikrobikasvustolle. Lisäksi pehmentimien hartsi tarjoaa runsaasti pinta-alaa johon kiinnittyä.

Vedenkäsittelyn jälkeen vedessä on niin vähän ravinteita, että mikrobien kasvu ei ole todennäköistä. RO-kalvot poistavat myös mikrobeja tehokkaasti.

Näytejäähdytysjärjestelmän olosuhteet poikkeavat hieman muusta raakavesijärjestelmästä. Jäähdytykseen käytetään märkjäähdytystornia, joka on alaosasta avonainen. Järjestelmässä kiertää pehennettyä vettä, eli mikrobeilla on ravinteita saatavilla. Vettä vaihdetaan jonkin verran, mutta ravinteiden konsentroitumista tapahtuu silti. Suora kosketus ympäristön ilman kanssa lisää mikrobikasvuston riskiä etenkin kesäisin.

Lämpötila näytejäähdytysjärjestelmässä vaihtelee noin 20 asteesta noin 42 asteeseen. Lämpötila on optimaalinen mikrobi ja leväkasvustolle. Jäähdytystornin ollessa avonainen, sinne pääsee jonkin verran valoa. Tämä lisää riskiä leväkasvustolle.

Savukaasulauhteessa ei ole varsinaista riskiä mikrobikasvustolle. Käsittely on alkupäässä osittain avonainen, jolloin ilmassa olevat mikrobit voivat päästä veteen. RO-kalvot poistavat kuitenkin ennen raakavesisäiliötä mahdolliset mikrobit. Tässäkin tapauksessa RO-kalvot olisivat mahdollinen mikrobikasvuston riskipaikka.

8 Biofilmin kasvun tutkiminen, estäminen ja poistaminen

Biofilmiä poistettaessa parhaita tuloksia saadaan usein mekaanisilla menetelmillä, toisaalta mekaanisia menetelmiä pystytään harvoin käyttämään, johtuen kohteen sijainnista tai kestävydestä. Tämän vuoksi on kehitetty erilaisia kemiallisia ja fysikaalisia menetelmiä biofilmin poistamiseen. [16] Kemiallisia menetelmiä ovat esimerkiksi erilaiset desinfektoineet. Fysikaalisista menetelmistä voidaan mainita esimerkkinä UV-valo.

Biofilmin poistamisen ollessa kuitenkin hankalaa, on yritetty keksiä menetelmiä joilla biofilmin kasvua voisi seurata ja estää. [16]

RO-kalvojen kohdalla usein käytetty tapa on yrittää tehdä kalvoista antibakteerisia ja anti-foulaantuvia. Tällaisia tapoja on esimerkiksi kalvojen päällystys, komposiitti kalvot, kalvojen kemiallinen käsittely, radikaalien tai ionien luonti kalvoille sekä entsyymien kiinnitys kalvoille. Näistä yleisimmin käytetty tapa on kalvojen päällystys polymeerillä, jotta kalvon pinnasta tulisi vaikeammin kiinnittyvä mikrobeille. [23]

8.1 Kemialliset menetelmät

Kemiallinen desinfektointi on suosittu menetelmä biofilmin poistamiseen. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista, esimerkiksi RO-kalvot eivät kestä tiettyjä kemikaaleja ja desinfektioaineet voivat kehittää haitallisia sivutuotteita. [16;24] Mikrobien on todettu myös kehittävän toleranssin usein käytettyjä kemikaaleja kohtaan [24].

8.1.1 Kemialliset seuranta ja estomenetelmät

Yksinkertainen menetelmä mikrobikasvuston havaitsemiseen on mitata ATP määrä vedestä tai pinnoilta. ATP, eli adenosinitrifosfaatti, on runsasenerginen molekyyli, joka osallistuu solujen energia-aineenvaihduntaan. ATP:ta esiintyy kaikessa orgaanisessa aineksessa, niin kuolleessa kuin elävässä. Tämän vuoksi pelkällä ATP mittauksella ei voida varmasti sanoa onko tutkittavassa materiaalissa pelkästään kuolleita mikrobeja, vai myös eläviä. ATP:n mittaaminen perustuu ATP-molekyylin kykyyn tuottaa valoa sen reagoidessa lusiferiinin kanssa lusiferaasin katalysoimassa reaktiossa. Luminometrillä mitataan syntyvää valoa, jonka määrä on suoraan verrannollinen ATP:n määrään. [25;26]

Erityisesti biofilmiä muodostavien bakteerien esiintymistä voidaan tutkia BART-testeillä. BART-testit ovat spesifisiä tietyille bakteerityypeille, kuten sulfaattia pelkistäville bakteereille. Testin suorittaminen on helppoa ja inkubointi tapahtuu huoneenlämmössä. Testiputken pohjalla ja putkessa olevassa pallossa on ravinteita. Pallon tarkoitus on estää hapen pääsy nesteeseen. Putkeen lisätään 15 ml näytenestettä. Ravinteet liukenevat pikkuhiljaa nesteeseen, muodostaen erilaisia konsentraatio kerroksia. Aluksi kasvavat aerobit bakteerit, jotka kuluttavat hapen putken pohjalta. Seuravaksi kasvavat anaerobit bakteerit. Anaerobit bakteerit kasvavat putken pohjalla ja aerobit pallon lähetyvillä. Tulos perustuu värinmuutokseen ja silmin havaittavaan kasvuun testiputkessa. [25;27]

Vasta-aine testeillä voidaan myös havainnoida, esiintyykö näytteessä bakteereja. Vasta-aine testit antavat kuitenkin positiivisen tuloksen myös kuolleille bakteereille. Paljon käytetty ja tutkittu vasta-aine testi on ELISA-testi. ELISA tarkoittaa entsyymivälitteistä immunosorbenttimääritystä. ELISA perustuu vasta-aineen kiinnittymiseen sille spesifiseen antigeeniin. Tähän yhdisteeseen kiinnitetään indikaattori, jonka avulla muodostuu mitattavissa oleva yhdiste. Muodostuneen yhdisteen pitoisuus on suoraan verrannollinen vasta-aine pitoisuuteen näytteessä. [28]

Hopeananopartikkeleiden toimintaa biofoulaantumisen estämisessä on tutkittu myös sellaisenaan. Hopeayhdisteiden ja hopea-ionin on todettu useissa tutkimuksissa olevan anti-mikrobisia. Hopean ei ole todettu olevan ihmisille vaarallista, kuitenkin juomavedessä liukoista hopeaa saa olla vain 0,1 mg/l. Useimmat bakteerit eivät ole kehittäneet resistanssia hopea-ioniä vastaan, näin ollen se on mikrobeille yksi myrkyllisimmistä metalleista. Hopeananopartikkeleille on monia käyttökohteita: antibiootit, ruoan säilytysastiat, kelmuissa, kosmetiikassa, tekstiilien käsittelyssä sekä useat vesijärjestelmät. [24]

