

Joni Laakso

# Käänteisosmoosilaitteiston prosessiveden käsittelyssä

optimointi

---

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

19.5.2017

Tekijä(t) Otsikko	Joni Laakso Käänteisosmoosilaitteiston optimointi
Sivumäärä Aika	28 sivua + 2 liitettä 19.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Mikko Halsas Process development engineer Taina Bergman
<p>Insinööriyön aiheena oli käänteisosmoosilaitteiston optimointi prosessiveden käsittelyssä. Työ liittyi Omya Oy:n tuotantoprosessiin, jossa käänteisosmoosilla on merkittävä rooli. Työssä kerätty tieto toimii myös työkaluna yritykselle.</p> <p>Työssä käytiin läpi käytössä oleva laitteisto sekä vedenlaadun optimointia ja kalvojen eliniän lisäämistä. Lisäksi tehtiin kokeita ja testiajoja liittyen käänteisosmoosiin. Kokeista sekä testiajoista tuli ilmi käänteisosmoosilaitteiston haavoittuvuudet ja ongelmat.</p> <p>Tuloksien perusteella voidaan todeta, että hyvin toimivalla esikäsittelyllä on suuri vaikutus vedenlaatuun sekä käänteisosmoosilaitteistolla tuotettavan veden määrään ja laatuun. Tuloksien avulla pystytään keskittämään resursseja niille ongelmakohtille, joiden vaikutus on olennainen käänteisosmoosin toimivuuden kannalta.</p>	
Avainsanat	Käänteisosmoosi, vedenpuhdistus, merivesi, esikäsittely, membraani, koagulaatio

Author(s) Title	Joni Laakso Reverse osmosis optimization
Number of Pages Date	28 pages + 2 appendices 19 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Mikko Halsas, Senior Lecturer Taina Bergman, Process development engineer
<p>The subject of the thesis was optimization of the reverse osmosis equipment in process water treatment. The thesis project was related to the production process of Omya Oy, in which reverse osmosis plays a substantial part. The information gathered in the project also serves as a tool for the company.</p> <p>The project examined the equipment used, as well as optimizing water quality and increasing the life of the membranes. In addition, experiments and test runs were made for reverse osmosis. The tests and the test runs revealed that the reverse osmosis equipment had vulnerabilities and problems.</p> <p>On the basis of the results, it can be concluded that well-performing pre-treatment has a great influence on the water quality and the productivity of the reverse osmosis equipment. The results allow the company to concentrate resources on those problem areas whose effect is essential for the functionality of reverse osmosis.</p>	
Keywords	reverse osmosis, water purification, seawater, pretreatment, membrane, coagulation

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Käänteisosmoosin periaatteet	2
2.1	Diffuusio	2
2.2	Osmoosi	2
2.3	Käänteisosmoosi	3
2.4	Käänteisosmoosin hyödyntäminen	4
3	Omya	5
3.1	Yleistä	5
3.2	Förbyn kalkintuotantolaitos	5
3.2.1	Kalkintuotantolaitoksen toiminta lyhyesti	5
3.2.2	Vesikierto kalkkituotannossa	6
4	Käänteisosmoosilaitteisto	8
4.1	Koagulaatio	11
4.2	Hiekkasuodattimet	16
4.2.1	Hiekkasuotimien toiminnan tarkistus	16
4.2.2	Rautapitoisuuksien sekä sähkönjohtavuuden tarkastelu	18
4.3	RO-laitteiston pussisuodattimet	19
4.4	Membraanikalvot	22
4.4.1	Membraanikalvojen rakenne ja toiminta	23
4.4.2	Membraanikalvojen likaantuminen	25
4.4.3	Kalvojen pesu	25
4.4.4	CIP-pesukoe	25
5	Yhteenveto	27
	Lähteet	28

