

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinööri (AMK)

2018

Eeva Salmi

# SUODATUS ESIKÄSITTELYMENETELMÄNÄ KOTITALOUSJÄTEVEDEN KONTTIPUHDISTAMOSSA

Eeva Salmi

# SUODATUS ESIKÄSITTELYMENETELMÄNÄ KOTITALOUSJÄTEVEDEN KONTTIPUHDISTAMOSSA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää suodatuksen mahdollisuudet toimia esikäsitteilymenetelmänä kotitalousjäteveden konttipuhdistamossa. Työn keskeinen tarkoitus oli kokeellisesti tutkia, toimiiko Sofi Filter SF200 -mikrosuodatin esikäsitteilynä yhdyskuntajäteveden puhdistuksessa pienen mittakaavan puhdistamossa sekä saada tietoa suodattimen likaantumisen likaanumisesta.

Sofi Filter SF200 -suodattimella tehtiin koeajoja ensin vesijohtovedellä, jotta saatiin vertailukäyrästä jättevesiajoja varten ja valittua sopivat ajoparametrit jättevesisuodatuksiin. Vesiajot tehtiin 10 µm, 1 µm, 0,5 µm, 0,2 µm ja 0,1–0,2 µm suotimilla. Vesiajojen perusteella jättevesiajoihin valittiin 10 µm, 1 µm ja 0,5 µm suotimet. Jättevesiajot tehtiin Jyväskylän Nenäinniemen tulevalle yhdyskuntajätevedellä.

Parhaiten jäteveden suodatuksessa toimivat 1 µm ja 10 µm suotimet. Näillä suotimilla saatiin parhaimmillaan 55 % jäteveden sisältämästä kiintoaineesta poistettua. Tiukemmalla 0,5 µm suotimella ei saatu jätteettä suodatettua, koska suodatin tukkeutui. Koagulaation ja flokkauksen avulla tehostettiin kiintoaineen poistumista, mutta silloin sekä 1 µm että 10 µm suotimet tukkeutuivat. Sofi Filter SF200:n itsepuhdistustoiminnot, paineilmapulssi ja ultraääni, eivät riittäneet suotimen puhtaana pitämiseen.

Kokeellisten suodatuksien perusteella suurin haaste Sofi-suodattimelle yhdyskuntajätevettä suodatettaessa oli likaantuminen. Tuloksena saatiin, että Sofi Filter SF200 ei tällaisenaan toimi esikäsitteilynä kotitalousjäteveden konttipuhdistamossa. Suotimen itsepuhdistustoiminnot eivät toimineet riittävän hyvin jäteveden sisältämälle kuitumaiselle lialle. Koska Sofi Filter SF200 ei soveltunut esikäsitteilyksi, tehtiin testiajot myös nauhasuodattimella. Nauhasuodattimella yhdessä flokkauksen kanssa saatiin jäteveden sisältämästä kiintoaineesta 93 % poistettua. Ajot osoittivat, että nauhasuodatin ja flokkauksen yhdessä soveltuvat esikäsitteilymenetelmäksi konttipuhdistamoon.

Konttipuhdistamosta tehtiin esipilotti Paraisten Norrbyn puhdistamolle. Konseptiin valittiin esikäsitteilyksi nauhasuodatin, ja Sofi Filter SF200 valittiin kalkkisaostuksen ylitteen kirkastussuodattimeksi.

## ASIASANAT:

jätevesi, mikrosuodatus, ravinteiden talteenotto, konttipuhdistamo, likaantuminen

Eeva Salmi

# FILTRATION AS A PRETREATMENT METHOD IN THE CONTAINER PURIFICATION PLANT OF HOUSEHOLD WASTEWATER

The purpose of this thesis was to determine the possibilities of filtration to work as a pretreatment method in the container purification plant of household wastewater. The main purpose of the work was to study experimentally whether it is possible to use a Sofi Filter SF200 microfilter as a pretreatment for household wastewater treatment in a small-scale purification plant and to obtain information about the fouling of the filter.

With the Sofi Filter SF200 test runs were first conducted with tap water to obtain information about how the filter works in the best situation. After that it was easier to observe how the filter elements work when filtering the wastewater and also choose suitable running parameters for the wastewater. The tap water runs were conducted with 10 µm, 1 µm, 0.5 µm, 0.2 µm and 0.1-0.2 µm filter elements. Based on the tap water runs the filter elements 10 µm, 1 µm and 0.5 µm were chosen for the wastewater runs. The wastewater runs were completed with the municipal wastewater of Nenäinniemi wastewater treatment plant in Jyväskylä.

The most efficient filtration of wastewater was with the filter elements 1 µm and 10 µm. With these filters 55 % of the suspended solids in the wastewater was removed. A filter with pore size of 0.5 µm did not filter any wastewater because the filter clogged. With coagulation and flocculation the removal of solids was enhanced but then both the 1 µm and 10 µm filters were clogged. The Sofi Filter SF200 self-cleaning functions, backpulse and ultrasound were not enough to keep the filter clean.

Based on experimental filtrations the greatest challenge for the Sofi filter when filtering household wastewater was fouling. The conclusion was that the Sofi Filter SF200 does not function as a pretreatment in the container purification plant of household wastewater because the wastewater contains fibers. The filter self-cleaning did not operate well enough for the fibrous flock. Because the Sofi filter SF200 was not suitable for pretreatment, the test runs were also conducted with a screen filter. With the screen filter and flocculation 93 % of the suspended solids contained in the wastewater was removed. The experimental filtrations demonstrated that the screen filter and flocculation together are suitable as a pretreatment method for the container purification plant.

A pre-pilot of the container purification plant was conducted at the Norrby wastewater treatment plant in Parainen. A screen filter was chosen as a pretreatment to the pre-pilot. The Sofi Filter SF200 was selected as a clarification filter of the lime precipitation.

## KEYWORDS:

wastewater, microfiltration, nutrient recovery, container wastewater treatment solution, fouling

# SISÄLTÖ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO</b>         | <b>7</b>  |
| <b>1 JOHDANTO</b>                            | <b>9</b>  |
| <b>2 RESURSSIKONTTI</b>                      | <b>10</b> |
| 2.1 Resurssikontti-hanke                     | 11        |
| 2.2 Vastaavia tapauksia                      | 12        |
| 2.3 Ravinteiden talteenotto                  | 12        |
| 2.4 Konttipuhdistamot                        | 13        |
| 2.5 Pienen mittakaavan puhdistuksen haasteet | 13        |
| <b>3 SUODATUS</b>                            | <b>16</b> |
| 3.1 Kiintoaineen erotus nesteestä            | 16        |
| 3.1.1 Koagulaatio ja flokkaus                | 18        |
| 3.1.2 Nauhasuodatus                          | 19        |
| 3.2 Kalvosuodatus                            | 19        |
| 3.2.1 Mikro-suodatus (MF)                    | 24        |
| 3.2.2 Likaantuminen                          | 25        |
| <b>4 KOKEELLINEN SUODATUS</b>                | <b>28</b> |
| 4.1 Sofi Filter SF200                        | 28        |
| 4.2 Koejärjestely                            | 30        |
| 4.3 Vesijohtovesisuodatukset                 | 31        |
| 4.4 Jätevesisuodatukset                      | 36        |
| 4.5 Nauhasuodatukset                         | 42        |
| <b>5 ESIPILOTTI</b>                          | <b>44</b> |
| 5.1 Kokonaisuus                              | 44        |
| 5.2 Sofi-suodattimen tulokset esipilotissa   | 45        |
| <b>6 PÄÄTELMÄT</b>                           | <b>46</b> |
| <b>LÄHTEET</b>                               | <b>48</b> |

## LIITTEET

Liite 1. Listaus markkinoilla olevista konttipuhdistamoista syksyllä 2017

## KUVAT

|   |    |
|---|----|
| Kuva 1. RAKI-ohjelman havainnekuva (Ympäristöministeriö 2016).  | 11 |
| Kuva 2. Kalvopuhdistusmenetelmien erotusalueet (Karttunen 2003, 122).   | 21 |
| Kuva 3. Dead end -suodatuksen periaate (Saario 2013).   | 22 |
| Kuva 4. Cross flow -suodatuksen periaate (Saario 2013).   | 23 |
| Kuva 5. Mikro-suodatin Sofi Filter SF200.   | 28 |
| Kuva 6. CF-putki edestä ja sisältä.   | 29 |
| Kuva 7. Suotimet. Vasemmalta oikealle 10 µm, 1 µm, 0,5 µm, 0,2 µm ja 0,1–0,2 µm.  | 29 |
| Kuva 8. Koejärjestely.  | 30 |
| Kuva 9. Pumpun imuletkun päässä oleva verkko.   | 37 |
| Kuva 10. Jätevesisuodatus 1 µm suodattimella. Vasemmalla on näytteet syötteestä ennen ja jälkeen flokkauksen sekä permeaatista ja oikealla tukkeutunut suodin ja CF-putki.                  | 38 |
| Kuva 11. Suodatus 10 µm suodattimella. Vasemmalla on näytteet syötteestä ennen ja jälkeen flokkauksen sekä permeaatista ja oikealla tukkeutunut suodin ilman CF-putkea ja CF-putken kanssa. | 40 |
| Kuva 12. Suotimen ja CF-putken likaantuminen 0,5 µm suotimella ilman flokkausta.  | 41 |
| Kuva 13. Koeajoissa käytetty nauhasuodatin.   | 42 |
| Kuva 14. Nauhasuodatuksen näytteet ja kakun muodostus Superflock C-492:lla ja C-595:lla.  | 43 |
| Kuva 15. Espilotoinnin konseptiin valitut yksikköoperaatiot (Kyllönen ym. 2017a).   | 44 |

## KAAVIOT

|  |    |
|--|----|
| Kaavio 1. Kalvon likaantumisesta johtuva veden vuon alenema (Lehikoinen 2016). | 26 |
| Kaavio 2. Vesijohtovesisuodatus 10 µm suotimella ilman CF-putkea.              | 31 |
| Kaavio 3. Vesijohtovesisuodatus 10 µm suotimella CF-putken kanssa.             | 32 |
| Kaavio 4. Vesijohtovesisuodatus 1 µm suotimella ilman CF-putkea.               | 32 |
| Kaavio 5. Vesijohtovesisuodatus 1 µm suotimella CF-putken kanssa.              | 33 |
| Kaavio 6. Vesijohtovesisuodatus 0,5 µm suotimella ilman CF-putkea.             | 34 |
| Kaavio 7. Vesijohtovesisuodatus 0,5 µm suotimella CF-putken kanssa.            | 34 |
| Kaavio 8. Vesijohtovesisuodatus 0,2 µm suotimella ilman CF-putkea.             | 35 |
| Kaavio 9. Vesijohtovesisuodatus 0,2 µm suotimella CF-putken kanssa.            | 35 |
| Kaavio 10. Vesijohtovesisuodatus 0,1–0,2 µm suotimella ilman CF-putkea.        | 36 |
| Kaavio 11. Jätevesisuodatus 1 µm suotimella ilman flokkausta.                  | 37 |
| Kaavio 12. Jätevesisuodatus 1 µm suotimella flokattuna.                        | 38 |
| Kaavio 13. Flokattu jätevesisuodatus 10 µm suotimella CF-putken kanssa.        | 39 |
| Kaavio 14. Flokattu jätevesisuodatus 10 µm suotimella ilman CF-putkea.         | 39 |

|  |    |
|--|----|
| Kaavio 15. Jätevesisuodatus ilman flokkausta 0,5 µm suotimella CF-putken kanssa.                                 | 41 |
| Kaavio 16. Kalkkisaostetun ja laskeutuneen jäteveden suodatus Sofi-suodattimella 1 µm suotimella ja CF-putkella. | 45 |

## TAULUKOT

|   |    |
|---|----|
| Taulukko 1. Paineella toimivien kalvosuodatustekniikoiden tyypilliset huokoskoot ja käyttöpaineet (Arola 2011). | 20 |
| Taulukko 2. Erialaisten moduulien ominaisuuksien vertailu (Saario 2013).  | 25 |
| Taulukko 3. Analyysitulokset 1 µm ja 10 µm jätevesisuodatuksesta.   | 40 |
| Taulukko 4. Analyysit nauhasuodattimen testiajoista flokkulantilla C-492.                                       | 43 |
| Taulukko 5. Kiintoaineanalyysit kalkkisaostetun ylitteen suodatuksesta 1 µm suotimella.                         | 45 |

## KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

|   |  |
|---|--|
| Adsorbtiio                                      | Ilmiö jossa aine tarttuu toisen aineen pinnalle (Pihkala 2013).                    |
| Biosidi   | Kemikaali, jonka tarkoitus on tuhota mikro-organismeja ja tuholaisia (Tukes 2017). |
| Ca(OH) <sub>2</sub>                             | Kalsiumhydroksidi eli sammutettu kalkki (Aalto Yliopisto 2017).                    |
| Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | Kalsiumfosfaatti (Kalsiumfosfaatti 2017).  |
| CF-putki  | Cross Flow putki eli ohjuriputki Sofi Filter -suodattimeen (Sofi Filtration 2017). |
| COD   | Chemical Oxygen Demand eli kemiallinen hapenkulutus (Karttunen 2004).              |
| EVIRA   | Elintarviketurvallisuusvirasto (Evira 2017).                                       |
| GAC   | Granular activated carbon eli rakeinen aktiivihiihi (Karttunen 2004).              |
| HSY   | Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY 2017).                                     |
| HTC   | Märkähiilto (VTT 2017a).   |
| Hydrofiilinen                                   | Vettä suosiva (Pihkala 2013).  |
| Kolloidi  | Läpimitaltaan 0,1–0,001 µm suuruisia hiukkasia (Pihkala 2013).                     |
| Konsentraatti                                   | Väkevöity liuos. Suodatuksessa neste joka ei läpäise kalvoa. (Rantanen 2014).      |
| MBR   | Membrane bioreactor eli kalvobioreaktori (Melin 2016).                             |
| MF  | Microfiltration eli mikrosuodatus (Karttunen 2004).                                |
| N   | Typpi (Rantanen 2014).   |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                 | Natriumkarbonaatti eli sooda (Sooda 2017).   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                 | Natriumsulfaatti (Natriumsulfaatti 2017).  |
| NaOH  | Natriumhydroksidi eli lipeä (Natriumhydroksidi 2017).                              |
| NH <sub>3</sub>                                 | Ammoniakki (Aalto Yliopisto 2017).   |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                    | Ammoniumtyppi (Aalto Yliopisto 2017).  |

|   |   |
|---|---|
| NH <sub>4</sub> -N                              | Ammoniumtyppi (VTT 2017a).  |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Ammoniumsulfaatti, yleinen lannoitekäytössä (Ammoniumsulfaatti 2017).   |
| P   | Fosfori (Rantanen 2014).  |
| Permeaatti                                      | Suodatuksessa kalvon läpi päässyt neste (Rantanen 2014).  |
| PO <sub>4</sub> -P                              | Fosfaattifosfori (VTT 2017a).   |
| RAKI  | Ympäristöministeriön Ravinteidenkierrätysohjelma (Ympäristöministeriö 2016).  |
| RAVITA  | Ravinteiden talteenottohanke (HSY 2017).  |
| Rejektivesi                                     | Biokaasulaitosten nestemäinen mädätysjäännös, jota syntyy, kun anaerobisen mädätysprosessin läpikäyneestä jäännöstuotteesta erotetaan nestemäinen ravinnepitoinen vesi, jota voidaan hyödyttää mm. lannoitteena (Sybimar 2014). |
| RO  | Reverse osmosis eli käänteisosmoosi (Karttunen 2004).   |
| Sintraus  | Valmistustekniikka, jossa jauhemainen materiaali muutetaan kuumentamalla tai puristamalla kiinteäksi kappaleeksi. Sillä voidaan vähentää esimerkiksi huokoisuutta. (Sintraus 2017.)   |
| TOC   | Total Organic Carbon eli orgaanisen hiilen kokonaismäärä (Karttunen 2004).  |
| TSS   | Total suspended solids eli kokonaiskiintoaine (Rantanen 2014).  |
| Viira   | Päätön hihnan muotoinen suodatinkangas (Ruohoniemi 2011).   |
| Viskositeetti                                   | Nesteen sisäinen kitka määrättyssä lämpötilassa (Pihkala 2013).   |
| Koagulointi                                     | Kemiallinen prosessi, jossa vedenpuhdistuskemikaali aiheuttaa saostumista ja sitoo samalla veden epäpuhtauksia. (Koagulointi 2013).   |
| Flokkaus  | Flokkulanteilla eli polymeereillä aikaan saatua hiutaleiden muodostumista nesteessä, niin että pienemmät hiukkaset liittyvät yhteen (Flokkaus 2018).  |

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää suodatuksen mahdollisuudet toimia esikäsittelymenetelmänä kotitalousjäteveden konttipuhdistamossa. Työn keskeisenä tarkoituksena on kokeellisesti selvittää, toimiiko mikro-suodatus esikäsittelymenetelmänä konttipuhdistamossa ja millaisia likaantumisen hallintakeinoja on mikro-suodatussovelluksissa.

Työ on osa Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n Resurssikontti-hanketta. Hankkeessa tutkitaan ravinteiden talteenottoa sekä yhdyskuntajätevesistä erilaisilla jo käytössä olevilla, että vasta kehitteillä olevilla fysikaalis-kemiallisilla menetelmillä, jotka soveltuvat konttikokoluokkaan.

Kiertotalouden näkökulmasta jätevesien ravinteiden talteenottoa tulisi tutkia ja lisätä, jotta tällä hetkellä hukkaan valuvat ravinteet saataisiin talteen ja takaisin kierto. Ympäristönäkökulmasta jäteveden sisältämien ravinteiden talteenotto ennen puhdistetun jäteveden laskemista ympäristöön vähentäisi ympäristökuormitusta ja rehevöitymistä.

Työn alussa käsitellään Resurssikontti-hankkeen taustoja ja teoriaosassa keskitytään kiintoaineen erotukseen nesteestä koaguloinnin, flokkauksen ja nauhasuodattimen avulla sekä kalvosuodatuksen periaatteeseen ja likaantumiseen.