Yhdessä menetelmässä molekyyliin kiinnitettyjä hopeananopartikkeleita sekoitetaan veteen jossa biofoulaantumista halutaan estää. RO-kalvoille kiinnitetyt nanopartikkelit ovat antaneet hyviä tuloksia biofoulaantumisen estämisessä. [24]

On myös olemassa valmiita kittejä biofilmin määrittämiseen. Kurita water solutions on kehittänyt HydroBio biofilm test kitin, jossa käytetään kuponkeja, joiden värireaktio toimii indikaattorina biofilmin määrälle. Kitin mukana tulee tarvittavat liuokset. Kuponki kastetaan näytteeseen, jonka jälkeen sitä pidetään kaksi minuuttia pesuliuoksessa. Seuravaksi kuponki upotetaan 15 minuutiksi värjäysliuokseen ja sen jälkeen taas kahdeksi

minuutiksi pesuliuokseen. Tämän jälkeen verrataan kupongin väriä valmistajan taulukoon, joka kertoo biofilmin määrän näytteessä. [29]

8.1.2 Kemialliset poistomenetelmät

Biofilmin ja mikrobien kemiallinen poistaminen tapahtuu desinfektioaineilla. Yleisin käytetty desinfektioaine on kloori. Biofilmien on kuitenkin todettu kehittävän toleranssin klooria kohtaan, joten tämä ei ole kovinkaan tehokas menetelmä pitkällä tähtäimellä. [30] RO-kalvot eivät myöskään siedä klooria, vaan ne hapertuvat.

Klooraukseen käytetään kloorikaasua, joka veden kanssa muodostaa hypokloriittihapoketta, natriumhypokloriittia tai kalsiumhypokloriittia. Kloori on myrkyllinen kaasu ja se voi muodostaa ei-toivottuja sivutuotteita. Klooraukselle tehokkain pH on yli yhdeksän, jolloin hypokloriitti yhdisteet ovat ionimuodossa ($\text{ClO}^- + \text{H}^+$). Ionimuotoinen hypokloriitti on kaikkein tehokkain mikrobeja vastaan. Kloorauksen tulisi kestää vähintään 20 minuuttia, jotta saavutetaan paras desinfektio tulos. Klooraus on paras tapa varmistaa veden laatu vielä putkistossakin, vaikka kloori kuluukin nopeasti loppuun. [31;32]

Desinfektointiin voidaan käyttää myös vetyperoksidia. Menetelmä perustuu vetyperoksidin muodostamiin vahvoihin radikaaleihin. Tutkimuksissa on todettu menetelmän irrottavan biofilmiä osittain, mutta ei kokonaan. Radikaalien luonnin pitäisi tapahtua lähellä biofilmiä, tai sen sisällä, koska vetyperoksidin puoliintumisaika on vedessä hyvin lyhyt. [30]

Otsoni on tehokas desinfektioaine, mutta se liukenee huonosti veteen ja hajoaa nopeasti. Etuna otsonin käytössä on, että se hajoaa hapeksi eikä tuota muita haitallisia sivutuotteita. [32]

Entsyymien käyttö biofilmin poistoon voi tulla kyseeseen, kun perinteisiä desinfektioaineita ei voida käyttää. Entsyymillä ei ole tarkoitus tappaa mikrobeja, vaan vaikuttaa mikrobeja suojaavaan polysakkaridi kerrokseen. Tällöin biofilmi irtoaa pinnasta helpommin. Entsyymikäsittelyn jälkeen suoritetaan normaali pesu, jolloin päästään parempiin tuloksiin kuin pelkällä pesulla. Entsyymit inaktivoituvat helposti; entsyymejä käytettäessä olosuhteet tulisi optimoida entsyymille sopivaksi. [25]

8.2 Fysikaaliset menetelmät

Fysikaalisia desinfektiomenetelmiä ovat UV-valon käyttö ja kuuman veden tai höyryn käyttö. Fysikaaliset desinfektiomenetelmät tulevat kyseeseen, kun kemikaaleja ei voida käyttää.

8.2.1 Fysikaaliset seuranta ja estomenetelmät

Bakteerien kiinnittyminen pintaan on tärkein vaihe biofilmin muodostumisessa; kiinnittymisen jälkeen bakteerit alkavat muodostaa suojaavaa kalvoa. [23]

Biofoulaantumisen ja biofilmin muodostumisen valvontaan on yritetty kehittää viime vuosina jatkuvatoimista sensoria, joka mittaisi reaaliajassa biofilmin muodostumista. Etenkin alkuvaiheen kasvun havaitseva mittari on ollut kiinnostuksen kohteena. Olemassa olevat menetelmät mittaavat paineen muutoksia, lämmönvaihdon muutoksia ja sameuden muutoksia. Kuitenkaan mikään edellä mainituista ei luotettavasti kerro alkuvaiheen biofoulaantumisesta tai biofilmin muodostumisesta. Siinä vaiheessa kun havaitaan muutoksia paineessa tai lämmönsiirtymisessä on mikrobikasvusto edennyt jo niin pitkälle, että se voi aiheuttaa vakavia häiriöitä. [33]

Biofoulaantumisen havaitsemiseen sopii parhaiten akustinen, optinen tai sähkömagneettinen toimilaitte. Huonona puolena edellä mainituissa mittalaitteissa on niiden kallis hinta. Tämän vuoksi on kehitetty koaksiaalisia resonaattoreja. Resonaattoreissa on kaksi johdinta, sisäinen ja ulkoinen, joiden välissä kulkee neste. Joissain resonaattoreissa johdinten välissä on lasihelmiä, jotka tarjoavat paremman kasvualustan mikrobille. [33]



Kuva 7: Koaksiaalinen resonaattori, lasihelmillä täytetty [33]

Biofilmin muodostuminen häiritsee sähkön johtumista johtimelta toiseen, sekä sisemmän johtimen virranahtoa. Virranahto on ilmiö, jossa johtimen reunoilla on suurempi virran tiheys, kuin sen keskellä [34]. Tämä aiheuttaa muutoksia resonaattorin amplitudi taajuuden vasteessa, jonka perusteella voidaan havaita biofilmin muodostuminen jo alkuvaiheessa. [33]