Teoriaosan jälkeen kerrotaan kokeellisesta työstä, jossa tutkitaan mikro-suodatuksen toimivuutta yhdyskuntajäteveden esikäsittelyssä. Kokeellisen selvityksen kohteeksi oli valittu Sofi Filter SF200 -mikro-suodatin, koska Sofi Filtration Oy toimii projektin yhteistyökumppanina ja suodattimella on saatu hyviä tuloksia teollisuuden jätevesien käsittelyssä. Suodattimella tehdään testiajot ensin vesijohtovedellä ja sen jälkeen Nenäinnimen jätevedenpuhdistamoon tulevalla yhdyskuntajätevedellä. Tuloksien perusteella pohditaan, onko Sofi Filter -suodatin mahdollinen esikäsittelymenetelmä konttipuhdistamossa.

Lopuksi konttipuhdistamosta rakennetaan esipilotti Paraisten Norrbyn jätevedenpuhdistamolle, jossa testataan työryhmän konttiin valitsemia yksikköoperaatioita ketjutettuna.

## 2 RESURSSIKONTTI

Yhdyskuntajätevesiä voitaisiin hyödyntää nykyistä huomattavasti tehokkaammin (VTT 2017b). Suomessa muodostuu vuosittain jätevettä noin 500 miljoonaa kuutiota. Vuonna 2010 yhdyskuntajätevesiä muodostui 460 miljoonaa kuutiota. Ennen käsittelyä ne sisälsivät noin 4 030 t/a fosforia, 25 370 t/a typpeä ja 127 900 t/a orgaanista ainetta. (Säylä & Vilpas 2010.) Samana vuonna myytiin maatalolle lannoitteina fosforia noin 13 000 t/a ja typpeä noin 157 000 t/a. Yhdyskuntajätevesistä talteen otetuilla ravinteilla pystyttäisiin kattamaan merkittävä osa lannoitetarpeesta, noin 30 % fosforin ja noin 16 % typen käyttötarpeesta. (VTT 2017b.)

Yhdyskuntajäteveden ravinteiden hyödyntämistä rajoittavat kuitenkin muun muassa nykyiset jäteveden prosessointimenetelmät, koska niitä ei ole suunniteltu ravinteiden kierrättämisen näkökulmasta. Toinen suuri haaste ovat ennakoasenteet yhdyskuntajätevedestä peräisin olevia lannoitteita kohtaan ja huoli haitallisten aineiden ja lääkeaineiden päätyemisestä kierrätysravinteiden mukana peltoon. (Marttinen ym. 2017.)

Yhdyskuntajätevesien käsittelyratkaisut perustuvat ajattelumalliin, jossa jätevesistä poistetaan haitta-aineita, ravinteita ja taudinaiheuttajia sen verran, että ne voidaan laskea vesistöihin ympäristönormien sallimissa raja-arvoissa. Käsittelyissä menetetään ravinteita ja hiiltä, minkä lisäksi ravinteet kuormittavat vesistöjä. (VTT 2017b.) Yhdyskuntajätevedet ovat loputon ravinteiden lähde. Varsinkin fosforista saattaa olla tulevaisuudessa pulaa, joten jätevesissä olevien ravinteiden talteenotto olisi järkevää. (Vieno 2014.) Lisäksi jätevesien puhdistus esimerkiksi kasteluvedeksi, voisi olla yksi ratkaisu maailmalla olevaan ja kasvavaan vesipulaan (Suomen YK-liitto 2016).

Jotta jäteveden sisältämät ravinteet ja hiili pystytään ottamaan talteen sellaisessa muodossa, että niitä voidaan käyttää lannoitteina, tarvitaan uudenlaisia jäteveden käsittelyratkaisuja. Käytössä olevat vanhat käsittelyratkaisut tarvitsevat paljon tilaa, pitkät viipymäajat sekä mittavia alkuinvestointeja. Myös jäteveden määrällisten ja laadullisten vaihteluiden huomioon ottaminen prosessissa on hankalaa ja perinteiset puhdistamot ovat paikkaan sidottuja. Resurssikontti-hanke pyrkii vastaamaan näihin haasteisiin. (VTT 2017b.)

## 2.1 Resurssikontti-hanke

Resurssikontti-hanke alkoi joulukuussa 2016 ja jatkuu vuoden 2017 loppuun (Kyllönen ym. 2017b). Hankeen rahoittajana toimii Teknologian tutkimuskeskus VTT:n lisäksi ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön rahoitus tulee Ravinteiden kierrätyksen edistämistä ja Saaristomeren tilan parantamista koskevasta RAKI-ohjelmasta. RAKI-ohjelman tavoitteena (Kuva 1.) on muun muassa vähentää vesistöjen ravinnekuormitusta ja saada jätevesien sisältämät ravinteet tehokkaasti hyötykäyttöön. (VTT 2017b.) Ravinnekuormituksen vähentämisen ja hyötykäytön lisäksi Resurssikontti toteuttaa hallitusohjelman kärkihanketta, Kiertotalouden läpimurto ja puhtaat ratkaisut käyttöön (VTT 2017b).



Kuva 1. RAKI-ohjelman havainnekuva (Ympäristöministeriö 2016).

Resurssikontti-hankkeessa tutkitaan, miten pienessä mittakaavassa jätevedestä saataisiin parhaiten eroteltua typpeä, fosforia ja hiiltä niin, että niitä pystyttäisiin myös jatkokäyttämään ravinteina ja hiilituotteina. Samalla puhdistusprosessissa valmistuisi vettä esimerkiksi kasteluvesikäyttöön. Resurssikontti-konsepti koostuu sekä jo nykyisellään teollisuudessa käytössä olevista, että vasta kehitteillä olevista fysikaalis-kemiallisista menetelmistä. Menetelmiä yhdistetään nimenomaan keskittyen aineiden talteenottoon sen hävittämisen sijaan. Lopulta parhaiksi havaitut teknologiat yhdistetään liikuteltavaan konttiin. (VTT 2017b.)

## 2.2 Vastaavia tapauksia

Vastaavia tapauksia, joissa jo puhdistettaisiin jätevettä kontissa tai pienessä mittakaavassa niin, että myös ravinteet otetaan talteen, ei vielä ole. Tietoa on tekniikoista, joilla yhdyskuntajätevedestä saadaan ravinteita poistettua tai talteen. Pääasiassa tekniikat keskittyivät ravinteiden poistamiseen tai lietteen jatkojalostukseen. Tietoa on myös konttipuhdistamoista, joissa ei ole otettu huomioon ravinteiden talteenottoa. Nämä konttipuhdistamot perustuvat biologiseen puhdistusprosessiin.

## 2.3 Ravinteiden talteenotto

Nykyisellään ravinteiden talteenotto keskittyy pitkälti lietteiden hyötykäyttöön. Esimerkiksi Nanopar Oy tekee jätevesilaitosten puhdistamolietteistä pastöroimalla ja kuivaamalla maanparannus- ja lannoitusaineita, jotka ovat EVIRAN hyväksymiä (Nanopar Oy 2017).

KiertoTyppi-hankkeessa Gasum Biovakka Oy selvitti jätevesitypen talteenottoa ja hyödyntämistä kierrätysravinteena. Hankkeessa testattiin ammoniumtypen talteenottoa biokaasulaitoksen rejektivedestä strippausmenetelmällä. Strippauksessa haluttu komponentti poistetaan nesteestä höyryn tai kaasuvirran avulla. Hanke osoitti, että puhdistamolieteperäisistä jätevesistä saadaan tuotettua epäorgaanista typpivettä, joka soveltuu kasviravinteeksi. (Gasum Biovakka Oy 2016.)

Helsingin seudun ympäristöpalvelut tutkivat RAVITA hankkeen avulla ravinteidentalteenottoa jätevedenpuhdistamoiden lietteistä. Hankkeen tavoitteena on saada kemiallisesti jälkisaostetusta fosforilietteestä joko lannoitusteollisuudelle raaka-ainetta tai valmista lopputuotetta. (HSY 2017.)

Aalto-yliopistossa on käynnissä tutkimus nimellä Typen ja fosforin talteenotto nestemäisistä jätteistä. Yliopistossa on kehitelty menetelmä ravinteiden talteenottoon nimenomaan nestemuodossa olevista jätevesistä kuten rejektivesistä ja erilliskerätystä WC-jätteestä (Ympäristöministeriö 2016.) Menetelmässä muutetaan ammoniumtyppi  $\text{NH}_4^+$  kaasumaiseksi ammoniakiksi  $\text{NH}_3$  kalsiumhydroksidin avulla  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Muodostunut ammoniakki erotetaan kalvosuodattamalla neste puoliläpäisevän kalvon

läpi, jonka jälkeen se sidotaan rikkihappoon, jolloin siitä tulee ammoniumsulfaattia. Fosfori saostetaan prosessissa kalsiumsuolalla. (Aalto Yliopisto 2017.)

#### 2.4 Konttipuhdistamot

Valmiita konttipuhdistamoja on markkinoilla monenlaisia, mutta kaikissa niissä keskitytään pelkästään jätevedenpuhdistukseen. Ravinteita ei oteta talteen. Ravinteet ja orgaaninen aine poistetaan joko kemiallisesti tai biologisesti. Monissa konttipuhdistamoissa jätevesi tulee ulos kuitenkin niin puhtaana, että sitä voidaan käyttää kasteluvetenä. Listaus syksyllä 2017 saatavilla olevista konttipuhdistamoista on liitteenä 1.

Yksi esimerkki Suomessa olevasta konttipuhdistamosta on Öron saarella sijaitseva Clewerin RBBR kantoaineprosessilla toimiva asuinjätevesien puhdistamo. Se puhdistaa Öron saaren hotellin, majatalojen ja ravintolan jätevedet. Puhdistamo koostuu neljästä kantoainebioreaktorista. Kantoaineen pinnassa on bakteereja, jotka puhdistavat jäteveden epäpuhtauksia. Puhdistamon mitoitusvirtaama on 60 kuutiota päivässä ja esikäsittelynä on välppä. (Aluehallintovirasto 2016.)

Lähin Resurssikontti-projektia vastaava konttipuhdistamo on siirrettävä Artas-jätevedenpuhdistamo. Siinä käytetään kalvobioreaktoria (membrane bioreactor -MBR) eli kalvoerotukseen perustuvaa puhdistusmenetelmää. Mutta tässäkin tekniikassa ravinteet ja orgaaninen aine poistetaan samalla periaatteella kuin perinteisessä aktiivilieteprosessissa. Kalvobioreaktorissa käytetään pienen huokoskoon kalvoja, joko mikro- tai ultrasuodatuskalvoja, joiden huokoskoko on 0,03–0,4 µm. Kalvot ovat tyypillisesti joko onttokuitukalvoja tai tasokalvoja. Kalvot upotetaan aktiivilietteeseen ja vesi imetään kalvojen läpi pumpulla. Vaikka tällä menetelmällä ei saada ravinteita talteen, pystyy puhdistetun veden hyötykäyttämään kasteluvetenä. Puhdistettu jätevesi täyttää tiukat ympäristövaatimukset. Se on mikrobiologisesti puhdasta ja uimavedeksi kelpollista. Puhdistamon esikäsittelynä on välppä. (Melin 2016.)

#### 2.5 Pienen mittakaavan puhdistuksen haasteet

Pienen mittakaavan erityispiirteenä voidaan pitää sitä, että jätevesi on ravinnepitoisuudeltaan vahvempaa kuin suurissa puhdistamoissa. Tämä johtuu siitä,

että pienpuhdistamoissa viemäriverkoston etäisyydet ovat yleensä niin lyhyitä, että puhdistusprosessiin ei juurikaan pääse vuotovesiä, eikä niihin johdeta teollisuuden jätevesiä, jotka laimentaisivat jätevettä. Toisaalta, jos pienpuhdistamon alueella on yksikin teollisuuslaitos, määrittää sieltä viemäriin johdettavan veden laatu erittäin paljon puhdistamon toimintaparametreja. (Haastattelu Leskinen P. 29.8.2017.)

Pienen mittakaavan puhdistamoiden suurimmat ongelmat liittyvät veden määrän ja laadun vaihteluihin. Monet pienet puhdistamot sijaitsevat alueilla, joissa on paljon lomalaisia, jolloin lomakaudella virtaamat kasvavat merkittävästi. Erityisesti biologisiin menetelmiin perustuvan puhdistusprosessin huonoja puolia ovat prosessin herkkyys kemikaaleille sekä pH:n ja lämpötilan muutoksille. Biologisen prosessin kärsiessä palautumiseen menee kauan aikaa. Nämä vaikuttavat myös prosessiin, jossa ei käytetä biologiaa, mutta eivät yhtä voimakkaasti. Virtaamavaihtelut vaikeuttavat myös puhdistamon hydraulista mitoittamista. (Kurssimateriaali Leskinen P. 2016–2017.)

Jätevedenpuhdistukseen kuulumattomat aineet ja esineet rasittavat pienpuhdistamojen prosesseja, jonka lisäksi ne voivat aiheuttaa laitteiden likaantumista ja tukkeutumista. Pienessä mittakaavassa likaantumisen estoon kuluu helposti paljon energiaa ja energian kulutus muutenkin saattaa olla korkeampaa, minkä lisäksi käytettävät teknologiat voivat olla kalliita. Huomioitavaa on myös, että budjetti hankkia laitteita saattaa olla pienempi, kun käyttäjiä on vähän. (Kurssimateriaali Leskinen P. 2016–2017.)

Jätevesissä on erilaisia haitta-aineita, joiden vaikutuksista eliöstöön ja ympäristöön tiedetään koko ajan lisää. Haitta-aineita ovat muun muassa mikromuovit, lääkeaineet ja erilaiset kemikaalit. Suurissa laitoksissa näiden mahdollisiin puhdistusvaatimuksiin voi olla helpompi reagoida kuin pienissä puhdistamoissa. (Haastattelu Yli-Heikkilä K. 28.8.2017)

Merkittävä rooli on myös pienen mittakaavan puhdistamojen oikealla asennuksella ja käytöllä. Oman haasteensa tuo myös se, että puhdistamolla ei välttämättä ole koulutettua ja täysipäiväistä henkilökuntaa. Puhdistamon toiminnan tehokkuus riippuu paljon siitä, kuinka perehtynyt ja tunnollinen huoltohenkilö sitä hoitaa. (Haastattelu Leskinen P. 29.8.2017.)

Lietteiden hyödyntämisen kannalta ongelmia ovat pieni volyyymi ja pitkät kuljetusmatkat. Jos lietettä halutaan hyödyntää, pitää sitä jatkojalostaa, jolloin kustannukset lietekiloa

kohden kasvavat suuriksi. Lisäksi lietteen kuljettaminen kauas hyödynnettäväksi aiheuttaa päästöjä ja kustannuksia. (Kurssimateriaali Leskinen P. 2016–2017.)

Haasteen tuo myös se, että uusia laitteistoja ja puhdistamoja kehitettäessä niiden toimintaa testataan kunnallisella yhdyskuntajätevedellä, jossa kiintoaine on hienojakoisempaa, vesi on kylmempää ja ravinnepitoisuudeltaan alhaisempaa kuin haja-asutusalueilla. Yhdyskuntajätevesi kulkee viemäriverkostossa pitkän matkan ja sen joukkoon tulee vuotovesiä ja teollisuuden jätevesiä, minkä lisäksi sitä pumpataan verkostossa useaan kertaan ennen sen päätymistä puhdistamolle. Testitulokset eivät välttämättä anna oikeanlaista kuvaa pienen puhdistamon toiminnan tehokkuudesta, jos sitä ei ajeta oikeanlaisella näytevedellä. (Heinonen 2016.) Käyttökokemusten puute on myös haaste pienen mittakaavan puhdistamoissa, varsinkin uusien tekniikoiden ja prosessien kohdalla (Kurssimateriaali Leskinen P. 2016–2017).

## 3 SUODATUS

Prosessivesien käsittelyssä käytetään suodatusta laajasti. Sitä voidaan käyttää sekä talousveden, jätevesien että teollisuusvesien käsittelyssä. Suodattamalla pystytään poistamaan kiintoaine, mutta myös kaikki sitä pienemmät epäpuhtaudet eli muun muassa bakteerit, virukset, liuennut orgaaninen aine ja suolat, jolloin puhutaan kalvosuodatuksesta. Se toimii usein puhdistusprosessin viimeisenä vaiheena. Suodattimet voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin suodattimiin. (Karttunen 2004, 107.) Suodatuksella pyritään hyvään suodoksen määrään ja laatuun, hyvään suodatusnopeuteen sekä korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen tai konsentroiintasteeseen (Haastattelu, Kyllönen H. 2017.)

### 3.1 Kiintoaineen erotus nesteestä

Suodatus on yksi tärkeimmistä menetelmistä, kun nesteestä halutaan erottaa kiintoainesta (Pihkala 2013, 50). Suodatuksessa puhdistettava neste johdetaan suodatinmateriaalin läpi, jolloin kiinteät epäpuhtaudet jäävät joko suodattimen pinnalle tai pidättyvät syvempään suodatinmateriaaliin (Karttunen 2004, 107). Suodatinmateriaalia on kahta perustyyppiä, ohutkerroksista ja paksukerroksista. Paksukerroksisia suodattimia voidaan kutsua myös massasuodattimiksi. Tavallisimpia paksukerroksisia suodattimia ovat jätevedenpuhdistuksessa käytetyt hiekkasuodattimet. (Pihkala 2013, 57.) Tässä opinnäytetyössä keskitytään ohutkerroksisiin suodattimiin.

Ohutkerroksisia suodattimia ovat kiintoaineen erottamisessa esim. suodatinkangas tai viira, suodatinverkko ja suodatinpaperi. Suodatus perustuu kokojakaumaan eli suodatin muodostaa esteen, jonka läpi pääsee vain suodattimen aukkoja pienemmät kiintoainehiukkaset. Aukkoja suuremmat kiintoainehiukkaset pidättyvät suodattimen pinnalle. (Karttunen 2014, 107.)

Suodatustapahtumaan vaikuttavat suodatukseseen käytettävän suodattimen ja paineen lisäksi suodatettavan nesteen viskositeetti, lämpötila ja kiintoainepitoisuus sekä kiintoainehiukkasten koko ja suodattimen likaantuminen (Pihkala 2013, 57).

Kun suodatettava liuos sisältää kiintoainetta, suodattimen pinta alkaa likaantua eli sen pinnalle alkaa kertyä kiinteiden hiukkasten muodostama kiintoainekerros eli kakku. Kakku toimii syntyessään myös suodattimena. Kakun pinnalle kerrostuu koko ajan lisää kiintoainetta, joten suodatuksen edetessä kakun paksuus kasvaa. Suodattimen ja kakun läpi kulkevaa nestettä sanotaan suodokseksi. (Pihkala 2013, 57.)

Suodatusnopeus tarkoittaa sitä suodoksen määrää, joka tietyssä aikayksikössä läpäisee pinta-alaltaan yhden neliömetrin suuruisen suodatinkerroksen.

$$s = \frac{V}{At}, \text{ jossa}$$

s = suodatusnopeus

V = suodatettavan nesteen tilavuus

A = suodatuspinta-ala

t = suodatusaika.

Suodatusnopeuteen vaikuttaa se voima, jolla suodatus saadaan aikaiseksi eli tavallisesti yli- tai alipaine. Nopeuden voidaan katsoa olevan suoraan verrannollinen suodatinkerroksen eri puolilla olevaan paine-eroon eli suodatusnopeus on sitä suurempi, mitä suurempi on paine-ero. Lisäksi suodattimen itsessään sekä suodattimen pinnalle kerrostuvan kakun aiheuttamat virtausvastukset ja suodatettavan nesteen lämpötila vaikuttavat suodatusnopeuteen. Eniten suodatusnopeuteen vaikuttavat suodatinkerroksen ja kakun aiheuttamat virtausvastukset, sillä mitä suurempia nämä vastukset ovat, sitä pienempi on suodatusnopeus. Virtausvastus myös kasvaa suodatuksen edetessä, kun kakun paksuus kasvaa. Kakun aiheuttama vastus riippuu myös kiintoainehiukkasten koosta, mitä hienojakoisempaa se on, sitä suurempi on virtausvastus. Lämpötila vaikuttaa nesteen viskositeettiin. Kun nesteen lämpötila kasvaa, sen viskositeetti pienenee, jolloin suodatusnopeus kasvaa. (Pihkala 2013, 59–60.)

Laitteet, joita suodatuksessa käytetään, voidaan jakaa kolmeen ryhmään vaikuttavan voiman ja suodattimen mekaanisten ominaisuuksien perusteella. Näitä ovat painovoimasuodattimet, painesuodattimet ja imusuodattimet. Suodattimet voivat olla joko jatkuvatoimisia tai jaksoittain toimivia. Kirkkain suodos saadaan yleensä painesuodatuksella. (Pihkala 2013, 59–60.)

### 3.1.1 Koagulaatio ja flokkaus

Koagulaation ja flokkauksen avulla voidaan parantaa kiintoaineen suodatuksen kapasiteettia ja suodosveden laatua. Pienet kiintoainehiukkaset, joita ei pystytä muuten suodattamaan, kasvatetaan koagulaation ja flokkauksen avulla suuremmiksi hiukkasrykelmiksi eli flokeiksi, jotka pystytään suodattamaan. Sen avulla saadaan poistettua suspendoituneet ja kolloidikokoa (0,1–0,01  $\mu\text{m}$ ) olevat epäpuhtaudet. Flokit muodostuvat useista kiintoainehiukkasista, jotka kiinnittyvät toisiinsa löyhästi. (Pihkala 2013, 50.)

Koagulaatio on kemiallinen prosessi. Koagulaatioprosessissa kemikaalin avulla neutraloidaan yleensä negatiivisesti varautuneet kolloidit, jolloin ne voivat kasvaa suuremmiksi hiukkasiksi niin sanotuiksi mikroflokeiksi. Muodostuneet mikroflokkit voidaan puolestaan kasvattaa vielä suuremmiksi makroflokeiksi hämmennyksen eli flokkauksen avulla. (Karttunen 2004, 133.) Flokkausta voidaan lisäksi tehostaa käyttämällä flokkauskemikaaleja eli flokkulantteja. Flokin muodostus vaatii siis koagulaation, koagulaatio-flokkauksen tai vain flokkauksen (Peltokangas, Heinänen & Viitasaari 1995, 50). Tämän jälkeen hiukkaset voidaan poistaa suodattamalla (Karttunen 2004, 133).

Kolloidimuodossa oleviin hiukkasiin vaikuttaa kaksi päävoimaa, Van der Waalsin vetovoima ja elektrostaattiset vetovoimat eli hiukkasten pintavaraus. Van der Waalsin voiman suuruuteen vaikuttavat hiukkasen rakenne, muoto ja materiaali. Hiukkaset voivat liittyä yhteen, kun kolloidin zeta-potentiaali on -10 mV ja -40 mV välillä, koska silloin diffuusiokerros ohenee sen verran, että Van der Waalsin voimat ovat suurempia kuin elektrostaattiset voimat, jolloin hiukkaset pääsevät kiinnittymään toisiinsa. (Karttunen 2004, 134.)

Flokkulantit voivat olla anionisia (-), kationisia (+) aineita, jotka muuttavat hiukkasten sähköisiä ominaisuuksia tai neutraaleja ionittomia flokkulantteja (Pihkala 2013, 51). Koaguloinnissa käytetään yleensä epäorgaanisia aineita kuten rautayhdisteitä, alumiiniyhdisteitä, tai lyhyketjuisia kationisia polymeerejä. Rautayhdisteitä käytetään yleensä eniten. Ne voivat olla +2- tai +3-arvoisia (Peltokangas ym. 1995, 50-55; Hirvinen 2015.) Kolmenarvoiset ionit ovat kymmenen kertaa tehokkaampia kuin kahdenarvoiset. Ferrikloridi on yleisimmin käytetty kolmenarvoinen rautayhdiste. Epäorgaanisia koagulantteja käytettäessä on tärkeää optimoida pH:n arvo, koska ne

muuttavat muun muassa liuoksen pH-arvoa ja johtavuutta. On myös mahdollista käyttää orgaanisia koagulantteja kuten kationisia polyelektrolyyttejä, jotka neutraloivat negatiiviset kolloidit suoraan. Näin tehtäessä myös lietteen synty vähenee. (Peltokangas ym. 1995, 50-55; Autio 2010.)

Käytettävän kemikaalin valintaan vaikuttaa yleensä kemikaalin vaarattomuus ja hinta, mutta mitä tehokkaampi kemikaali, sitä tiiviimpiä ja pysyvämpiä flokkeja saadaan aikaan. (Peltokangas ym. 1995, 51; Hirvinen 2015.) Kemikaali voidaan annostella esimerkiksi suotimen syöttöputkeen, heti lietepumpun jälkeen (Pihkala 2013, 51).

### 3.1.2 Nauhasuodatus

Nauhasuodatus on muun muassa jäteveden esikäsittelyyn sopiva painovoimainen tai alipaineistettu suodatusmenetelmä. Nauhasuodattimessa suodattimena toimii päätön suodatinkangas eli viira. Se voi olla jopa 3 m leveä ja 20 m pitkä. (Ruohoniemi 2011.) Viiran huokoskoko valitaan suodatettavan nesteeseen mukaan. Jätevesi pumpataan viiralle, josta neste valuu painovoimaisesti tai alipaineella läpi ja kiinteät partikkelit pidättyvät viiramaton päälle. Kun viira pyörii, syntynyt liete kaavitaan sen pinnalta pois.

Jätevesi yleensä flokataan eli partikkelikokoa kasvatetaan ennen sen ajamista viiralle, jotta lieteseos ei valu veden mukana viiran läpi rejektiveteen. Suodatuksen edetessä veden erotus heikkenee eli viira alkaa likaantua. Viiraan kerääntyvä liete alkaa tarttua viiran pintaan ja tukkii sitä. Likaantumista voidaan ehkäistä erilaisilla harjoilla, kaapimilla, paineilmalla ja vesipuhdistusjärjestelmillä. (Valliluoto 2012.)

Nauhasuodattimen lisäksi jätevesien kiintoaineen erotukseen voidaan käyttää erilaisia rumpu- ja kiekkosuodattimia sekä suodatinprässejä.

### 3.2 Kalvosuodatus

Kalvosuodatuksessa vedestä tai jätevedestä voidaan erottaa puoliläpäisevän kalvon avulla liuenneita aineita, kuten polymeerisiä hiilihydraatteja, sokereita ja suoloja. Kalvotekniikoita käytetään esimerkiksi silloin, kun teollisista jätevesistä halutaan ottaa arvokkaita ainesosia talteen tai poistaa myrkyllisiä aineita. Kalvot päästävät veden läpi, mutta eivät poistettavia epäpuhtauksia. (Karttunen 2003, 121.)

Kalvosuodatuksen perusedellytys on, että puhdistettavaan nesteeseen kohdistuu jokin voima, joka ajaa sen kalvon läpi. Yleisin läpäisyn aiheuttava voima on paine, joko yli- tai alipaine. Muita voimia voivat olla sähköisen kentän käyttö, lämpötila- tai konsentraatioero. (Karttunen 2003, 121.) Kun joku näistä voimista ajaa nestettä kalvon läpi, toimii kalvo esteenä nesteen eri komponenteille, sen kemiallisten ominaisuuksien, huokoskoon tai sähköisen varauksen johdosta. Vain laadultaan sopivat komponentit pääsevät kalvon läpi. Kalvon läpi päässyttä nestettä kutsutaan permeaatiksi ja nestettä, joka ei läpäise kalvoa konsentraatiksi. Toisin sanoen kalvosuodatuksessa puhdistusprosessiin syötettävä neste eli syöttö erottuu permeaatti- ja konsentraattifraktioiksi. (Karttunen 2004, 120-122; Rantanen 2014.)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään paineella toimiviin menetelmiin. Paineella toimivia menetelmiä ovat mikro-, ultra- ja nanosuodatus sekä käänteisosmoosi. Käytettävä menetelmä valitaan sen perusteella, minkä kokoisia komponentteja suodatettavasta nesteestä halutaan erottaa. Jokaiselle kalvosuodatusmenetelmälle on määritelty kalvon huokoskoko. (Karttunen 2004, 121-122; Arola 2011.) Huokoskoko suuremmat komponentit eivät läpäise kalvoa, joten huokoskoko määrää kiintoaineen puhdistusrajan (Karttunen 2003, 121).

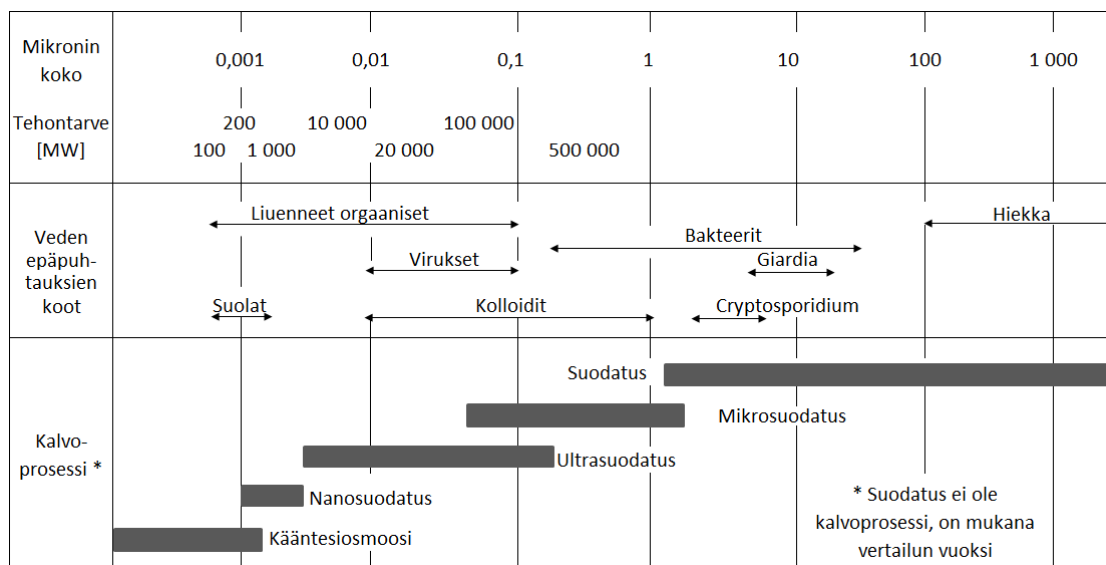
Kalvosuodatuksessa käytettävät suodatuspaineet ovat riippuvaisia kalvojen huokoskoosta. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä pienempi suodatuksessa käytettävän kalvon huokoskoko on, sitä suurempi suodatuspaine tarvitaan, jotta neste saadaan suodatettua kalvon läpi. (Karttunen 2004, 121-122; Lehikoinen 2016.) Taulukossa 1 on esitetty tyypilliset huokoskoot ja käyttöpaineet.

Taulukko 1. Paineella toimivien kalvosuodatustekniikoiden tyypilliset huokoskoot ja käyttöpaineet (Arola 2011).

| Suodatusmenetelmä | Huokoskoko      | Tyypillinen käyttöpaine |
|-------------------|-----------------|-------------------------|
| Mikrosuodatus     | 0,04 – 0,4 µm   | 0,5 – 2,0 bar           |
| Ultrasuodatus     | 0,001 – 0,02 µm | 0,5 – 10 bar            |
| Nanosuodatus      | < 0,001 µm      | 5 – 35 bar              |
| Käänteisosmoosi   | < 0,001 µm      | 15 – 150 bar            |

Mikrosuodatuksen avulla saadaan poistettua suspendoituneet kiintoaineet ja suurimmat bakteerit. Ultrasuodatuksella saadaan poistettua kaikki bakteerit ja polysakkaridit, proteiinit ja suurimmat virukset. Nanosuodatuksella pystytään

poistamaan kaikki virukset, moniarvoisista kationeista koostuvat suolat ja orgaanisia yhdisteitä, kuten sokerit. Käänteisosmoosilla vastaavasti pystytään poistamaan pienimmätkin epäpuhtaudet, kuten liuenneet monovalenttiset suolat. (Porter 1988, v-vi; Lehikoinen 2016.) Kuvasta 2 näkee kalvotekniikoiden sovellusalueet verrattuna perinteisiin paksukerroksisiin suodatusmateriaaleihin. Kalvosuodatusmenetelmillä päästään huomattavasti parempiin puhdistustuloksiin.

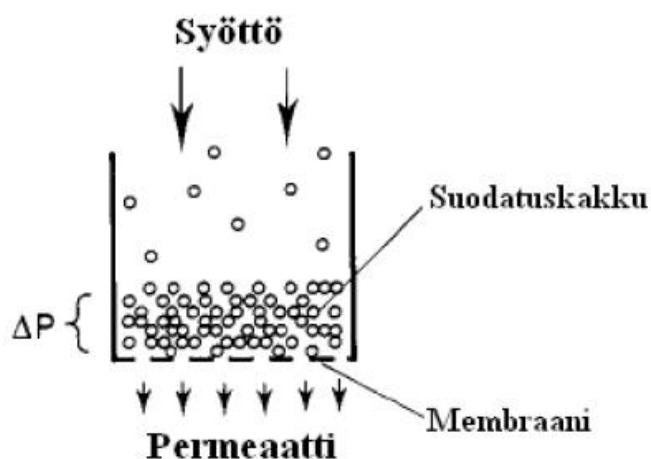


Kuva 2. Kalvopuhdistusmenetelmien erotusalueet (Karttunen 2003, 122).

Kalvot valmistetaan yleisimmin synteettisistä materiaaleista, joko orgaanisista- tai epäorgaanisista materiaaleista (Porter 1988, 1-6; Rantanen 2014). Usein kalvot ovat orgaanisia synteettisistä polymeereistä valmistettuja joustavia filmejä, koska näillä on erittäin hyvä läpäisevyys huokoskokoja pienemmille komponenteille (Porter 1988, 1-6; Arola 2011). Epäorgaaniset kalvot voivat olla ohutkerroksista metallia tai keraamia. Näiden käyttöä kuitenkin rajoittaa monesti korkeammat kustannukset. (Porter 1988, 1-6; Rantanen 2014.)

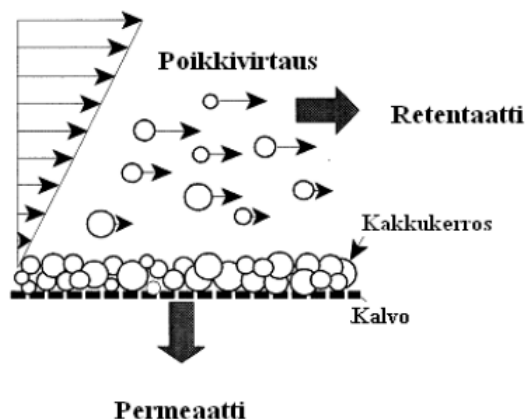
Kalvoja voidaan käsitellä kemiallisesti, jos halutaan muuttaa esimerkiksi niiden hydrofiilisyyttä. Hydrofiilisyydestä on usein hyötyä jätevesien käsittelyssä, koska se vähentää kalvon likaantumisherkkyttä sekä parantaa veden läpäisevyyttä. Jätevesien käsittelyssä käytetyimpiä ovat polymeeriset suodatuskalvot. (van Rijn 2004, 17-18; Rantanen 2014.)

Käytössä on kaksi eri kalvosuodatusmenetelmää, cross flow ja dead end. Dead end -suodatuksen periaate, komponenttien liikkuminen ja kakkukerroksen kasaantuminen on esitetty kuvassa 3. Siinä koko syöttövirta pakotetaan paineen avulla kalvon eli membraanin läpi, jolloin konsentraatio jää kalvon pinnalle ja muodostaa suodatuskakun, joka kasvaa koko suodatuksen ajan. (Porter 1988, 99-104; Arola 2011)



Kuva 3. Dead end -suodatuksen periaate (Saario 2013).