Bakteerien kiinnittymisen estämistä RO-kalvoille on tutkittu paljon ja siihen on kehitetty menetelmiä. Käytetyin menetelmä on kalvojen päällystäminen polymeerillä. On tutkittu, että PDFA päällystetyillä RO-kalvoilla *E.coli* kiinnittyi huonommin 95 % tapauksista. Myös hopeananopartikkeleiden yhdessä foulaantumista estävän polymeerin kanssa on todettu vähentävän biofoulaantumista. [23]

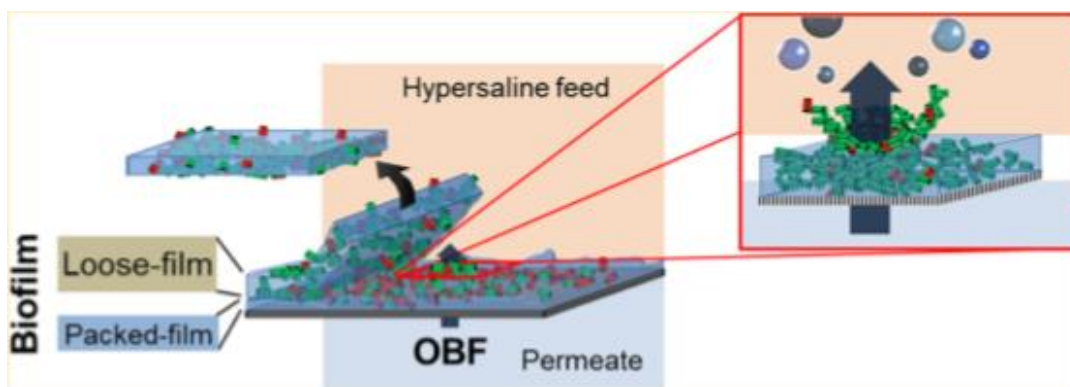
Polydopamiinia (PDA) on myös kokeiltu käyttää kalvojen päällystämiseen. PDA:n on todettu parantavan veden virtausta ja estävän foulaantumista. PDA:ta ei ole kuitenkaan tutkittu paljoa, ja sen toiminta mekanismista ei ole varmaa tietoa. [23]

8.2.2 Fysikaaliset poistomenetelmät

UV-valolla desinfektointi on tehokas ja suosittu keino mikrobien poistoon. Vettä säteilytetään lyhytaaltoisella UV-säteilyllä, joka tuhoaa tehokkaasti mikrobeja. UV-säteilytys ei aiheuta haitallisia sivutuotteita, eikä vaikuta muutenkaan veden laatuun. UV-säteily vaikuttaa kuitenkin vain paikallisesti. [32]

Kuumalla vedellä tai höyryllä desinfektointi on tehokasta tarpeeksi pitkällä altistusajalla. Tämän tekniikan käyttö edellyttää hyvää lämmönkestoaa, joten monissa paikoissa tätä ei ole mahdollista käyttää.

RO-kalvojen ollessa herkkiä kemiallisille puhdistusmenetelmille, on yritetty keksiä vaihtoehtoisia ratkaisuja. Yksi uusista tutkituista menetelmistä on osmoottinen käänteishuuhtelu, jossa ei käytetä kemikaaleja. Tekniikan ideana on kääntää vesi virtaus takaperin RO kalvojen läpi suoran osmoosin kautta. Osmoottisessa käänteishuuhtelussa injektoidaan suolaliuosta syöttöveeseen, muuttamatta syöttöpainetta. Osmoottisen käänteishuuhtelun on esitetty irrottavan biologista materiaalia kalvoilta, täten parantaen kalvojen suorituskykyä. Tätä menetelmää on kuitenkin testattu vain laboratorio mittakaavassa.[19]



Kuva 8: Osmoottinen käänteishuuhtelu. Kalvojen läpi johdetaan vettä permeaatti puolelta ja suolaliuosta syötteen. Biofilmi irtoaa ja poistuu rejektivirtauksen mukana. [19]

8.3 Mekaaniset menetelmät

Biofilmin poisto mekaanisesti tarkoittaa lähinnä pintojen kaapimista tai harjausta, jolloin mekaanisella työllä biofilmi saadaan irrotettua. Tämä menetelmä ei kuitenkaan sovi kaikille kohteille, koska biofilmiin voi olla vaikeaa päästä käsiksi purkamatta laitteistoja.

8.3.1 Mekaaniset seuranta ja estomenetelmät

Biofilmin kasvamista voidaan havaita aistinvaraisesti, jos kasvu on edennyt tarpeeksi pitkälle. Usein mikrobit aiheuttavat veteen sameutta ja epämiellyttävää hajua. Myöskin korrosio tuotteista voi päätellä bakteerien esiintymistä, esimerkiksi puna-ruskeasta rautasakasta voi päätellä sulfaattia pelkistävien bakteerien esiintymistä. Aistinvarainen arvio ei kuitenkaan varmasti kerro mikrobitoiminnasta, jolloin laboratoriotestejä tulisi suorittaa. [35]

Vedestä voidaan tehdä suoraan bakteeriviljely kalvosuodatusmenetelmällä. Kalvosuodatusmenetelmässä tietty määrä näytevettä suodatetaan steriilin kalvon läpi ja kalvo asetetaan elatusainemaljalle kasvamaan. Kasvatus aika ja lämpötila määräytyvät tutkitavan bakteerin mukaan. Kokonaisbakteeripitoisuutta määrittäessä lämpötila on usein + 30 °C:sta ja kasvatus aika 48 tuntia. Tulokset lasketaan kalvolta. Jos näytettä ei ole laimennettu, tulos on suoraan laskettu pmy määrä per suodatettu vesimäärä. Esimerkiksi jos suodatetaan yksi litra vettä ja kasvatustulos on 100 pmy, niin tulos on 100 pmy/l. [36]

Tämä on helppo ja suhteellisen nopea testi. Kalvosuodatusmenetelmää käytettäessä välineiden täytyy kuitenkin olla steriilejä. Lasitavarat, kuten näytepullot, voidaan steriloida autoklaavissa tai lämpökaapissa. [36] Nykyään kuitenkin suurin osa tarvikkeista on saatavilla valmiiksi steriloituina yksittäispakkauksina.

Vettä voidaan myös mikroskopoida, tämä ei kuitenkaan ole kannattavaa jos vedessä ei ole sameutta tai muuta mikrobikasvustosta indikoivaa. Ongelman veden tutkimisessa on se, että sen perusteella ei voida päätellä tarkalleen missä kohtaa järjestelmää biofilmiä kasvaa. [35]

Pinnoilta voidaan ottaa suoraan näyte, jolle tehdään jatkotutkimuksia. Ongelmana on, että harvoin pystytään ottamaan pintanäytettä purkamatta joitain laitteiston/järjestelmän osia tai leikkaamaan palaa tutkittavaksi. Näytettä voidaan mikroskopoida ja tehdä erilaisia värjäyksiä, joilla voidaan tunnistaa mikrobeja. [35] Yksinkertainen värjäysmenetelmä on Gramvärjäys, joka kertoo onko bakteeri Gram negatiivinen vai Gram positiivinen. Värjäys perustuu erilaisiin solukalvon rakenteisiin.

Mikrobeja voidaan tunnistaa myös niiden DNA:n perusteella. Tämä on jo suhteellisen haastavaa, näyte kontaminoituu helposti, määrittämiseen tarvitaan spesifiset laitteet ja tietokantojen tutkimista. Aluksi kerätty DNA täytyy eristää ja puhdistaa, tähän on saatavilla valmiita kittejä. Eristetty DNA monistetaan, jotta sitä voidaan tutkia. Monistaminen tapahtuu PCR tekniikalla; tämä vaatii hyvin puhtaat työskentely tilat ja PCR-laitteen. Monistetun DNA:n nukleiinihappo koostumus saadaan selville sekvensoimalla. Saatua nukleiinihappoa koostumusta verrataan geenitietokantoihin, jolloin mikrobi saadaan tunnistettua.[37;40;41]

DNA:han perustuva mikrobien tunnistaminen on kallista, mutta tuloksista pystytään kuitenkin selvittämään tarkasti, mikä mikrobi on kyseessä ja näin optimoida puhdistusmenetelmä kyseiselle mikrobille. Tutkimuksen teettäminen voikin tulla kysymykseen vaikeissa biofilmi tapauksissa.

Ultraäänen käyttöä levylämmönvaihtajissa biofoulaantumisen estämiseksi on tutkittu myös. Ultraäänellä estetään bakteerien kiinnittyminen lämmönvaihtajan pintaan. Tarkkaa toimintamekanismia ei vielä tunneta, mutta mahdollisesti ultraäänen aiheuttama liike estää bakteerien kiinnittymisen. [38]

8.3.2 Mekaaniset poistomenetelmät

Yksinkertainen mekaaninen poistomenetelmä on biofilmin raaputus tai hionta. Hiontaan voidaan käyttää lasihelmiä tai muuta karkeaa materiaalia. Parempia tuloksia saadaan, jos raaputuksen jälkeen käytetään ultraääntä. [35]

Ultraääni on paljon käytetty menetelmä biofilmin poistoon. Ultraääntä käytettäessä putkistoissa parhaita tuloksia saadaan, kun käytetään 40–50 kHz:n taajuutta, noin kolmen minuutin ajan. Solujen säilyessä ehjinä, ne irtoavat paremmin. [35]

9 Koesuunnitelma biofilmin seuraamiseen

Tätä tutkielmaa tehdessä laitos on ollut käynnissä noin vuoden, jolloin varsinaista biofilmi tai muuta mikrobi ongelmaa ei vielä ollut syntynyt. Harkinnassa oli jonkin seuranta menetelmän käyttöönotto, mutta jotta saataisiin luotettavia tuloksia, tulisi seuranta ajan olla ainakin puoli vuotta.

Tämän vuoksi kokeellisessa osuudessa ei voitu tutkia mahdollisia mikrobien jo aiheuttamia haittoja, vaan päädyttiin tekemään suunnitelma mikrobikasvuston seuraamiseksi ja poistamiseksi. Koska kuitenkin oli aihetta epäillä, että mikrobikasvustoa olisi muodostunut RO-kalvoille, tehtiin lyhyt seuranta jakso, jossa tutkittiin kokonaisbakteerimäärää RO-konsentraatista.

9.1 Kokonaisbakteerimääritys

Määritykseen käytettiin Merc Milliporen Cult-Dip combi diplslideja. Diplslide on valmiiksi tikkumaiseen alustaan valettu elatusaine. Diplslideilla voidaan ottaa näytteitä pinnoista tai nesteestä. Cult-Dip combi diplslidit ovat tarkoitettu nesteille. Niissä on toisella puolella TTC-agar kokonaisbakteereille ja toisella puolella Potato Dextrose – agar homeille ja hiivoille. Diplslidit toimitetaan purkeissa, jossa niiden inkubointi suoritetaan.

Näytteen voi ottaa suoraan halutusta kohteesta, jolloin tulee varmistaa, että molemmat puolet diplslidista kastuvat kokonaan ja ovat kosketuksissa veden kanssa noin 10 sekuntia. Tässä tulee kiinnittää huomiota siihen, että näytevirtaus ei ole liian suuri, jolloin vaarana on agarin irtoaminen alustasta. Vaihtoehtoisesti näytteen voi ottaa erilliseen astiaan, jossa diplslidia huljutellaan noin 10 sekuntia.

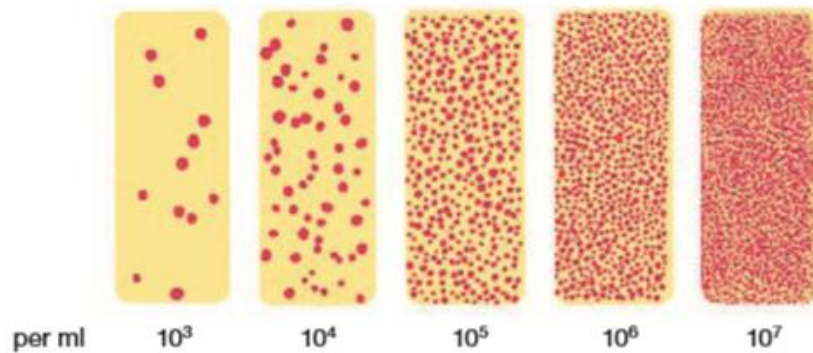
Ennen kuin diplslide asetetaan takaisin purkkiinsa, ravistellaan varovaisesti ylimääräiset vedet pois ja kuivataan liuskan alareuna.

Inkubointi tapahtuu + 30 °C:ssa, bakteerimäärä on luettavissa 1-2 vuorokauden kuluttua ja homeet/hiivat noin 3 vuorokauden kuluttua. Inkuboinnin voi suorittaa myös huoneenlämmössä, jolloin kasvatusajat ovat hieman pidemmät, 2-4 vuorokautta ja 4-7 vuorokautta. Kasvatukset tehdään hapellisissa olosuhteissa, joten testi ei kerro anaerobien mikrobien esiintymisestä.