Kuvassa 4 on esitetty Cross flow -suodatuksen periaate, komponenttien liikkuminen ja kakkukerroksen kasaantuminen. Cross flow -suodatuksessa puhdistettava neste virtaa kalvon pinnan suuntaisesti. Neste läpäisee kalvon paine-eron vaikutuksesta, joka muodostuu kalvoyksikön eri puolille. Nestevirtausta joka ei läpäise kalvoa kutsutaan retentaatiksi. Retentaatti johdetaan takaisin suodatuslaitteiston prosessisäiliöön ja uudelleen suodatettavaksi. Tällä periaatteella kalvon pinnalle kasaantuva kakkukerros pysyy pienenä, koska poikkivirtaus heikentää kakun muodostumista. Tämän ansiosta Cross flow -suodatus mahdollistaa pitkäkestoisen tasaisen suodatuksen. (Porter 1988, 99-104; Saario 2013.)



Kuva 4. Cross flow -suodatuksen periaate (Saario 2013).

Cross flow soveltuu jatkuvatoimiseksi suodatuksiksi, kun taas dead end -suodatus on panosprosessi. Jatkuvatoimisella suodatuksella saavutetaan panosprosessia suurempi kapasiteetti. Lisäksi jatkuvatoimisessa suodatuksessa kalvon elinikä on yleensä pidempi, koska kalvot likaantuvat vähemmän. (Porter 1988, 99-104; Arola 2011.) Cross flow -suodatusta käytetään laajasti monilla eri teollisuuden aloilla puhtaiden liuosten valmistuksessa ja konsentroinnissa sen suodatustehokkuuden johdosta. Se on myös energiaa säästävää sovellus moniin muihin erotustekniikoihin verrattuna. (Porter 1988, 1; Saario 2013.)

Kalvosuodatustekniikat tulevat kasvamaan jätevesien käsittelytekniikkana tulevaisuudessa perinteisiin menetelmiin verrattuna (Rantanen 2014). Kalvosuodatustekniikoiden etuja ovat erotustehokkuus, kapasiteetin muunneltavuus ja alhainen energiankulutus, minkä lisäksi prosessin käyttö on helppoa ja laitteet yksinkertaisia (Porter 1988, 1; Arola 2011). Laitteiden kompaktin koon takia ne on helppo liittää muihin prosesseihin. Jätevedenpuhdistamoilla kalvosuodattimia käytetään, mutta ei niinkään esikäsittelyä vaan jälkikäsittelyä. Jälkikäsittelyssä kalvosuodatuksen avulla parannetaan jäteveden puhtautta. (Lehikoinen 2016.) Kalvosuodatustekniikoita kehitetään ja tutkitaan koko ajan ja materiaalit paranevat, myös tekniikan yleistyminen laskee kynnyksestä kalvotekniikoiden hyödyntämiseen (van Rijn 2004, 1-3; Rantanen 2014). Tämän ansiosta monilla puhdistusalueilla kalvotekniikat alkavat olla kilpailukykyisiä muiden puhdistustekniikoiden kanssa (Karttunen 2004, 121).

### 3.2.1 Mikro-suodatus (MF)

Perinteisesti kalvotekniikkaan perustuva mikro-suodatusjärjestelmä, joka toimii kirkastussuodattimena, asennetaan prosessilinjaan esikäsittelyksi ennen nanosuodatusta tai käänteisosmoosia, jotta pienemmän huokoskoon kalvot eivät tukkeutuisi (Porter 1988, 131; Mäkelä 2006). Sen avulla jätevedestä saadaan eroteltua kokonaissuspendoitunut kiintoaineseos (TSS) sekä suurimmat mikro-organismit, kuten alkueläimet ja bakteerit. MF-kalvoilla saadaan poistettua kiintoainepartikkeleita, jotka ovat kooltaan 0,02–20 µm. Mikro-suodatuskalvoja käytetään laajasti eri alojen sovelluksissa, kuten lääketeollisuudessa, elintarviketeollisuudessa ja erilaisten jätevesien käsittelyssä. (Porter 1988, 114-126; Saario 2013.)

Mikro-suodatuskalvojen hyvin nesteitä läpäisevän rakenteen johdosta näillä kalvoilla saavutetaan suuri vuo (van Rijn 2004, 2; Rantanen 2014). Kalvojen ominaisuuksiin vaikuttaa materiaalin lisäksi valmistusprosessi. Tärkein ominaisuus on kalvojen retentio eli pidätyskyky, jonka lisäksi tärkeitä ovat käyttöikä, kemiallinen ja terminen kestävyys, adsorptio-ominaisuudet sekä huokoisuus. Näillä ominaisuuksilla pyritään hyvään suodatustulokseen mahdollisimman pienillä paine-eroilla. Tyypillinen erotukseen käytetty paine on melko alhainen, yleensä alle 2 baria. (van Rijn 2004, 169; Saario 2013.)

Mikro-suodatuskalvoilla komponenttien erottuminen tapahtuu pääasiallisesti kalvon ulkopinnalla, koska erotus perustuu seulontaan ja kokoeroon. Tämän takia kalvolla tulisi olla kapea huokoskokojakauma, jotta haluttujen komponenttien poisto onnistuu. (van Rijn 2004, 169; Saario 2013) Taulukossa 2 on esitetty erilaisten kalvomoduulien ominaisuuksia.

Taulukko 2. Erilaisten moduulien ominaisuuksien vertailu (Saario 2013).

|   | Kanava-<br>väli,<br>cm | Pakkaus-<br>tiiviyys,<br>m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> | Energian<br>kulutus<br>(pumppaus) | Partikkeli-<br>tukkeutuminen | Puhdistuksen<br>helppous  |
|---|------------------------|---|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Putkimainen kalvo<br>(ontoissa tukevissa<br>putkissa)   | 0,3–2,5                | 60  | Korkea                            | Matala                       | Erinomainen               |
| Litteä kalvo<br>(Tukevalla alustalla)   | 0,03–0,25              | 300   | Kohtuullinen                      | Kohtuullinen                 | Hyvä                      |
| Spiraalikomponenttikalvo<br>(Kalvo vuorottelee<br>joustavan tukirakenteen<br>kanssa putken ympärillä) | 0,03–0,1               | 600   | Matala                            | Erittäin korkea              | Heikosta<br>kohtuulliseen |
| Ontonkuitu  | 0,02–0,25              | 1200  | Matala                            | Korkea                       | Kohtuullinen              |

Mikrosuodatuskalvoja valmistetaan monista eri materiaaleista. Polymeerikalvot ovat yleisimmin käytetyt, mutta lisäksi käytetään keraamisia ja metallisia kalvoja. Keraamiset kalvot valmistetaan metallin ja epämetallin yhdistelmästä. Materiaaleina käytetään muun muassa alumiinia, zirkoniumia ja titaania. Metalliset kalvot valmistetaan usein metallijauheesta sintraamalla, kuten ruostumattomasta teräksestä tai molybdeenistä. (van Rijn 2004, 7, 13-16; Saario 2013.)

### 3.2.2 Likaantuminen

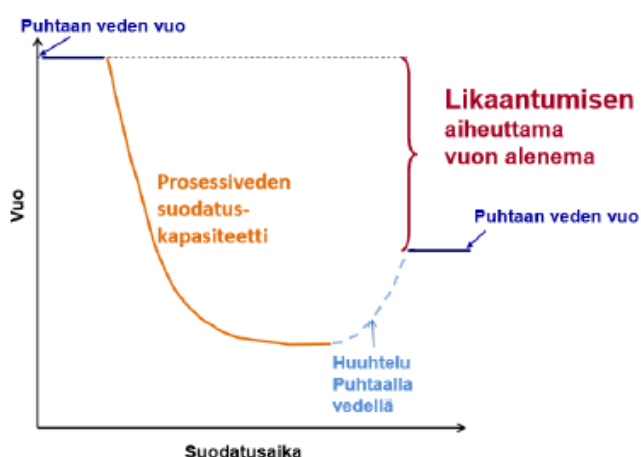
Suodatuksen tehokkuuteen vaikuttaa suuresti foulaantuminen eli kalvojen likaantuminen suodatuksen edetessä. Kalvoprosessin likaantumisessa keskeisiä parametreja ovat permeaattivuo ja virtausnopeus. Suodatuksen toimivuus on pitkälti riippuvainen näistä kahdesta. Likaantuminen vaikuttaa näihin parametreihin ja muuttaa suodatusta. (van Rijn 2004, 3-4; Saario 2013.) Käytännössä se tarkoittaa sitä, että permeaattivuo alenee pysyvästi eli kapasiteetti laskee. Likaantuminen on tämän vuoksi kalvotekniikkasovelluksien käyttöä eniten rajoittava tekijä. (van Rijn 2004, 170; Rantanen 2014.) Se miten voimakasta likaantuminen on ja miten se vaikuttaa suodatustehokkuuteen riippuu monesta eri tekijästä (van Rijn 2004, 3-4; Saario 2013).

Likaantumiseen eniten vaikuttavia tekijöitä ovat kalvomateriaali, suodatettavan nestein ominaisuudet sekä parametrit joilla prosessia ajetaan, kuten paine ja lämpötila. (Srebnik, S. 2003, 1; Saario 2013.) Kalvon likaantuminen voi tapahtua niin, että

huokokset kaventuvat tai tukkeutuvat, suodatettava nesteen sisältämät molekyylit adsorboituvat kalvoon tai kalvon pinnalle muodostuu geeli tai kakkukerros. Huokosten kaventumisen tai tukkeutumisen johdosta myös kalvon erotuskyky voi muuttua. (Srebnik, S. 2003, 1-3; Lehikoinen 2016.) Likaantumisen kannalta kalvon tärkeimmät ominaisuudet ovat kemiallinen koostumus, varaus, hydrofiilisyys, pinnan karheus ja kalvon huokoisuus. Nesteen ominaisuuksista ja ajoparametreista tärkeimpiä ovat lämpötila, pH, liuennneiden orgaanisten ja epäorgaanisten aineiden määrä ja laatu. Myös kalvon pinnalla olevat poikkileikkausvoimat, viskositeetti, vuo ja suspendoituneen kiintoaineksen määrä vaikuttavat. (Srebnik, S. 2003, 1-3; Rantanen 2014)

Likaantuminen on siis suodatusprosessista riippuen monen eri osatekijän summa, joten jokaisen suodatuksen likaantumista pitää hallita tapauskohtaisesti. Yhdyskuntajätevevettä suodatettaessa kalvon likaantumisen hallinta on haastavaa, koska yhdyskuntajätevesi sisältää monenlaisia erilaisia partikkeleita, orgaanisia ja epäorgaanisia epäpuhtauksia sekä mikrobeja, minkä takia likaantumista voi tapahtua eri muodoissa. (Schäfer, A.I. 2005. 241; Rantanen 2014.)

Kaaviossa 1 on esitetty, miten suodatuskapasiteetti laskee likaantumisen johdosta. Kun kapasiteetti laskee eli vuo laskee, tarvitaan korkeampi suodatuspaine, jotta suodatettava neste saadaan menemään kalvon läpi. Kalvo voidaan huuhdella puhtaalla vedellä suodatuksen jälkeen, jotta osa liasta saadaan poistettua ja vuo taas kasvamaan, mutta se ei siitä huolimatta välttämättä palaudu alkuperäiselle tasolle. (Srebnik, S. 2003, 1; Lehikoinen 2016.)



Kaavio 1. Kalvon likaumisesta johtuva veden vuon alenema (Lehikoinen 2016).

Kun kalvo on likaantunut tarpeeksi, täytyy se puhdistaa tai jopa vaihtaa uuteen, jotta prosessia voidaan jatkaa hyväksyttävällä tasolla (Srebnik, S. 2003, 1; Saario 2013).

Kalvo voidaan puhdistaa kemiallisesti tai fysikaalisesti. Fysikaaliset puhdistusmenetelmät ovat yksinkertaisia ja nopeita eivätkä yleensä vaikuta kalvon ominaisuuksiin. Fysikaalisia menetelmiä ovat erilaiset mekaaniset käsittelyt likaa aiheuttavien partikkelien poistamiseksi. Näitä ovat erilaiset huuhtelut, kuten takaisin-, käänteis- ja eteenpäinhuuhtelut, hankaus, käsittely ilmalla tai hiilidioksidilla ja mekaaninen tärinä tai ultraäänikäsittely. Fysikaalinen puhdistaminen ylläpitää kalvon kapasiteettia hyvin, mutta poistaa vain rajallisesti likaa, joka tukkii kalvon huokoset. (Schäfer 2005, 155-160; Rantanen 2014.)

Kun fysikaaliset puhdistusmenetelmät eivät riitä, käytetään kemiallista käsittelyä. Kemiallisella käsittelyllä saadaan poistettua kalvon ja likaavien partikkelien väliä sidoksia ja vuorovaikutusvoimia. Kemiallisia puhdistusmenetelmiä ovat alkalinen käsittely, happokäsittely tai entsyymien ja biosidien käyttö. Alkalinen käsittely poistaa muun muassa erilaiset orgaaniset lika-aineet. Pesuliuksena voidaan käyttää esimerkiksi NaOH- tai Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-liuosta. Happokäsittely poistaa muun muassa saostuneet suolat ja pesuliuksena voidaan käyttää esimerkiksi typpi- tai sitruunahappoa. Entsyymejä ja biosidejä voidaan käyttää biologisen likaantumisen tai polysakkaridien poistamiseen. (Schäfer 2005, 155-160; Rantanen 2014.)

## 4 KOKEELLINEN SUODATUS

Koeajot suoritettiin 15.5.–19.6.2017 välisenä aikana Teknologian tutkimuskeskuksen erotustekniikan laboratoriossa Jyväskylässä. Tämä työ keskittyi Sofi Filter SF200 -mikrosuodattimen testaamiseen jäteveden kiintoaineen erottamisessa. Tavoite oli kokeellisesti selvittää Sofi-suodattimen mahdollisuudet toimia esikäsittelymenetelmänä kotitalousjäteveden konttipuhdistamossa. Tarkoituksena oli testata suotimen huokoskoon, syöttövirtauksen, paineen ja CF-putken sekä flokkauksen vaikutukset suodattimen kapasiteettiin. Tietoa haluttiin kotitalousjäteveden suodatuksessa Sofi-suodattimen vuosta ja puhdistetun veden laadusta sekä suodattimen likaantumisesta.

### 4.1 Sofi Filter SF200

Kokeellinen suodatus tehtiin suodattimella Sofi Filter SF200. Sofi Filter -suodatin on painesuodatin ja sen toiminta perustuu patentoituun High Cross-Flow menetelmään. Ero tavalliseen Cross flow -suodatukseen on se, että Sofissa syöttövirtaus voidaan ohjata ohjuriputkella kalvon pinnalle tangentiaalisesti eikä perinteisesti kalvon suuntaisesti. Sofi –suodatin näkyy kuvassa 5.



Kuva 5. Mikrosuodatin Sofi Filter SF200.

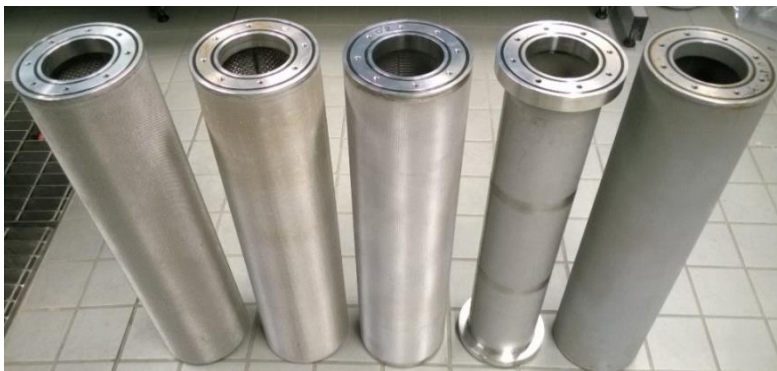
Tangentiaalisen syöttövirtauksen avulla on tavoitteena parantaa permeaatin läpivirtausta eli kapasiteettia ja vähentää energian kulutusta (Sofi Filtration 2017). CF-putki asennetaan suotimen päälle. Testiajoissa käytetyn CF-putken viiltojen koko on  $800\ \mu\text{m}$ . Suodatukset Sofi-suodattimessa voidaan tehdä joko CF-putken kanssa tai ilman. Ohjuriputki eli CF-putki on esitelty kuvassa 6.



Kuva 6. CF-putki edestä ja sisältä.

Suodatinmallin SF200 kapasiteetti on  $0,5\text{--}5\ \text{m}^3/\text{h}$  ja erottelukyky  $0,2\text{--}20\ \mu\text{m}$ . Suositeltu syöttöpaine on  $0,5\text{--}1,5\ \text{bar}$ . Sofin suotimet ovat kestolementtejä ja ne on tehty ruostumattomasta teräksestä (Sofi Filtration 2017).

Koeajoissa käytettiin suotimia, joiden erotuskyky on  $10\ \mu\text{m}$ ,  $1\ \mu\text{m}$ ,  $0,5\ \mu\text{m}$ ,  $0,2\ \mu\text{m}$  ja  $0,1\text{--}0,2\ \mu\text{m}$ . Pienimmän huokoskoon  $0,2\ \mu\text{m}$  ja  $0,1\text{--}0,2\ \mu\text{m}$  suotimet ovat pulverisintrattua metallia ja muut kudottua metalliverkkoa. Kuvassa 7 on esitelty koeajoissa käytetyt suotimet.

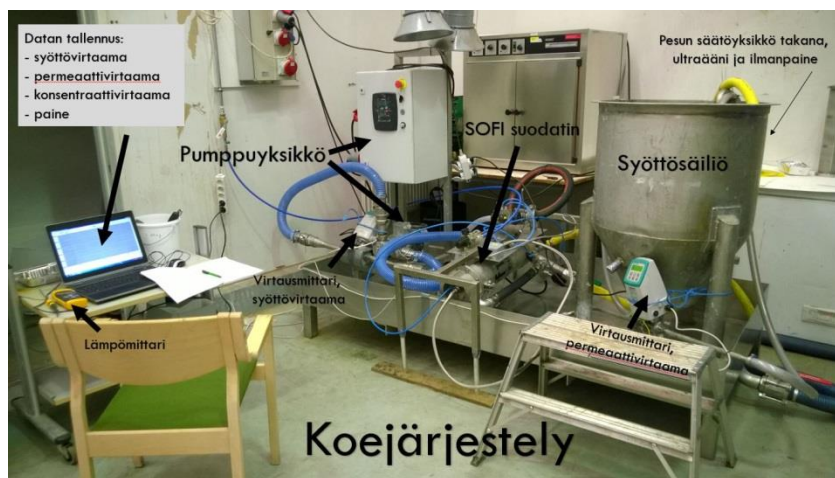


Kuva 7. Suotimet. Vasemmalta oikealle  $10\ \mu\text{m}$ ,  $1\ \mu\text{m}$ ,  $0,5\ \mu\text{m}$ ,  $0,2\ \mu\text{m}$  ja  $0,1\text{--}0,2\ \mu\text{m}$ .