Tulokset luetaan valmistajan ohjeen mukaan, kuvat 10 ja 11. Valmistajan mukaan kasvustoa on vähän, jos tulos on alle 10^3 pmy/ml; kohtalaisesti, jos tulos on 10^4 - 10^6 pmy/ml tai paljon, jos tulos on yli 10^7 pmy/ml.

Total Bacteria Count Agar (TTC-Agar)

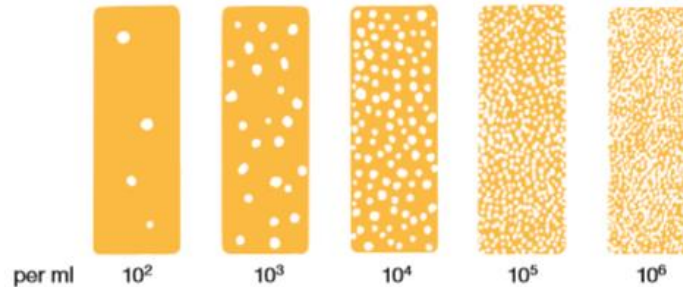
Bacteria



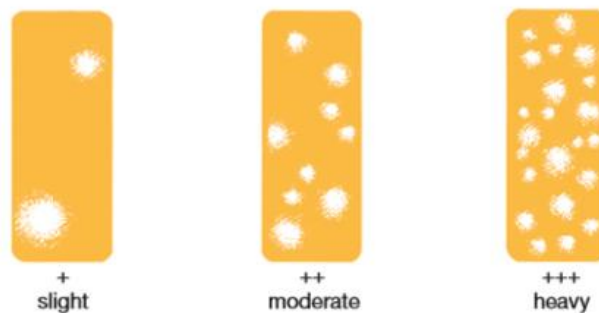
Kuva 9: Kokonaisbakteerimäärityksen tulosten laskuohje. Liuska kastetaan näytteeseen, inkuboidaan 2 vuorokautta + 30 asteessa. Verrataan liuskaa kuvaan ja todetaan mikrobimäärä.

Potato Dextrose – Agar mod.

Yeast



Fungi



Kuva 10: Home- ja hiivämäärityksen tulosten lukuohje. Liuska kastetaan näytteeseen, inkuboidaan 3 vuorokautta + 30 asteessa. Verrataan liuskaa kuvaan ja todetaan mikrobimäärä.

Määrytykset tehtiin kummankin sarjan RO-rejektistä sekä Vantaan Energiolla olevasta vuokra RO:n rejektistä. Vuokra RO on siinä suhteessa mielenkiintoinen, että sitä käytetään vain tarvittaessa. Vuokra RO laitteisto voi seisoa pitkiäkin aikoja käyttämättä, jolloin on suurempi riski biofilmin muodostumiselle. Tehtiin myös yksi määrytys RO-syöttövedestä, eli pehmennetystä vedestä.

9.1.1 Tulokset

Tuloksista nähdään, että kaikista rejekteistä löydettiin mikrobeja. Kuten voitiin olettaa, vuokra RO:n rejektistä saatiin suurimmat tulokset.

Taulukko 2: RO-rejektien kasvatustulokset.

| Näyte | Näytteenotto pvm | Näytteenotto aika | Kasvatusaika [h] | Kasvatus lämpötila [°C] | Tulos bakteerit [pmy/ml] | Tulos hiivat ja homeet [pmy/ml] | Lisätietoa |
|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| RO1 rejekti | 11.3.2015 | 10:50 | 24 | 32 | 0 | 0 | Ollut seis 4 tuntia |
| RO2 rejekti | 11.3.2015 | 10:50 | 24 | 32 | 0 | 0 | |
| Maijan RO rejekti | 11.3.2015 | 11:05 | 24 | 32 | 10 ⁵ | 0 | Ajettu viimeksi 5.3. klo 17:30 |
| RO1 rejekti | 11.3.2015 | 10:50 | 48 | 32 | 10 ⁵ | 0 | Ollut seis 4 tuntia |
| RO2 rejekti | 11.3.2015 | 10:50 | 48 | 32 | 10 ³ | 0 | |
| Maijan RO rejekti | 11.3.2015 | 11:05 | 48 | 32 | 10 ³ | 0 | Ajettu viimeksi 5.3. klo 17:30 |
| RO1 rejekti | 16.3.2015 | 10:55 | 24 | 20 | 0 | 0 | |
| RO2 rejekti | 16.3.2015 | 10:55 | 24 | 20 | 0 | 0 | |
| Maijan RO rejekti | 16.3.2015 | 10:45 | 24 | 20 | 0 | 0 | Ollut seis 5 tuntia |
| RO1 rejekti | 16.3.2015 | 10:55 | 46 | 20 | 0 | 0 | |
| RO2 rejekti | 16.3.2015 | 10:55 | 46 | 20 | 0 | 0 | |
| Maijan RO rejekti | 16.3.2015 | 10:45 | 46 | 20 | 10 ³ | 0 | Ollut seis 5 tuntia |
| RO1 rejekti | 16.3.2015 | 10:55 | 75 | 30 | 10 ² | 10 | |
| RO2 rejekti | 16.3.2015 | 10:55 | 75 | 30 | 10 ³ | 0 | |
| Maijan RO rejekti | 16.3.2015 | 10:45 | 75 | 30 | 10 ⁴ | 0 | Ollut seis 5 tuntia |
| RO1 rejekti | 16.3.2015 | 10:55 | 96 | 30 | 10 ³ | 10* | *yksi pesäke alustalla |
| RO2 rejekti | 16.3.2015 | 10:55 | 96 | 30 | 10 ³ | 0 | |
| Maijan RO rejekti | 16.3.2015 | 10:45 | 96 | 30 | 10 ⁴ | 0 | Ollut seis 5 tuntia |
| RO1 rejekti | 23.3.2015 | 12:45 | 24 | 20 | 0 | 0 | |
| RO2 rejekti | 23.3.2015 | 12:45 | 24 | 20 | 0 | 0 | |
| Maijan RO rejekti | 23.3.2015 | 12:55 | 24 | 20 | 0 | 0 | Ajettu 18.3. viimeksi |
| RO syöte | 24.3.2015 | 12:45 | 24 | 20 | 0 | 0 | |
| RO1 rejekti | 23.3.2015 | 12:45 | 48 | 20 | 0 | 0 | |
| RO2 rejekti | 23.3.2015 | 12:45 | 48 | 20 | 0 | 0 | |
| Maijan RO rejekti | 23.3.2015 | 12:55 | 48 | 20 | 10 ⁴ | 0 | Ajettu 18.3. viimeksi |
| RO syöte | 23.3.2015 | 12:45 | 48 | 20 | 0 | 0 | |
| RO1 rejekti | 23.3.2015 | 12:45 | 72 | 30 | 10 ² | 0 | |
| RO2 rejekti | 23.3.2015 | 12:45 | 72 | 30 | 10 ³ | 0 | |
| Maijan RO rejekti | 23.3.2015 | 12:55 | 72 | 30 | 10 ⁴ | 0 | Ajettu 18.3. viimeksi |
| RO syöte | 23.3.2015 | 12:45 | 72 | 30 | 10* | 0 | *1 pesäke alustalla |
| RO1 rejekti | 23.3.2015 | 12:45 | 96 | 30 | 10 ³ | 0 | |
| RO2 rejekti | 23.3.2015 | 12:45 | 96 | 30 | 10 ³ | 0 | |
| Maijan RO rejekti | 23.3.2015 | 12:55 | 96 | 30 | 10 ⁴ | 0 | Ajettu 18.3. viimeksi |
| RO syöte | 23.3.2015 | 12:45 | 96 | 30 | 10 | 0 | |