Sofi-suodattimessa käytetään likaantumisen hallintaan kahta eri itsepuhdistustoimintoa, ultraääntä ja vastapainepulsseja (Sofi Filtration 2017).

#### 4.2 Koejärjestely

Tutkimusta varten rakennettiin koejärjestely, johon asennettiin Sofi-suodattimen lisäksi syöttösäiliö, pumppuyksikkö ja virtausmittari sekä syöttö- että permeaattivirtaamalle. Koejärjestely on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Koejärjestely.

Sofissa oleva paineen mittausanturi ja putkistoihin asennetut virtausmittarit kytkettiin tietokoneeseen, jotta saatiin tallennettua dataa syöttö- ja permeaattivirtaamasta sekä paineesta. Mittausohjelma laski automaattisesti konsentraattivirtaaman määrän. Konsentraattivirtaama on syöttövirtaaman ja permeaattivirtaaman erotus. Lämpötilat mitattiin manuaalisesti digitaalisella Fluke 52 -lämpömittarilla.

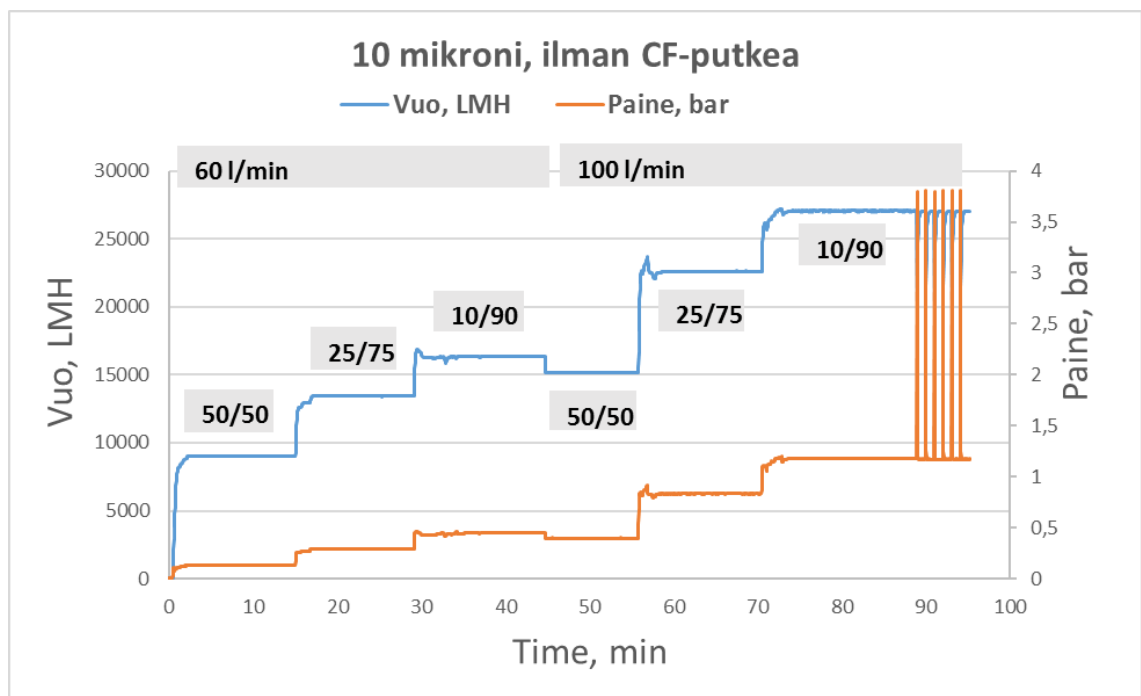
Koeajot tehtiin ensin vesijohtovedellä, jotta saatiin vertailukäyrästä ja valittua jätevesiajoihin sopivia ajoparametreja. Tämän jälkeen siirryttiin varsinaisiin koeajoihin, jotka tehtiin yhdyskuntajätevedellä. Jätevesi haettiin Jyväskylän Nenäinniemen jätevedenpuhdistuslaitokselta. Näyte pumpattiin uppopumpulla suoraan jätevesikanaalista muovikonttiin. Jätevesi otettiin väljän jälkeen, jossa isommat esineet on välpätty pois.

### 4.3 Vesijohtovesisuodattukset

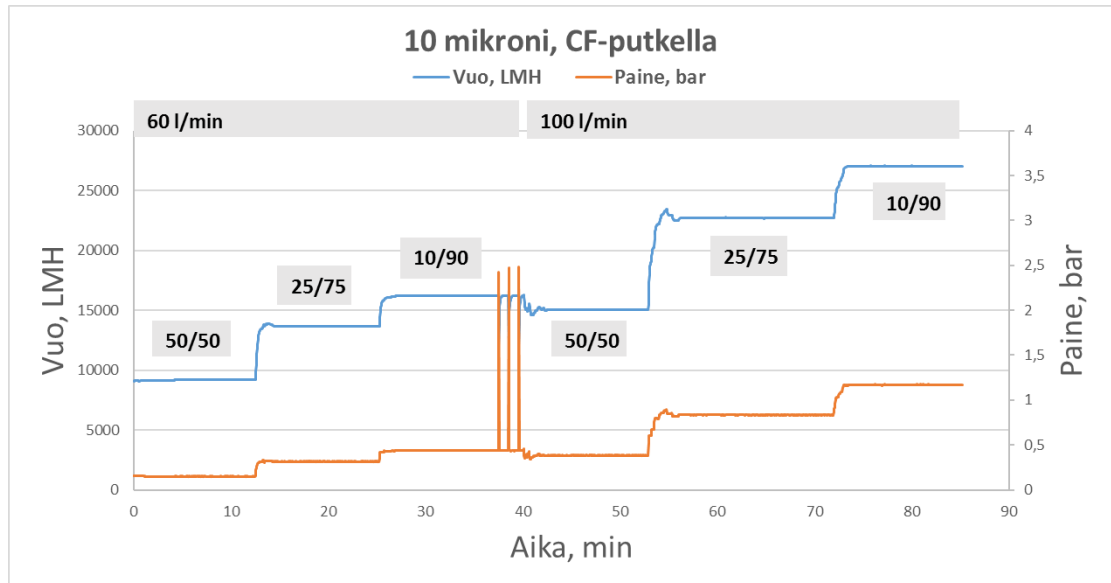
Vesijohtoveden kanssa ajettiin suotimet 10  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$ , 0,5  $\mu\text{m}$ , 0,2  $\mu\text{m}$  ja 0,1–0,2  $\mu\text{m}$ . Koeajot näillä suotimilla tehtiin sekä CF-putkella että ilman. Syöttövirtauksen nopeutena käytettiin 60 l/min ja 100 l/min. Ajot pyrittiin ajamaan konsentraatti/permeaatti suhteilla 50/50, 25/75 ja 10/90. Jos suhteisiin ei päästy, tehtiin ajot paineilla 0,5 bar, 1 bar ja 2 bar. Näiden lisäksi tutkittiin myös erilaisten pesujen vaikutusta mahdolliseen likaantumiseen.

#### Tulokset

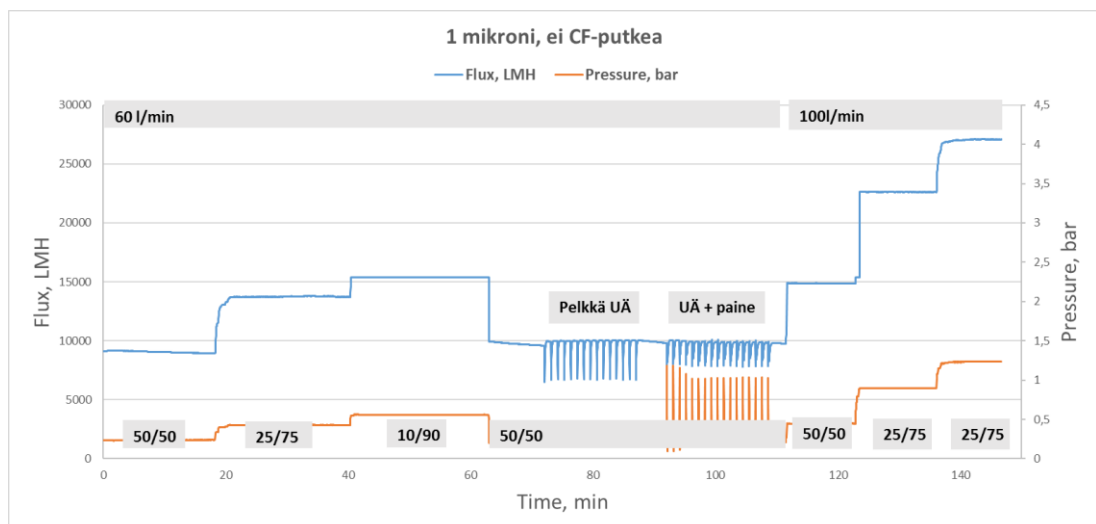
Vesijohtovedellä saatiin huokoskooltaan 10  $\mu\text{m}$  ja 1  $\mu\text{m}$  suotimilla lähes samanlaiset tulokset, jotka on esitetty kaavioissa 2, 3, 4 ja 5. Molemmilla vuon määrä oli eri konsentraatti/permeaatti suhteilla lähes sama sekä 60 l/min että 100 l/min syöttövirtauksilla.



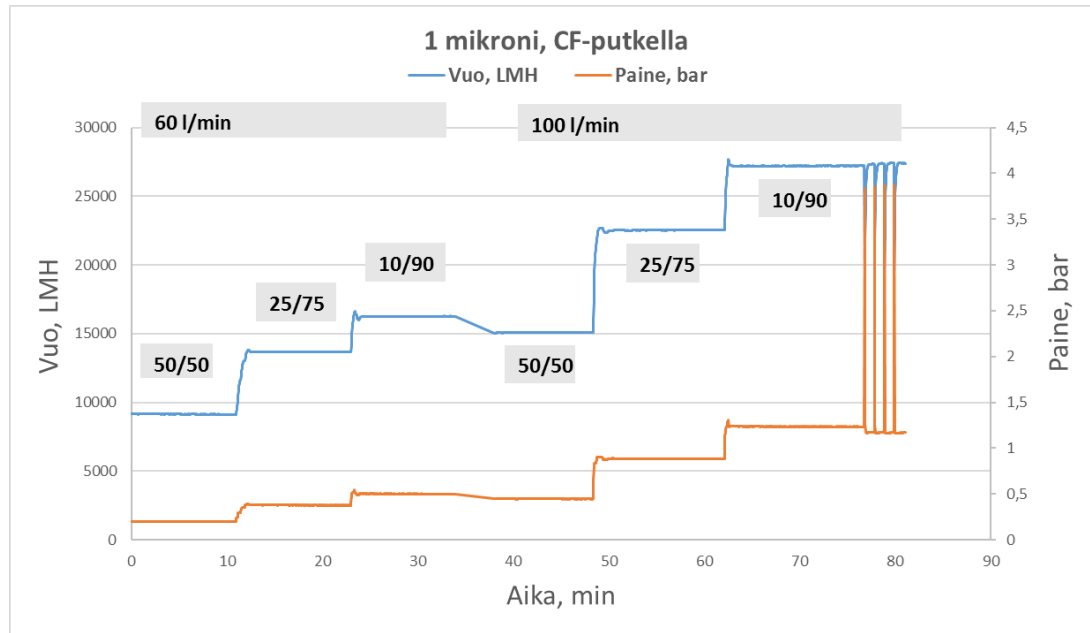
Kaavio 2. Vesijohtovesisuodatus 10  $\mu\text{m}$  suotimella ilman CF-putkea.



Kaavio 3. Vesijohtovesisuodatus 10  $\mu\text{m}$  suotimella CF-putken kanssa.



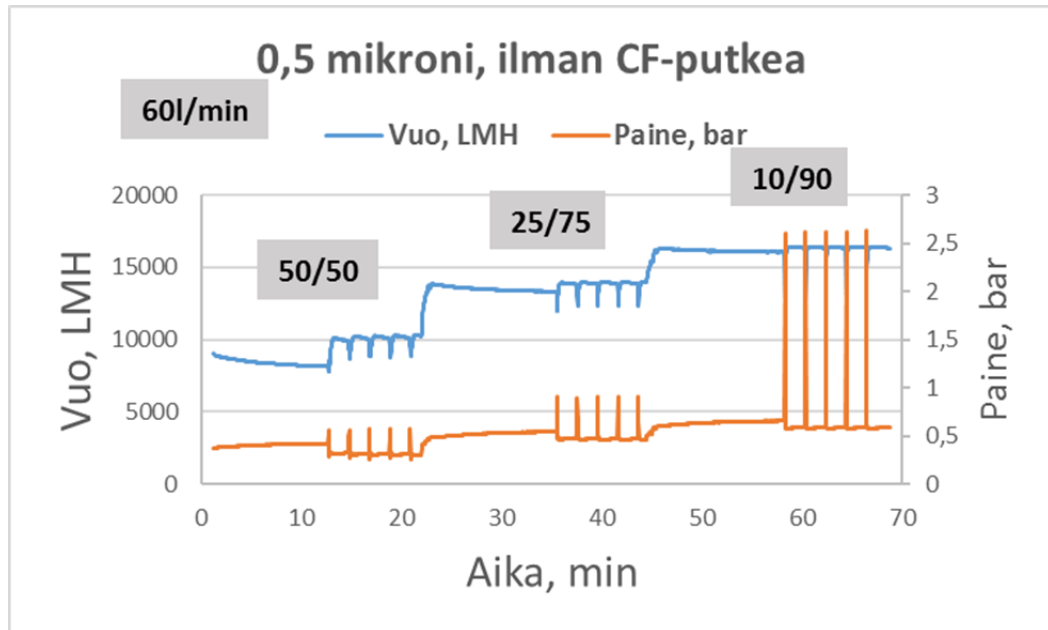
Kaavio 4. Vesijohtovesisuodatus 1  $\mu\text{m}$  suotimella ilman CF-putkea.



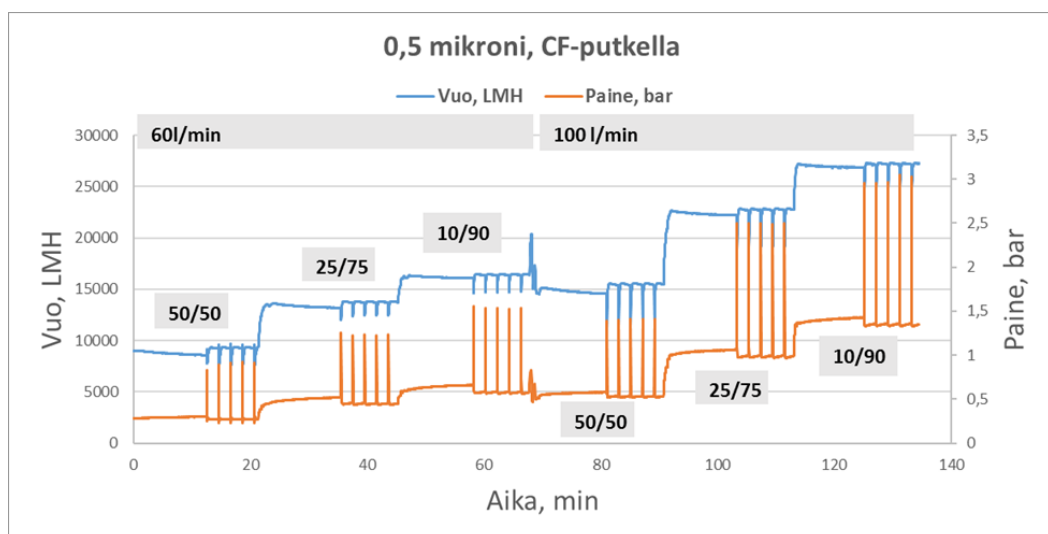
Kaavio 5. Vesijohtovesisuodatus 1  $\mu\text{m}$  suotimella CF-putken kanssa.

Suotimilla 1  $\mu\text{m}$  ja 10  $\mu\text{m}$  saatiin ajettua kaikki konsentraatti/permeaatti suhteet läpi. CF-putkella ei ollut vaikutusta vuohon. Näillä suotimilla vuon määrä oli hyvä eikä likaantumista tapahtunut. Vaikka suotimet eivät likaantuneet, testattiin pesun vaikutusta, mutta luonnollisesti sillä ei ollut vaikutusta vuon määrään. Paine pysyi koko testiajojen aikana alle 1,5 barin.

Huokoskooltaan 0,5  $\mu\text{m}$  suotimella saatiin myös hyvät vuot, jotka on esitetty kaavioissa 6 ja 7. Tällä suotimella saatiin ajettua kaikki permeaatti/konsentraatti suhteet läpi. CF-putkella ei ollut vaikutusta vuon määrään. Likaantumista tapahtui hieman. Pesut kuitenkin palauttivat vuon määrän ennalleen. Paine pysyi koko testiajojen aikana alle 1,5 barin.