Edellä mainittujen tuloksien lisäksi on teetetty yksi kokonaisbakteerimäärytys raakavedestä. Tuloksena oli 0 pmy/ml:a.

9.1.2 Tulosten tulkinta

Toistoja tehtiin vain kolme, joten tuloksien ei voida sanoa olevan kuin suuntaa antavia. Tulosten tulkinnassa tulee ottaa myös huomioon, että nämä ovat ensimmäiset mittaukset, jotka RO:ilta tehdään. Täten ei voida sanoa onko tilanne normaali, vai onko kasvu lisääntynyt.

Kuitenkin nähdään, että jos RO-laite on ollut käyttämättä, kasvaa sillä enemmän mikrobeja. Samoin vuokra RO:lla mikrobimäärät ovat suurempia kuin omilla RO:illa. Tästä voidaan päätellä RO-laitteiston seisottamisen lisäävän riskiä mikrobikasvuston muodostumiselle.

Valmistajan ohjeen mukaan bakteerimäärät rejekteissä ovat pieniä tai kohtalaisia. Seuranta tulisi jatkaa pidempään, jotta nähtäisiin paremmin tilanteen muutos esimerkiksi vuodenajoista riippuen. Toisaalta yhden mittauksen mukaan syöttövedessä tai raakavedessä ei ollut kasvua, joten voidaan ajatella mikrobimäärien konsentroituvan RO-rejekteissä.

9.2 Koesuunnitelma

Koska varsinaisia mikrobien aiheuttamia ongelmia ei vielä ole, ei ole tarvetta aloittaa seuranta. Jos tilanne muuttuu ja epäillään mikrobikasvustoa, voisi seuranta lähteä tekemään aluksi jollakin pikamenetelmällä. Tätä varten tulisi kuitenkin selvittää niin sanottu nolla tilanne, eli mikä on normaalia kasvua laitoksella. Jonkinlainen seurantajakso olisi siis hyvä tehdä jo nyt, kun ongelmia ei vielä ole.

Tällaisia pikamenetelmiä ovat esimerkiksi tässä työssä käytetyt dipslidit tai muu vastaava viljelymenetelmä. Jos haluaa käyttää standardoitua menetelmää, kalvosuodatusmenetelmä on suhteellisen helppo toteuttaa.

Muita menetelmiä ovat ATP ja BART testi. ATP määrittäminen on nopea ja tulokset ovat luotavissa heti näytteenoton jälkeen. Miinuksena tässä on, että tulosten lukemiseen tarvitsisi luminometrin.

BART testi on myös helppo ja nopea toteuttaa. BART testin etuna on, että voidaan tutkia nimenomaan biofilmiä aiheuttavia bakteereja. Tällöin ei olisi välttämätöntä tehdä alku-seurantaa.

Pelkästään biofilmin seurantaan on myös pikamenetelmiä. Esimerkiksi Kurita water solutions tarjoaa HydroBio biofilm test kittiä. Kitissä käytetään kuponkeja, joiden värireaktio toimii indikaattorina biofilmin määrälle. Kurita tarjoaa myös jatkuvatoimista biofilmin seuranta menetelmää. [29]

Koska jätevoimalalla ei ole mikrobiologian laboratoriota, helpointa olisi ottaa käyttöön jokin pikamenetelmä, joita edellä on esitetty. Olisi myös suotavaa tehdä pidempi seurantaajakso, jossa määritetään mikrobien normaalitaso. Seurantaa tulisi tehdä eri vuodenaikoina, jotta nähdään esimerkiksi lämpötilan vaihtelun vaikutus.

10 Johtopäätökset

Kirjallisuusselvityksen mukaan on mahdollista, että jätevoimalaitoksen raakavesisäiliössä ja vedenkäsittelyn laitteissa kasvaa mikrobeja. Olosuhteet raakavesisäiliössä ovat sellaiset, että mikrobikasvusto on mahdollista; lämpötila on kuitenkin sen verran alhainen, että mahdollinen kasvu on hidasta. Vedenkäsittelyssä lämpötila pysyy plus 20 asteessa ympäri vuoden, joten se on vielä otollisempi paikka mikrobikasvustolle. Vedenkäsittelyyn tuleva vesi on raakavettä, joten raakaveden laatu määrittelee mahdollisuuden mikrobikasvulle vedenkäsittelyssä.

Tehtyjen mittausten mukaan todettiin, että vielä ei ole muodostunut havaittavaa mikrobikasvustoa. Mittauksia on tehty raakavesisäiliöstä, pehmenetystä vedestä ja RO-kalvojen rejekteistä.

Jos epäillään mikrobikasvustoa, voidaan ottaa käyttöön jokin menetelmä mikrobien määrittämiseksi. Käytettävien resurssien perusteella jokin pikamenetelmä olisi suositeltava.

Lähteet

- 1 Jätevoimala, Vantaan Energia. Verkkodokumentti. <http://www.vantaanenergia.fi/FI/TIETOAKONSERNISTA/JATEVOIMALAHANKE/Sivut/default.aspx>. Luettu 4.3.2015.
- 2 Pöyry. Järjestelmäkuvaus: Vantaan Energia Oy Jätevoimala-projekti (JV1). Raakavesijärjestelmä. Päiväys 11.2.2013. As built 12.9.2014.
- 3 Pöyry. Vantaan Energia Oy Jätevoimalaitos (JV1). PI-kaavio: Vesitase. Hyväksytty 5.3.2013.
- 4 Pöyry. Järjestelmäkuvaus: Vantaan Energia Oy Jätevoimala-projekti (JV1). Näytejäähdyttimien jäähdytysvesijärjestelmä. Päiväys 30.8.2013. As built 12.9.2014.
- 5 Pöyry. Järjestelmäkuvaus: Vantaan Energia Oy Jätevoimala-projekti (JV1). Lisävesijärjestelmä. Päiväys 11.2.2013. As built 12.9.2014.
- 6 Ympäristölupapäätös. 2009. Uudenmaan ympäristökeskus. No YS 1696. Helsinki.
- 7 Hyxo Oy. Toimintaselostus: savukaasulauhteenkäsittely. Luettu 4.3.2015.
- 8 Hyxo Oy. Toimintaselostus. Voimalaitoksen vesilaitos prosessin toimintaselostus. Luettu 4.3.2015.
- 9 Vedenpuhdistuslaitteen toiminta. Verkojulkaisu. <http://emp-innovations.com/Toiminta.htm>. Luettu 21.3.2015.
- 10 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. 461/2000. Luettu 30.3.2015.
- 11 Hyxo Oy. Vedenkäsittelyn seurantataulukko.
- 12 Gilbert, P. – Mc Bain, A.J. – Rickard, A.H. 2003. Formation of microbial biofilm in hygienic situations: a problem of control. *International Biodeterioration & Biodegradation* 51/2003, s. 245–248.
- 13 Ben-Ari, Elia T. Not just slime. 1999. *BioScience* 9/1999, s. 689 – 695.
- 14 Ojamo, H. & Fortelius, C. 2011. Mikrobiologian kurssimateriaali. Metropolia ammattikorkeakoulu.

- 15 Kekki, Tomi K. – Kaunisto, Tuija – Keinänen – Toivola, Minna M. – Luntamo, Marja. 2008. Vesijohtomateriaalien vauriot ja käyttöikä Suomessa. Vesi-Instituutin julkaisuja 3. 1. painos. Turku. Vesi-instituutti.
- 16 Suwarno, S.R. – Chen, X. – Chong, T.H. – McDougald, D. – Cohen, Y. – Rice, S.A. – Fane, A.G. Biofouling in reverse osmosis processes: The roles of flux, crossflow velocity and concentration polarization in biofilm development. *Journal of Membrane Science* 467/2014, s. 116–125.
- 17 Javaherdashti, Reza. 2008. Microbiologically influenced corrosion: an engineering insight. *Engineering materials and processes*. Lontoo. Springer-Verlag.
- 18 Solunetti. *Solubiologia: ravinteet*. 2006. http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/ravinteet_1/3/. Luettu 2.2.2015.
- 19 Bar-Zeev, Edo & Elimelech, Menachem. 2014. Reverse Osmosis Biofilm Dispersal by Osmotic Back-Flushing: Cleaning via Substratum Perforation. *Environmental science & technology letters* 1/2014, s. 162–166.
- 20 Al Ashhab, Ashraf – Gillor, Osnat – Herzberg, Moshe. 2014. Biofouling of reverse-osmosis membranes under different shear rates during tertiary wastewater desalination: Microbial community composition. *Water research* 67/2014, s. 86-95
- 21 Sweitya, Amer – Rezene, Tesfalem – Davidb, Inbal – Basonb, Sarit – Orena, Yoram – Ronena, Zeev – Herzberga, Moshe. 2015. Side effects of antiscalants on biofouling of reverse osmosis membranes in brackish water desalination. *Journal of Membrane Science* 481/2015, s. 172–187.
- 22 Elintarvikevirasto. Talousveden ja jään omavalvonta hygienialain mukaisessa laitoksessa. 2002. Verkkojulkaisu. http://www.evira.fi/attachments/elintarvikkeet/valvonta_ja_yrittajat/talousveden_ohjeet.pdf. Luettu 21.3.2015
- 23 Blok, Andrew J. – Chhasatia, Rinkubahen – Dilag, Jessiric – Ellis, Amanda V. 2014. Surface initiated polydopamine grafted poly([2-(methacryloyloxy) ethyl]trimethylammonium chloride) coatings to produce reverse osmosis desalination membranes with anti-biofouling properties. *Journal of Membrane Science* 468/2014, s. 216–223.
- 24 Dror-Ehre, A. – Adin, A. – Markovich, G. – Mamane, H. 2010. Control of biofilm formation in water using molecularly capped silver nanoparticles. *Water research* 44/2010, s. 2601–2609.
- 25 Liu, Xiaobo – Tang, Bo – Gu, Qiuy – Yu, Xiaobin. 2014. Elimination of the formation of biofilm in industrial pipes using enzyme cleaning technique. *MethodsX* 1/2014, s. 130–136.

- 26 Net-food lab Oy. ATP-Mittaus. Verkkojulkaisu. <http://www.netfood.fi/atp-mittaus-eli-luminometria>. Luettu 11.3.2015.
- 27 LaMotte Company. Biological Activity Reaction Test. Verkkojulkaisu. <http://www.lamotte.com/en/microbiological/bart>. Luettu 11.3.2015.
- 28 MedLine plus. ELISA. Verkkojulkaisu. <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/003332.htm>. Luettu 12.3.2015.
- 29 Kurita. HydroBio. Verkkojulkaisu. <http://www.kurita.eu/hydrobio.html>. Luettu 2.4.2015.
- 30 Gosselin, F. – Madeira, L.M. – Juhna, T. – Block, J.C. Drinking water and bio-film disinfection by fenton-like reaction. 2013. Water research 47/2013, s. 5631-5638.
- 31 Aquaprox. 2009. Treatment of cooling water. Intia. Scientific Publishing Services Pvt. Ltd.
- 32 Prominent. Desinfiointi: juomavesi. Verkkojulkaisu. <http://www.prominent.fi/Sovellukset/Desinfiointi/Desinfiointi-juomavesi/Juomaveden-desinfiointi.aspx>. Luettu 17.3.2015.
- 33 Hoog, N.A. – Mayer, M.J.J. – Miedema, H. – Olthuis, W. – Tomaszewska, A.A. – Paulitsch-Fuchs A.H. – Van den Berg, A. 2015. Online monitoring of biofouling using coaxial stub resonator technique. Sensing and Bio-Sensing Research 3/2015, s. 79–91.
- 34 Sähkömagnetismi. Verkkojulkaisu. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/8sahkomagnetismi.pdf. Luettu 5.3.2015
- 35 Flemming, Hans-Curt. 1999. Microbioally influenced corrosion in industrial material. Saksa. Biocorrosion network.
- 36 SFS 3950. Vahvistettu 1979-06-30. Kalvosuodatusmenetelmä veden mikrobiologisessa tutkimuksessa. Suomen Standardoimisliitto SFS.
- 37 Granhall, Ulf – Welsh, Allana – Throbäck, Ingela Noredal – Hjort, Karin – Hansson, Mikael – Hallin, Sara. 2010. Bacterial community diversity in paper mills processing recycled paper. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology 37/2010, s. 1061–069.
- 38 Hotrum, Natalie E. – de Jong, Peter – Akkerman, J. Coen – Fox, Martin B. Pilot scale ultrasound enabled plate heat exchanger – Its design and potential to prevent biofouling. Journal of Food Engineering 153/2015, s. 81–88.