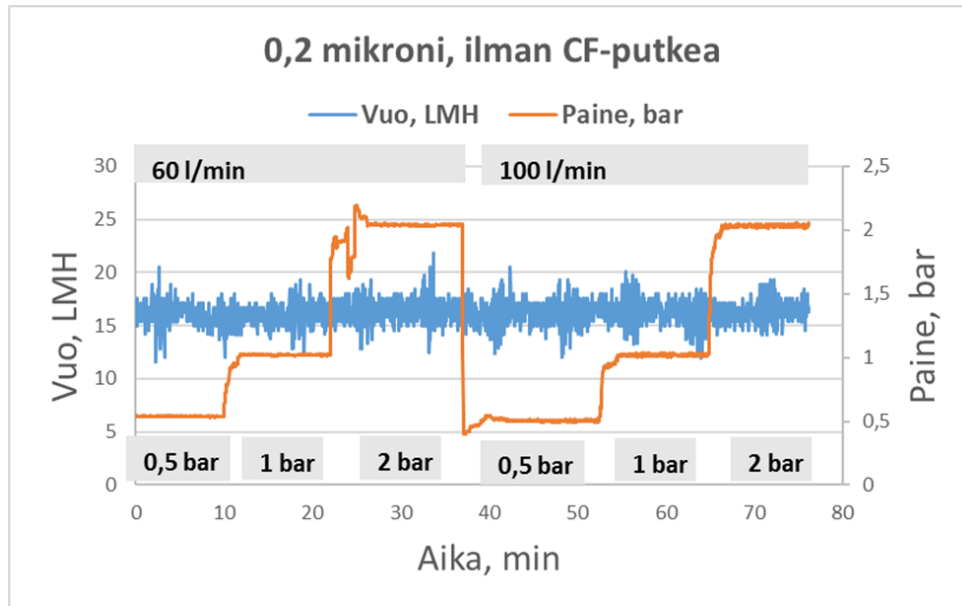


Kaavio 6. Vesijohtovesisuodatus 0,5  $\mu\text{m}$  suotimella ilman CF-putkea.

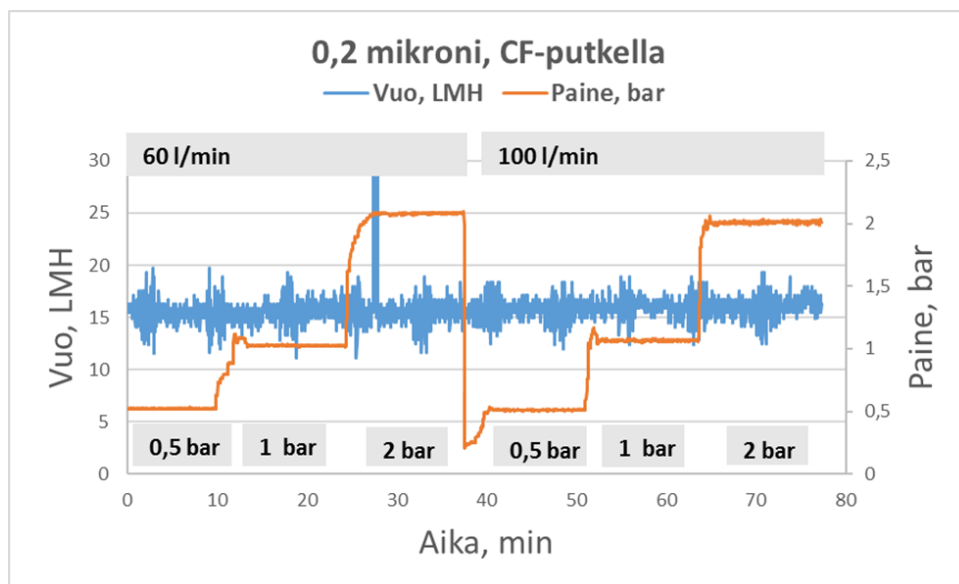


Kaavio 7. Vesijohtovesisuodatus 0,5  $\mu\text{m}$  suotimella CF-putken kanssa.

Tiukemmillä sintratuilla suotimilla tulokset eivät olleet yhtä hyviä. Huokoskooltaan 0,2  $\mu\text{m}$  suotimella saatiin huonot vuot, jotka on esitetty kaavioissa 8 ja 9. Tällä suotimella ei päästy enää permeaatti/konsentraatti suhteisiin, joten kokeiltiin eri paineiden vaikutusta vuohon. Paineen nostot eivät kuitenkaan vaikuttanut vuohon ollenkaan. Pesuilla ja CF-putkellakaan ei ollut vaikutusta vuon määrään. Tuloksien perusteella voidaan olettaa, että suodin oli tukossa. Suodin pestiin pesuliuksella ja ulkoisessa ultraäänihautteessa, mutta tulos oli silti sama.

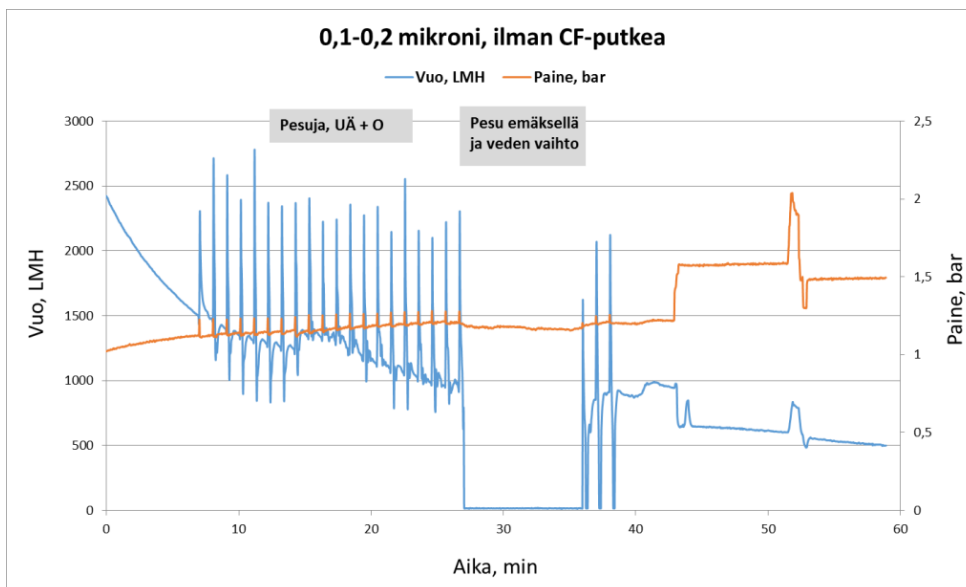


Kaavio 8. Vesijohtovesisuodatus 0,2  $\mu\text{m}$  suotimella ilman CF-putkea.



Kaavio 9. Vesijohtovesisuodatus 0,2  $\mu\text{m}$  suotimella CF-putken kanssa.

Huokoskooltaan 0,1–0,2  $\mu\text{m}$  suotimen vuo oli tiukalle suotimelle kohtuullinen. Tämä on esitetty kaaviossa 10. Vuo kuitenkin väheni koko ajan pesuista huolimatta. Tällä suotimella ei päästy permeaatti/konsentraatti suhteisiin. Suodinta ei ajettu CF-putken kanssa, koska vuo heikkeni niin radikaalisti, eikä edellisissä ajoissa CF-putkella ollut vaikutusta vuon määrään.



Kaavio 10. Vesijohtovesisuodatus 0,1–0,2 µm suotimella ilman CF-putkea.

Lopputuloksena oli se, että tiukoilla suotimilla saatiin alhaiset vuot. Ainoastaan 10 µm ja 1 µm suotimilla saatiin hyvät vuot ja syöttövirtauksella 60 l/min saatiin parhaat vuot. Vesiajojen perusteella päätettiin, että jätevesiajoissa käytetään 10 µm, 1 µm ja 0,5 µm suotimia.

#### 4.4 Jätevesisuodatukset

Jätevesisuodatukset tehtiin Nenäinniemen jätevedenpuhdistamon yhdyskuntajätevedellä. Jätevesi sisältää pieniä määriä kiintoainetta. Jätevesi suodatettiin 10 µm, 1 µm ja 0,5 µm suotimilla. Ajot tehtiin samalla tavalla kuin vesiajot, sillä poikkeuksella, että lisäksi kokeiltiin flokkauksen vaikutusta vuohon. Polymeerinä käytettiin Kemiran Superflock-C492:sta, jolla oli VTT:n aikaisemmissa tutkimuksissa saatu hyvät tulokset. Polymeeristä tehtiin 0,1 % liuos ja sitä käytettiin annoksella 8 ppm. Jätevedestä otettiin ajojen yhteydessä näytteitä, joista analysoitiin harkinnan mukaan pH, sameus, kiintoaine, kuiva-aine, kemiallinen hapenkulutus (COD), orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC), ammoniumtyppipitoisuus (NH<sub>4</sub>-N) ja fosfaattifosforipitoisuus (PO<sub>4</sub>-P). Likaantumista tarkasteltiin permeaattikäyrien avulla sekä silmämääräisesti suotimen ja CF-putken pinnalta.

Jätevesinäyte, joka oli haettu Nenäinniemen jätevedenpuhdistuslaitokselta, pumpattiin ruuvipumpulla muovikontista Sofin syöttösäiliöön. Ruuvipumpun imupuoleen kiinnitetyn

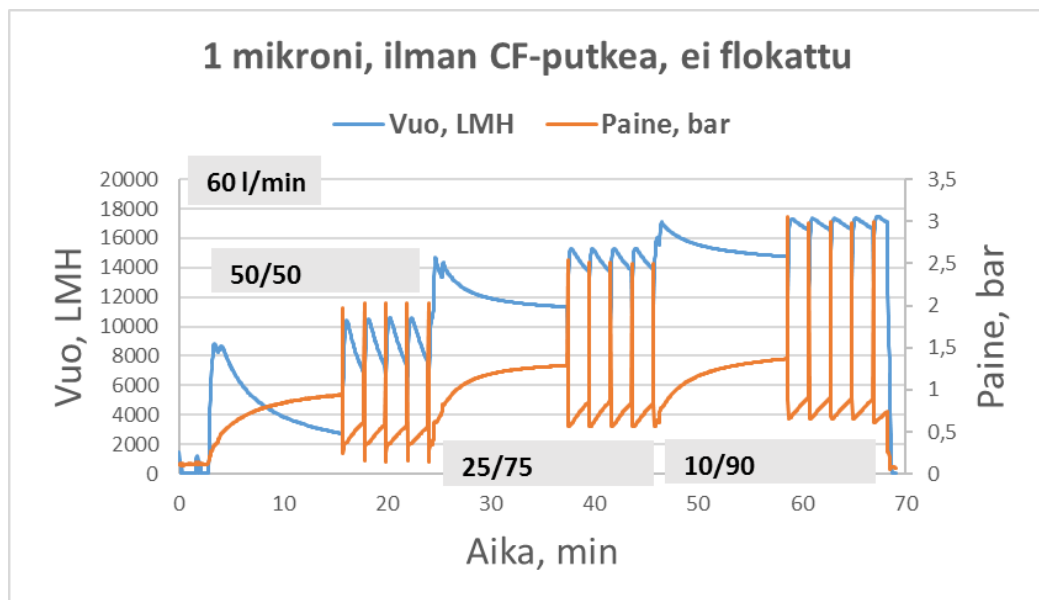
letkun päässä oli verkko, joka on esitetty kuvassa 9. Verkko esti suurimman kiintoaineen pääsyn Sofin syöttösäiliöön.



Kuva 9. Pumpun imuletkun päässä oleva verkko.

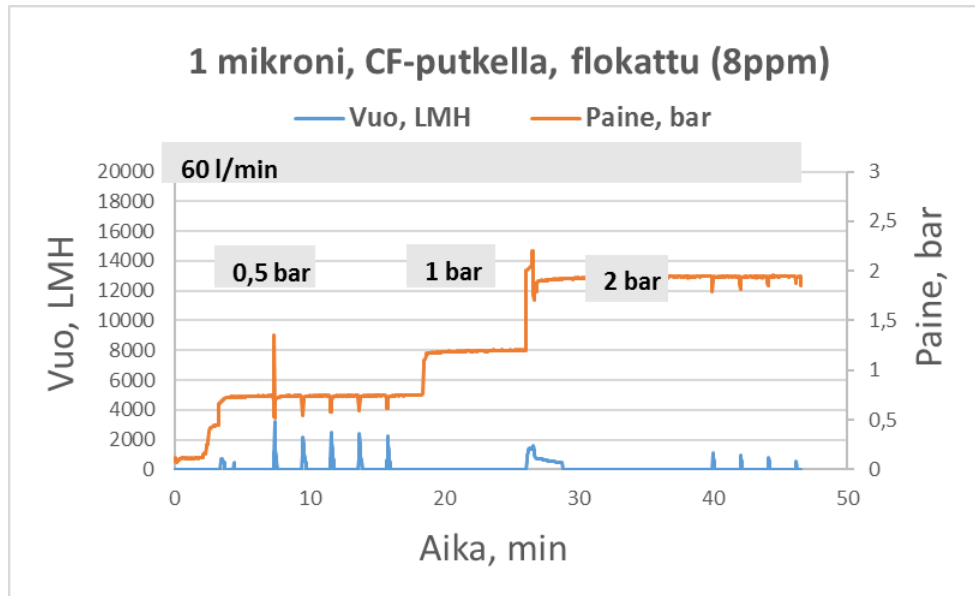
### Tulokset

Jätevesiajot aloitettiin 1 µm suotimella. Tällä suotimella ajettiin jätevesi sekä ilman flokkausta että flokattuna. Flokkaamaton jätevesi suodattui hyvin ja vuo oli hyvä. Päästiin kaikkiin permeaatti/konsentraatti suhteisiin. Likaantumista tapahtui, mutta pesut nostivat vuon määrän ennalleen, kuten kaaviosta 11 näkee.



Kaavio 11. Jätevesisuodatus 1 µm suotimella ilman flokkausta.

Flokattuna tulos oli aivan erilainen. Flokattu jätevesi ei suodattunut 1  $\mu\text{m}$  suotimen läpi vaan suodatin meni tukkoon. Permeaatti/konsentraatti suhteisiin ei päästy, eikä paineen nosto juuri vaikuttanut vuon määrään. Likaantuminen tapahtui muutamassa minuutissa, eivätkä pesutkaan nostaneet vuota. Vuo on esitetty kaaviossa 12.



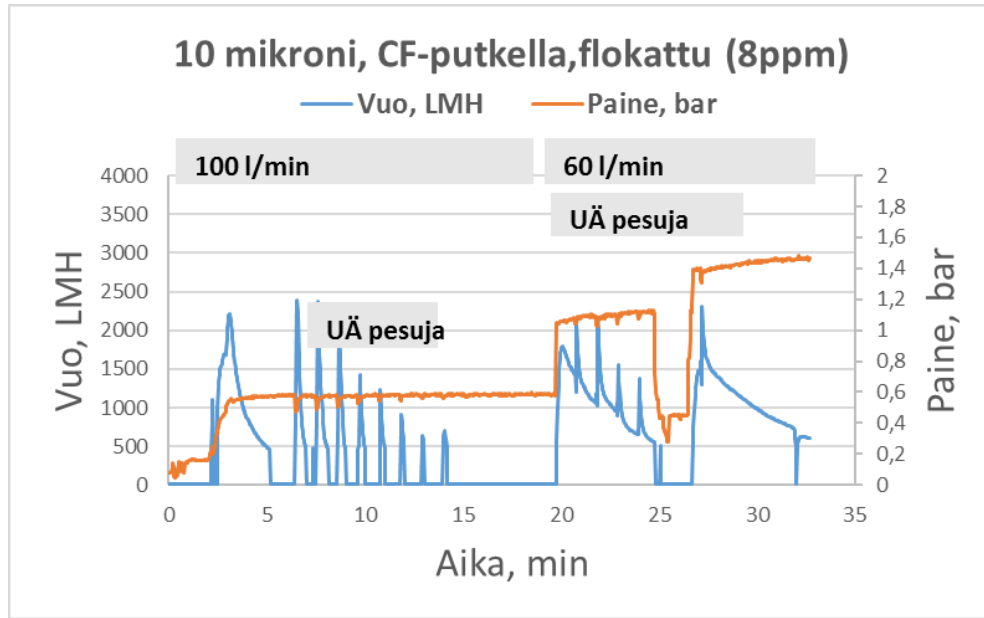
Kaavio 12. Jätevesisuodatus 1  $\mu\text{m}$  suotimella flokattuna.

Vuo oli alhainen, sillä flokki tukki sekä CF-putken että suotimen. Kuvassa 10 näkyy flokatusta jätevesiajosta otetut näytteet sekä suotimen ja CF-putken likaantuminen.

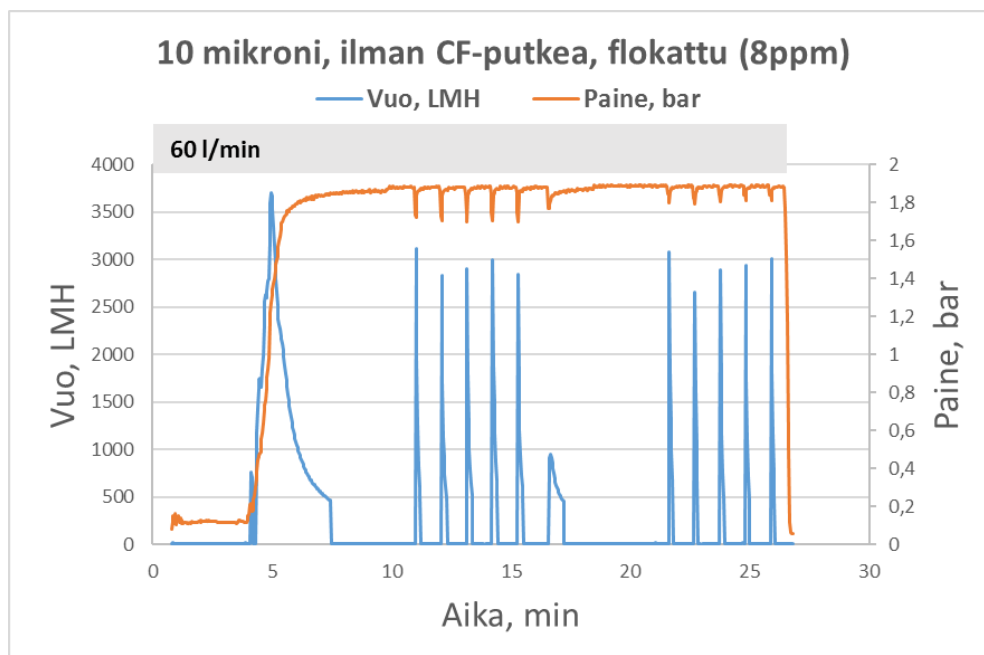


Kuva 10. Jätevesisuodatus 1  $\mu\text{m}$  suodattimella. Vasemmalla on näytteet syötteestä ennen ja jälkeen flokkauksen sekä permeaatista ja oikealla tukkeutunut suodin ja CF-putki.