- 39 Labcompare. RO/EDI: The Preferred Water Purification Technology for Food and Beverage Laboratories. 2011. Verkkojulkaisu. <http://www.labcompare.com/10-Featured-Articles/18907-RO-EDI-The-Preferred-Water-Purification-Technology-for-Food-and-Beverage-Laboratories/>. Luettu 21.3.2015.
- 40 Solunetti. Solubiologia: sekvensointi. 2006. Verkkojulkaisu. <http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/sekvensointi/2/>. Luettu 14.3.2015.
- 41 Beech, Iwona – Bergel, Alain – Mollica, Alfonso – Flemming, Hans-Curt – Scotto, Vittoria – Sand, Wolfgang. 2000. Simple methods for the investigation of the role of biofilms in corrosion. Brite Euram thematic network on MIC of industrial materials.
- 42 HSY. Juomaveden laatu. 2014. Verkkojulkaisu. <https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/vedenlaatu/Sivut/default.aspx>. Luettu 29.3.2015.
- 43 Laimio, Johanna, laboratorioinsinööri, Vantaan Energia Oy. Suulliset kommentit 5/2014 – 3/2015.
- 44 SGS. Analyysiraportti. 9.4.2015.

Liitteet

LIITE 1: HSY veden laadun raportti

HSY veden laatu raportti



HSY
Vedenpuhdistus
Käyttölaboratorio



Keskimääräinen veden laatu Pitkääkosken, Vanhankaupungin ja Dämmanin vedenpuhdistuslaitoksilla 1.1. - 31.1.2015

| Analyysi | Yksikkö | Menetelmä | Puhdistettu vesi | | | Laatusuositus/ vaatimus ^{c)} enimmäis- pitoisuus |
|-----------------------------------|--------------|-------------------------|------------------|--------------------|--------|--|
| | | | Pitkääkoski | Vanha- kaupunki | Dämman | |
| Lämpötila | °C | Sis. menetelmä | 4,1 | 4,0 | 0,9 | |
| Alkaliteetti | * mmol/l | SFS-EN ISO 9963-1:1996 | 0,68 | 0,76 | 0,45 | |
| Ammoniumtyppi, NH ₄ -N | * mg/l | ISO 7150-1:1984, muunn. | 0,19 | 0,15 | 0,16 | 0,5 |
| Kokonaiskloori | mg/l | Sis. menetelmä | 0,42 | 0,46 | 0,46 | |
| Kokonaiskovuus | * °dH | SFS 3003:1987 | 2,8 | 3,1 | 3,9 | |
| Org. kokonaishiili, TOC | * mg/l | SFS-EN 1484:1997 | 1,8 | 1,8 | 2,3 | b) |
| Permanganaattiluku | * mg/l | SFS 3036:1981 | 3,4 | 3,5 | 5,6 | |
| pH | * | SFS 3021:1979 | 8,5 | 8,6 | 8,3 | 6,5–9,5 |
| Sameus | * FTU | SFS-EN ISO 7027:2000 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | a) |
| Sähkönjohtavuus | * mS/m | SFS-EN 27888:1994 | 14,1 | 15,1 | 18,6 | 250 |
| Kloridi | * # mg/l | Sis. menetelmä DA | 4,7 | 5,2 | 8,2 | 250 |
| Sulfaattirikki | # mg/l | Sis. menetelmä DA | 7,4 | 7,8 | 15 | |
| Fluoridi | * # mg/l | Sis. menetelmä DA | 0,1 | 0,1 | <0,1 | 1,5 |
| Kalsium, Ca | * # mg/l | SFS-EN ISO 11885:2009 | 18 | 20 | 25 | |
| Magnesium, Mg | * # mg/l | SFS-EN ISO 11885:2009 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | |
| Natrium, Na | * # mg/l | SFS-EN ISO 11885:2009 | 5,2 | 5,8 | 5,7 | 200 |
| Kalium, K | * # mg/l | SFS-EN ISO 11885:2009 | 1,3 | 1,4 | 0,85 | |
| Rauta, Fe | * µg/l | SFS 3028:1976 | 77 | 47 | <20 | 200 |
| Mangaani, Mn | * # µg/l | SFS-EN ISO 11885:2009 | <3 | <3 | 13 | 50 |
| Alumiini, Al | * # µg/l | SFS-EN ISO 17294-2:2005 | 6 | 5 | 14 | 200 |
| Kadmium, Cd | * # µg/l | SFS-EN ISO 17294-2:2005 | <0,02 | <0,02 | <0,02 | 5,0 |
| Kromi, Cr | * # µg/l | SFS-EN ISO 17294-2:2005 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 50 |
| Kupari, Cu | * # µg/l | SFS-EN ISO 17294-2:2005 | 0,5 | 5,5 | 0,2 | 2000 |
| Lyijy, Pb | * # µg/l | SFS-EN ISO 17294-2:2005 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 10 |
| Sinkki, Zn | * # µg/l | SFS-EN ISO 11885:2009 | <5 | <5 | <5 | |
| Heterotrofinen pes.luku 22* | pmy/ml | SFS-EN ISO 6222:1999 | <1 | <1 | <1 | |
| <i>Escherichia coli</i> | * mpn/100 ml | Colilert Quanti-Tray | <1 | <1 | <1 | 0 |
| Kolimutoiset bakteerit | * mpn/100 ml | Colilert Quanti-Tray | <1 | <1 | <1 | 0 |
| Haju, laim.luku 25°C | | Sis. menetelmä | 0,3 | 0 | 1 | a) |
| Maku, laim.luku | | Sis. menetelmä | 0,7 | 0 | 1 | a) |

* näyte tutkittu akkreditoidulla menetelmällä

Analyysi teetetty alihankintana Metropolilab-laboratoriossa.

Se on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T058, akkreditointivaatimus on standardi SFS-EN ISO/IEC 17025.

a) käyttäjien hyväksyttävissä eikä epätavallisia muutoksia

b) ei epätavallisia muutoksia

c) Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 461/2000