Seuraavaksi ajettiin 10 µm suodin pelkästään flokatulla näytteellä. Ilman flokkausta ei ajettu, koska jäteveden sisältämä kiintoaine meni jo 1 µm suotimen läpi. Oletettavaa siis oli, että kiintoaine menisi myös 10 µm suotimen läpi. Ajot tehtiin sekä CF-putkella että ilman. Huokoskooltaan 10 µm suotimella ja flokatulla näytteellä saatiin myös alhaiset vuot. Vuot on esitetty kaavioissa 13 ja 14.

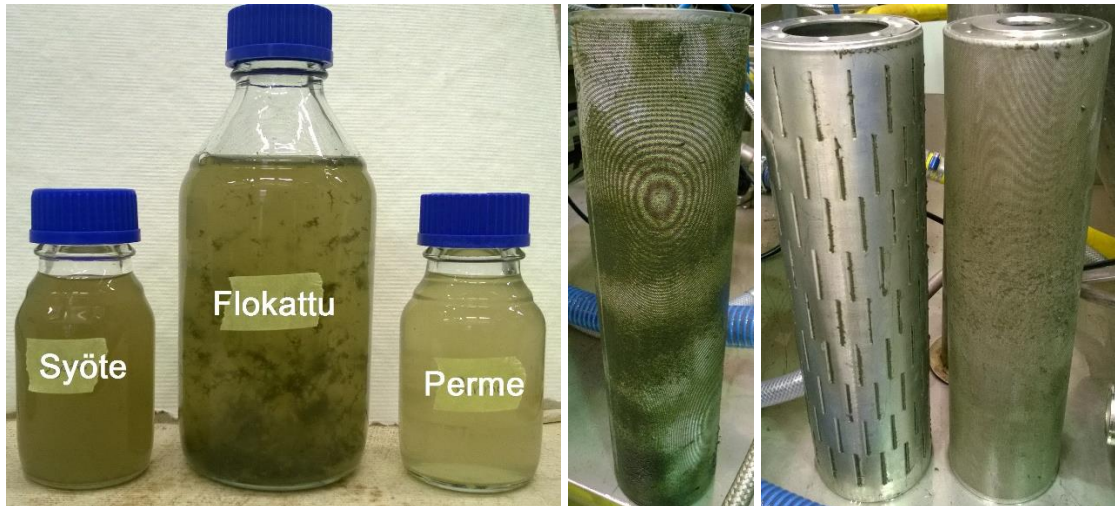


Kaavio 13. Flokattu jätevesisuodatus 10 µm suotimella CF-putken kanssa.



Kaavio 14. Flokattu jätevesisuodatus 10 µm suotimella ilman CF-putkea.

Huokoskooltaan 10  $\mu\text{m}$  suotimellakaan ei päästy permeaatti/konsentraatti suhteisiin. Paineen nosto nosti vuota hetkellisesti, mutta likaantuminen oli voimakasta ja nopeaa. Pesut eivät nostaneet vuota ja sekä CF-putki että suodin menivät tukkoon. Kuvassa 11 näkyy flokatusta jätevesiajosta otetut näytteet sekä suotimen ja CF-putken likaantuminen.



Kuva 11. Suodatus 10  $\mu\text{m}$  suodattimella. Vasemmalla on näytteet syötteestä ennen ja jälkeen flokkauksen sekä permeaatista ja oikealla tukkeutunut suodin ilman CF-putkea ja CF-putken kanssa.

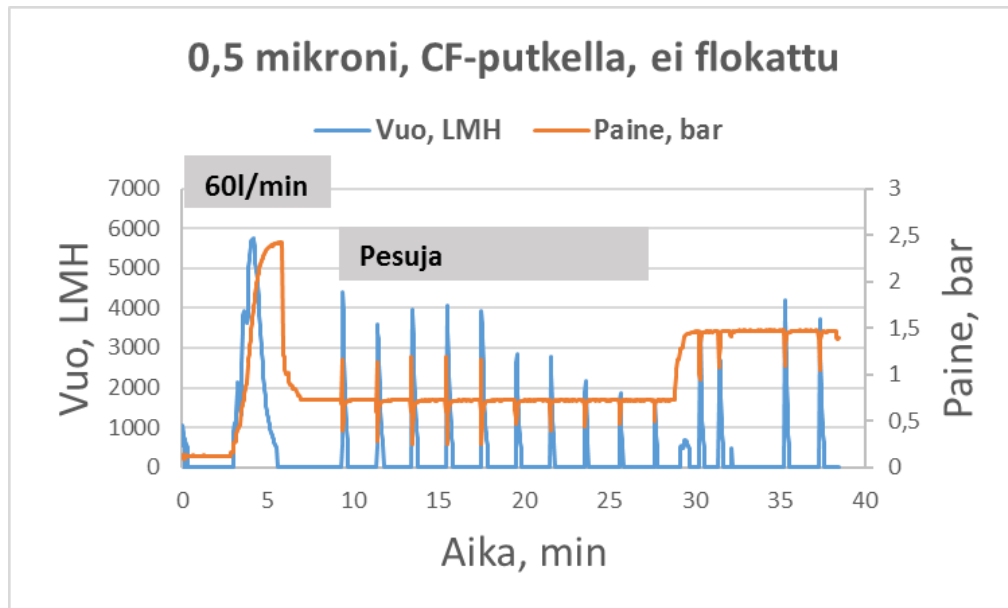
Näytteet 1  $\mu\text{m}$  ja 10  $\mu\text{m}$  suodattimella tehdyistä jätevesiajoista otettiin flokkaamattomasta syötteestä eli raa'asta jätevedestä ja permeaatista. Analyysien perusteella 1  $\mu\text{m}$  ja 10  $\mu\text{m}$  suotimien rejektio oli huono eli ne päästivät liikaa kiintoainetta läpi. Analyysien tulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Analyysitulokset 1  $\mu\text{m}$  ja 10  $\mu\text{m}$  jätevesisuodatuksista.

| Näyte                               | pH   | sameus | kiintoaine | kuiva-aine | COD  | TOC  | NH <sub>4</sub> -N | PO <sub>4</sub> -P |
|-------------------------------------|------|--------|------------|------------|------|------|--------------------|--------------------|
|                                     |      | NTU    | mg/l       | mg/l       | mg/l | mg/l | mg/l               | mg/l               |
| Näyte alkuperäinen                  | 7,2  | 229    | 369        | 835        | 1001 | 170  | 64,5               | 23,6               |
| Näyte pumpun jälkeen = Sofin syöttö | 6,95 | 153    | 87         | 604        | 471  | 126  | 54,8               | 18,6               |
| Perme 1 mikroni, ei flokattu        | 7,5  | 99,4   | 95         | 528        | 446  | 119  | 54,5               | 17,2               |
| Perme 1 mikroni, flokattu           | 7,2  | 41,4   | 48         | 455        | 236  | 59   | 52,7               | 15,2               |
| Perme 10 mikroni, flokattu          |      |        |            |            | 233  | 61   | 50,3               | 17,8               |

Viimeisenä ajettiin 0,5  $\mu\text{m}$  suodin, koska haluttiin selvittää, onko sen rejektio parempi kuin 1  $\mu\text{m}$  ja 10  $\mu\text{m}$  suotimilla. Suodin ajettiin ilman flokkausta. Flokattuna ei ajettu, koska suuremman huokoskoon suotimet menivät voimakkaasti tukkoon, ja näin ollen oletettiin myös pienemmän huokoskoon suodattimen tukkeutuvan. Suotimella ei päästy

permeaatti/konsentraatti suhteisiin eikä paineen nosto juurikaan vaikuttanut vuohon. Vuo oli huono ja likaantuminen voimakasta. Vuo on esitetty kaaviossa 15.



Kaavio 15. Jätevesisuodatus ilman flokkausta 0,5 µm suotimella CF-putken kanssa.

Suodin likaantui ja meni tukkoon, mutta CF-putki pysyi puhtaana, kuten kuvasta 12 näkyy.



Kuva 12. Suotimen ja CF-putken likaantuminen 0,5 µm suotimella ilman flokkausta.

Vuo oli niin huono, että näytettä ei saatu.

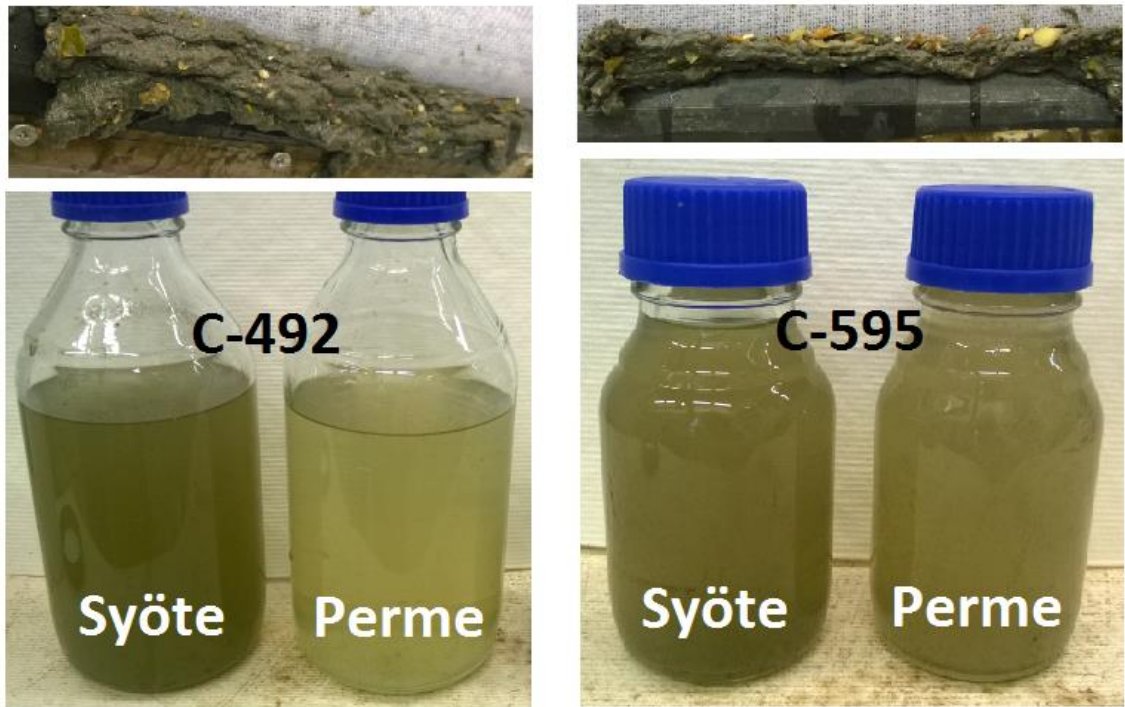
#### 4.5 Nauhasuodattimet

Sofi suodatusten jälkeen tehtiin testiajot myös nauhasuodattimella. Nenäinniemen jätevesi flokattiin ajoa varten Superflock C-492:lla sekä C-595:lla. Niitä käytettiin 0,1 % liuksena ja annostuksella 8 ppm. Käytetty nauhasuodatin oli pienen mittakaavan simulaattori, joka on esitelty kuvassa 13. Nauhasuodattimen viiran huokoskoko oli noin 500 µm.



Kuva 13. Koeajoissa käytetty nauhasuodatin.

Koeajojen perusteella C-492 flokkasi paremmin kuin C-595. Superflock C-492 saatiin suurempi kiintoainekakku ja suodos oli huomattavasti kirkkaampaa. Kuvassa 14 on esitetty nämä havainnot.



Kuva 14. Nauhasuodatuksen näytteet ja kakun muodostus Superflock C-492:lla ja C-595:lla.

Testiajoissa otetuista näytteistä, joissa käytettiin flokkulanttina C-492:sta, tehtiin analyysit. Analyysien tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Analyysit nauhasuodattimen testiajoista flokkulantilla C-492.

| Näyte       | pH   | sameus<br>NTU | NH <sub>4</sub> -N<br>mg/l | PO <sub>4</sub> -P<br>mg/l | COD<br>mg/l | TOC<br>mg/l | kuiva-aine<br>mg/l | kiintoaine<br>mg/l |
|-------------|------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------|-------------|--------------------|--------------------|
| viira syöte | 7,31 | 189           | 55                         | 19,7                       | 741         | 222         | 719                | 300                |
| viira alite | 7,52 | 22,1          | 54,7                       | 15,1                       | 204         | 105         | 375                | 20                 |

Analyysien tärkeimmät tarkasteltavat arvot ovat COD eli kemiallinen hapenkulutus ja kiintoaine. Mitä enemmän näitä saadaan esikäsittelyssä pois, sitä parempi. Jäteveden flokkauksella ja nauhasuodatuksella saatiin COD alenemaan noin 72 % ja kiintoaine 93 %.

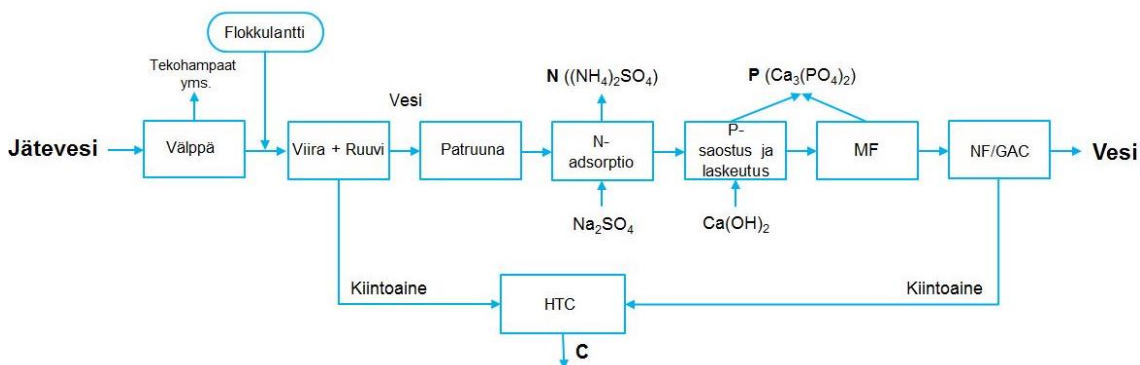
Ammoniumtyypeä ja fosfaattifosforia ei poisteta vielä tässä vaiheessa, koska ne halutaan kerätä seuraavissa vaiheissa talteen. Analyyseistä nähdään, että ammoniumtyppi ei poistu, mutta fosfaattifosforista noin 23 % lähtee kiintoaineen mukana.

## 5 ESIPILOTTI

Resurssikontin esipilotointi aloitettiin Paraisten kaupungin jätevedenpuhdistamolla syyskuussa 2017. Tavoitteena oli testata laboratoriotutkimuksissa parhaiksi todettujen yksikköoperaatioiden toimintaa pidempänä tutkimusjaksona (VTT 2017a).

### 5.1 Kokonaisuus

Esipilotiksi valittu konsepti on esitetty kuvassa 15. Testattava jätevesi pumpattiin uppopumpulla Paraisten jätevedenpuhdistamolta väljän ja hiekanerotuksen jälkeen. Jätevesi flokattiin Kemiran kemikaaleilla Superflock C-1592RS ja C-1594 ja ajettiin nauhasuodatukseen eli viiralle, joka erottaa kiintoaineen ja veden. Viiralta saatava kiintoaine kuivataan ruuvipuristimella. Kuivauksen jälkeen kiintoaine menee HTC-käsittelyyn eli märkähiiltoon, jossa se muutetaan biohiileksi. Erotettu vesi suodatetaan ensin 5 µm patruunan läpi ja sitten adsorboidaan NH<sub>4</sub>-N erottamiseksi. Tämän jälkeen vesi saostetaan kalkilla (Ca(OH)<sub>2</sub>) ja saostettu kalsiumfosfaatti (Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) erotetaan mikro-suodatuksella. Lopuksi vesi suodatetaan vielä käänteisosmoosin avulla tai puhdistetaan aktiivihiehillä. Lopputuloksena saadaan puhdas vesi. (VTT 2017a.)

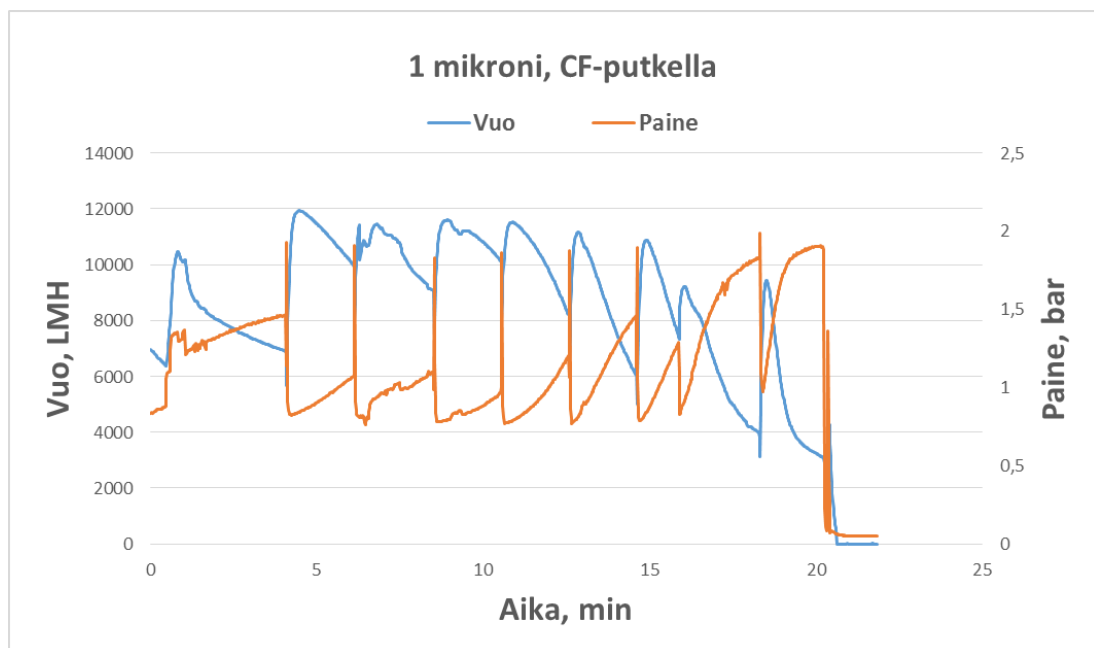


Kuva 15. Esipilotoinnin konseptiin valitut yksikköoperaatiot (Kyllönen ym. 2017a).

Yksikköoperaatioiden toimintaa seurataan kapasiteetin, kuiva-aineen, sameuden sekä COD, PO<sub>4</sub>-P ja NH<sub>4</sub>-N pitoisuuksien avulla (VTT 2017a).

## 5.2 Sofi-suodattimen tulokset esipilotissa

Sofi-suodatin ei soveltunut jäteveden esikäsitteilyksi, mutta se valittiin konseptiin kalkkisaostuksen ylitteen kirkastukseen. Sillä poistettiin kalkkisaostuksen ja laskeutuksen jälkeen ylitteeseen jäänyt epäorgaaninen kiintoaine ja suojeltiin näin seuraavan vaiheen adsorbenttikolonnia tai kalvosuodatusta tukkeutumiselta. Kirkastussuodatukseen käytettiin huokoskooltaan 1 µm suodinta ja CF-putkea. Kaaviossa 16 on esitetty suodatuksen vuo ja paine aikayksikössä.



Kaavio 16. Kalkkisaostetun ja laskeutuneen jäteveden suodatus Sofi-suodattimella 1 µm suotimella ja CF-putkella.

Vuo oli korkea noin 10 000 LMH 1 barin paineella eli suodatuksen kapasiteetti oli noin 2 m<sup>3</sup>/h, joka on hyvä. Kiintoainetta 1 µm suodin ei kuitenkaan juuri poistanut. Kiintoaineen rejektio oli vain 7 % eli jatkossa kiintoaineen poistoon pitäisi valita tiukempi suodin. Tulokset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Kiintoaineanalyysit kalkkisaostetun ylitteen suodatuksesta 1 µm suotimella.

| Näyte                  | Kiintoaine<br>mg/l |
|------------------------|--------------------|
| Kalkkisaostuksen ylite | 41                 |
| SofiFilter 1 µm suodos | 38                 |

## 6 PÄÄTELMÄT

Työn tavoitteena oli selvittää suodatuksen mahdollisuudet toimia esikäsittelymenetelmänä kotitalousjäteveden konttipuhdistamossa, jossa jäteveden puhdistamisen lisäksi pyritään ottamaan ravinteet talteen. Kokeellisesti tutkittiin Sofi Filter SF200 -mikrosuodattimen mahdollisuutta toimia esikäsittelynä konttipuhdistamossa.

Vastaavanlaista kokonaisuutta kuin resurssikontti, jossa konttikokoluokassa otettaisiin kotitalousjätevedestä ravinteita talteen, ei vielä ole. Konttikokoluokan puhdistamoja on olemassa, mutta niissä keskitytään veden puhdistukseen ravinteita poistamalla. Tutkimuksia ravinteiden talteenottotekniikoista tehdään tällä hetkellä, mutta kokemusta on vasta vähän. Kiertotalousajattelu on rantautumassa myös jätevesien prosessointiin. Jätevesien sisältämät ravinteet ja muut aineet sekä vesi nähdään resursseina, jotka halutaan ottaa talteen, niiden hävittämisen sijaan. Tarvitaan kuitenkin uudenlaisia tekniikoita, jotta se olisi tehokasta ja kannattavaa. Tällaisen puhdistamon kustannukset, kuten laiteinvestoinnit ja lietteiden kuljetus voivat nousta korkeiksi käyttäjämäärään nähden. Toinen haaste pienen mittakaavan jätevedenpuhdistuksessa ovat veden määrän ja laadun vaihtelut, jotka vaikeuttavat puhdistamon mitoittamista. Resurssikontin etuna on kuitenkin se, että siinä ei käytetä biologiala, joka käynnistyy hitaasti ja on herkkä veden laadun muutoksille. Resurssikontti toimii kokonaan fysikaalis-kemiallisilla osaprosesseilla, joten kontti on heti valmis käyttöön.

Jätevedenpuhdistuksessa esikäsittelyn tarkoitus on poistaa suurin osa jäteveden sisältämästä kiintoaineesta. Yhdyskuntajätevedessä on monenlaisia erilaisia partikkeleita ja runsaasti kiintoainetta, jonka takia likaantumista tapahtuu eri muodoissa ja se on voimakasta. Konttipuhdistamon esikäsittelyn suurin ongelma onkin suodattimia käytettäessä likaantuminen. Suodattimia voidaan yrittää pitää auki erilaisilla mekaanisilla käsittelyillä, kuten huuhteluilla, hankaamalla, puhaltamalla ilmalla tai hiilidioksilla sekä mekaanisen tärinän tai ultraäänikäsittelyn avulla. (Rantanen 2014.)

Kokeellisen tutkimuksen pohjalta voidaan todeta, että yhdyskuntajätevesi on Sofi Filter SF200 -suodattimelle todella haastava suodatettava. Jätevesi saatiin suodatettua 1 µm ja 10 µm suotimilla, mutta niiden kiintoainerejektit olivat huonot. Parhaimmillaan vain noin 55 % jäteveden sisältämästä kiintoaineesta saatiin poistettua. Tiukemmalla 0,5 µm suotimella ei saatu jätevettä suodatettua, koska suodin meni nopeasti tukkoon.

Koagulaation ja flokkauksen avulla voidaan tehostaa kiintoaineen poistamista, mutta silloin sekä 1 µm että 10 µm suotimet menivät nopeasti tukkoon. Tuloksena saatiin, että Sofi Filter SF200 ei tällaisenaan toimi esikäsittelynä kotitalousjäteveden konttipuhdistamossa. Sofi Filterin itsepuhdistustoiminnot, paineilmapulssi ja ultraääni, eivät riittäneet suotimen auki pitämiseen suodatettaessa kuitua sisältävää yhdyskuntajätevettä.

Sofi Filter SF200 -suodattimen lisäksi tehtiin koeajoja nauhasuodattimella. Ajot osoittivat, että nauhasuodatus toimii hyvin yhdessä flokkauksen kanssa esikäsittelynä yhdyskuntajäteveden suodatuksessa. Jäteveden sisältämästä kiintoaineesta saatiin jopa 93 % poistettua.

Vaikka Sofi Filter SF200 -suodatin ei toiminut esikäsittelynä, valittiin se konseptin kalkkisaostuksen ylitteen kirkastukseen, jossa kiintoaine on epäorgaanista. Suodatuksessa suodatuskapasiteetti oli hyvä, mutta yhden mikronin suodin ei kuitenkaan ollut optimaalisin kiintoaineen poistoon. Se poisti ylitteessä olevasta kiintoaineesta vain 7 %. Tiukempi 0,5 µm suodin olisi todennäköisesti sopivampi. Tämä vaatisi kuitenkin lisäselvitystä.

## LÄHTEET

Aalto yliopisto 2017. Uusi menetelmä muuttaa jätevesien ravinteet lannoitteeksi. Viitattu 20.6.2017 <http://www.aalto.fi/fi/current/news/2017-01-11/>

Aluehallintovirasto Etelä-Suomi 2016. Örön saaren jätevedenpuhdistamon ympäristölupa, Kemiönsaari. Nro 121/2016/2

Ammoniumsulfaatti 2017. Wikipedia. Viitattu 7.10.2017 <https://fi.wikipedia.org/wiki/Ammoniumsulfaatti>

Arola, K. 2011. Lämpötilan vaikutus kalvojen likaantumiseen erityisesti adsorptiolla. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 10.8.2017 <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69355/nbnfi-fe201103301404.pdf?sequence=3>

Autio, A. 2010. Prosessijätevesien puhdistaminen flotaation avulla. Opinnäytetyö. Kemianteeniikka. Kokkola; Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Viitattu 14.8.2017 <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16362/oppari.pdf?sequence=1>

Evira 2017. Etusivu. Viitattu 7.10. 2017 <https://www.evira.fi/>

Flokkaus 2018. Tieteen termipankki. Viitattu 23.1.2018 <http://tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:flokkaus>

Gasum Biovakka Oy 2016. Jätevesityypen talteenotto ja hyödyntäminen kierrätysravinteena KiertoTyyppi -hanke Loppuraportti. Viitattu 8.11.2017 <http://www.ym.fi/download/noname/%7BC3D3E1F8-7C8C-4DBA-B4A4-1706299FF095%7D/126096>

Heinonen, A. 2014. Haja-asutuksen jätevesien käsittelyssä esiintyvät väitteet ja uskomukset. Tiedote 18.9.2014. Viitattu 26.6.2017 <http://www.havesu.fi/upl/website/etusivu/HaVeSuryTIEDOTE18092014.pdf>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY 2017. RAVITA-hanke. Viitattu 19.6.2017 <https://www.hsy.fi/ravita/fi/etusivulle/Sivut/default.aspx>

Hirvinen, H. 2015. Flotaatiolaitteiston toiminnan optimointi. Opinnäytetyö. Biotekniikka. Turku: Turun ammattikorkeakoulu. Viitattu 14.8.2017

[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/99170/Hirvinen\\_Heini.pdf;jsessionid=3730C4AAC9365E44DD0066A20CAF68D7?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/99170/Hirvinen_Heini.pdf;jsessionid=3730C4AAC9365E44DD0066A20CAF68D7?sequence=1)

Kalsiumfosfaatti 2017. Wikipedia. Viitattu 7.10.2017  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Kalsiumfosfaatti>

Karttunen, E.; Kiuru, H. & Tuhkanen, T. 2004. Vesihuolto 2. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto.

Karttunen, E.; Tuhkanen, T.; Parviainen, M. & Keränen, M. 2003. Vesihuolto 1. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto.

Koagulointi 2013. Wikipedia. Viitattu 11.1.2017 <https://fi.wikipedia.org/wiki/Koagulointi>

Kyllönen, H., Heikkinen, J., Sorsamäki, L., Wikberg, H., Kaartinen, T., Grönroos, A., Arnold, M. 2017a. Loppuraportti. Resurssikontti: tuotteita jätevedestä. Jyväskylä: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

Kyllönen, H.; Sorsamäki, L. & Arnold, M. 2017b. Jätevedestä raaka-aine typen, fosforin ja hiilen tuotantoon - VTT:n Resurssikonttiprojekti. Ympäristö ja Terveys-lehti 4, 20-24. Viitattu 19.5.2017

[http://www.vtt.fi/sites/Resurssikontti/PublishingImages/mediassa/Resurssikontti\\_Ymp%  
c3%a4rist%c3%b6%20ja%20Terveys%20\\_2017.pdf](http://www.vtt.fi/sites/Resurssikontti/PublishingImages/mediassa/Resurssikontti_Ymp%c3%a4rist%c3%b6%20ja%20Terveys%20_2017.pdf)

Lehikoinen, A. 2016. Lääkeaineiden poisto yhdyskuntajätevesistä katalyyttisillä membraaneilla. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 8.8.2017  
[https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/124137/Kandidaatintyo\\_Anna\\_Lehikoinen.pdf?sequence=2](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/124137/Kandidaatintyo_Anna_Lehikoinen.pdf?sequence=2)

Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiahho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A., zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Nykytila ja suositukset ohjaus-keinojen kehittämiseksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Helsinki: Luonnonvarakeskus.

Melin, E. 2016. Kalvobioreaktorit (MBR) uutta vesiteknologiaa. Ympäristö ja Terveys-lehti 4 2017, 52-58.

- Mäkelä, M. 2006. Kalvo erotusmenetelmien käyttö kemianteollisuudessa. Opinnäytetyö. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Viitattu 14.8.2017 <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8624/TMP.objres.413.pdf?sequence=2>
- Nanopar Oy 2017. PSS- Paskier prosessi. Viitattu 20.6.2017 <http://nanopar.fi/images/Paskier-prosessi-lowres16.pdf>
- Natriumhydroksidi 2017. Wikipedia. Viitattu 7.10.2017 <https://fi.wikipedia.org/wiki/Natriumhydroksidi>
- Natriumsulfaatti 2017. Wikipedia. Viitattu 23.1.2018 <https://fi.wikipedia.org/wiki/Natriumsulfaatti>
- Peltokangas, J., Heinänen, J. ja Viitasaari, M. 1995. Vesihuoltotekniikan yksikköoperaatiot ja yksikköprosessit. Osa 1: Vedenhankinta. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu Vesi- ja ympäristötekniikan laitos
- Pihkala, J. 2013. Prosessitekniikka: Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Helsinki: Opetushallitus
- Porter, M.C. 1988. Handbook of industrial membrane technology. New Jersey: Noyes Publications
- Rantanen, V. 2014. Kunnallisen jätevedenkäsittelyn tehostaminen membraanitekniikan avulla – esimerkkinä Savitaipaleen jätevedenpuhdistamo. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 9.8.2017 <https://core.ac.uk/download/pdf/39966739.pdf>
- Ruohoniemi, J. 2011. Nauhasuodattimen dokumentointi. Opinnäytetyö. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Pori: Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 17.8.2017 [https://theseus.fi/bitstream/handle/10024/36199/ruohoniemi\\_juha.pdf?sequence=1](https://theseus.fi/bitstream/handle/10024/36199/ruohoniemi_juha.pdf?sequence=1)
- Saario, T. 2013. Maidon ja heran mikrosuodatus. Diplomityö. Kemianteekniikan koulutusohjelma. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 8.8.2017 <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/90810/Diplomity%C3%B6%20-%20Tiina%20Saario%20-%20Lopullinen.pdf?sequence=2>
- Schäfer, A.I., Fane, A.G., Waite, T.D. 2005, Nanofiltration – Principles and Applications. England: Elsevier.

Srebnik, S. 2003. Polymer adsorption on multicomponent surfaces with relevance to membrane fouling. Chemical Engineering Science 58, 5291-5298. Israel: Elsevier.

Sintraus 2017. Wikipedia. Viitattu 11.1.2018 <https://fi.wikipedia.org/wiki/Sintraus>

Sofi Filtration Ltd 2017. Sofi filter - Innovaatio teolliseen nesteensuodatukseen. Viitattu 14.6.2017

<https://static1.squarespace.com/static/55d81c52e4b047d23d3816bf/t/55e444b3e4b0ae5c1abce8ec/1441023155407/SofiFiltration-brochure-suomeksi2110.pdf>

Sooda 2017. Wikipedia. Viitattu 7.10.2017 <https://fi.wikipedia.org/wiki/Sooda>

Suomen YK-liitto 2016. Vesi. Viitattu 14.9.2017  
<http://www.ykliitto.fi/yk70v/ekologinen/vesi>

Sybimar Oy 2014. Maatalouden pienten jätevirtojen hyödyntäminen energiantuotannossa ja biokaasulaitoksen jätepohjaisten ravinteiden hyödyntäminen maanviljelyssä ja energiapuutuotannossa. Viitattu 11.1.2018  
[http://www.sybimar.fi/files/170/Sybimar\\_RAKI\\_\(Loppuraportti\\_11122014\).pdf](http://www.sybimar.fi/files/170/Sybimar_RAKI_(Loppuraportti_11122014).pdf)

Säylä, J. & Vilpas, R. 2010. Yhdyskuntien jätevesien puhdistus 2010. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 21/2012. Viitattu 17.5.2017  
[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39681/SYKEra\\_21\\_2012.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39681/SYKEra_21_2012.pdf?sequence=1)

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2017a. Esipilotointisuunnitelma - Koeajot Paraisilla. Viitattu 24.9.2017

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2017b. Resurssikontti: tuotteita jätevedestä. Viitattu 17.5.2017 <http://www.vtt.fi/sites/Resurssikontti/projekti>

Tukes, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2016. Biosidikäsitellyt tuotteet kodeissa - haittaa vai hyötyä? Viitattu 8.11.2017  
<http://www.tukes.fi/fi/Ajankohtaista/Tiedotteet/Biosidit/Biosidikasitellyt-tuotteet-kodeissa---haittaa-vai-hyotya/>

Valliluoto, M. 2012. Suotonauhapuristimen viiraradan uudelleen järjestely. Opinnäytetyö Koneautomaatiotekniikka. Turku: Turun ammattikorkeakoulu. Viitattu 17.8.2017

van Rijn, C.J.M. 2004. Nano and micro engineered membrane technology. Membrane Science and Technology Series, 10. The Netherlands: Elsevier.

Vieno, N. 2014. Huutava pula fosforista uhkaa - vessavesissä ratkaisu? Tekniikka ja talous 24.9.2014. Viitattu 19.5.2017 <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/kemia/2014-09-24/Huutava-pula-fosforista-uhkaa---vessavesiss%C3%A4-ratkaisu-3255826.html>

Ympäristöministeriö 2016. Kekseliäitä ja konkreettisia ideoita ravinteiden kierrätykseen. Viitattu 21.6.2017 [http://www.ymp.fi/fi-FI/Luonto/Kekseliaita\\_ja\\_konkreettisia\\_ideoita\\_rav\(39908\)](http://www.ymp.fi/fi-FI/Luonto/Kekseliaita_ja_konkreettisia_ideoita_rav(39908))

## **Listaus markkinoilla olevista konttipuhdistamoista syksyllä 2017**

<https://clearfox.com/en/plants/containerized-wastewater-treatment/>

<http://www.delphin-ws.de/en/products/container-plants/>

<http://www.asio.cz/en/wastewater-treatment-plants-in-an-iso-container-for-80-350-pe>

<http://www.wastewater.at/en/container-wastewater-treatment/>

<https://www.biokube.com/index.php/transportable-sewage-treatment-plant-biocontainer-system>

<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/kemia/2002-09-23/Galvatekin-kontti-puhdistaa-veden-3271206.htm>

<http://www.aqwise.com/municipal-solutions/>

<http://en.klaro.eu/wastewater-treatment-plants/containerized-sewage-plant.html>