## Liitteet

Liite 1. Hiekkasuodattimien ja pussisuodattimen yhteisnäytteet

Liite 2. Käänteisosmoosilaitteiston seuranta

## Lyhenteet

SDI Silt density index - lietetiheys

CIP Clean in place - puhdistus ilman laitteiston purkua

RO Reverse osmosis - käänteisosmoosi

## 1 Johdanto

Käänteisosmoosi on paljon käytössä oleva ja edelleen yleistynyt menetelmä maailmalla. Käänteisosmoosilla voidaan helposti puhdistaa meri-, järvi- sekä likavesiä uusiokäyttöön. Teollisuuden prosesseissa vettä käytetään useisiin eri tarkoitukseen ja tarvittavan veden laaduissa on eroja. Vedestä on suurta pulaa maailmalla ja siksi on tärkeää, että prosessivesiä kierrätetään puhtaan veden säästämiseksi.

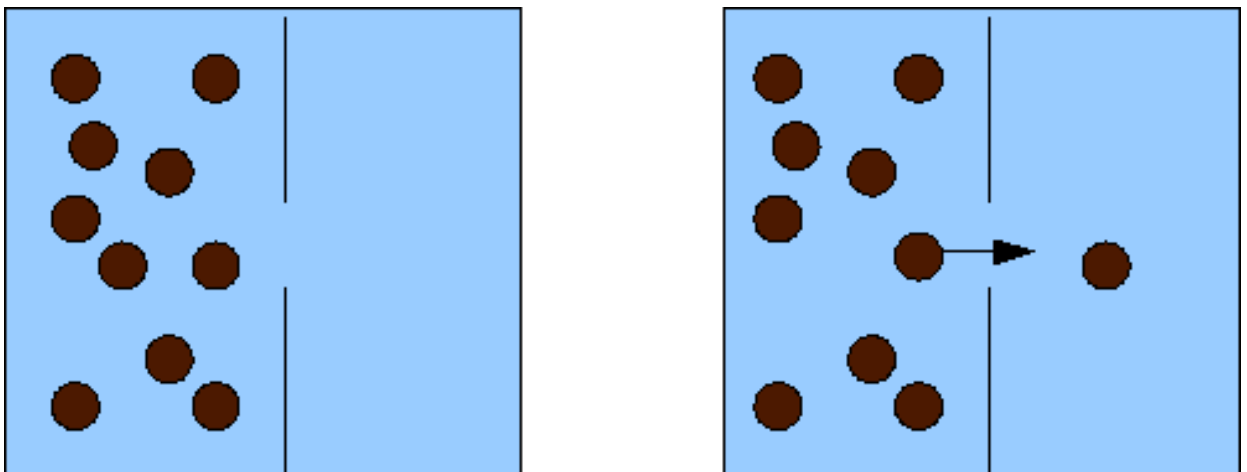
Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää käänteisosmoosilaitteelle tulevan veden esikäsitteilyn parannettavuutta. Työn tilaajana toimi Omya Oy, joka on tehnyt sopimuksen käänteisosmoosilaitteistoja toimittavan Sähköautomaatio-Lehtinen Oy:n kanssa. Käänteisosmoosilaitteiston optimointiin Omyalla ei ole ollut aikaa, joten työstä on suurta apua.

Sveitsiläinen Omya Oy on erikoistunut kalkkikiven jatkojalostukseen ja yritys toimii ainoana kalkkikiven jatkojalostajana Suomessa. Jatkojalostuksessa käytettävät vesi määrät ovat suuria, joten käänteisosmoosilaitteisto on edullinen vaihtoehto, kun tarvitaan suuria määriä vettä käytettäväksi. [1.]

## 2 Käänteisosmoosin periaatteet

### 2.1 Diffuusio

Diffuusiosta molekyylit siirtyvät väkevämmästä pitoisuudesta laimeempaan ja pyrkivät näin ollen tasoittamaan pitoisuuseroa. Diffuusion tapahtumiseen ei tarvita ulkopuolista energiaa vaan molekyylit liikkuvat satunnaisen lämpöliikkeen mukaan. Diffundotumissuunta määräytyy todennäköisyyden mukaan siten, että todennäköisimmin partikkeli siirtyy paikaltaan sellaiseen paikkaan, missä ei ole partikkelia (kuva 1). [2.]



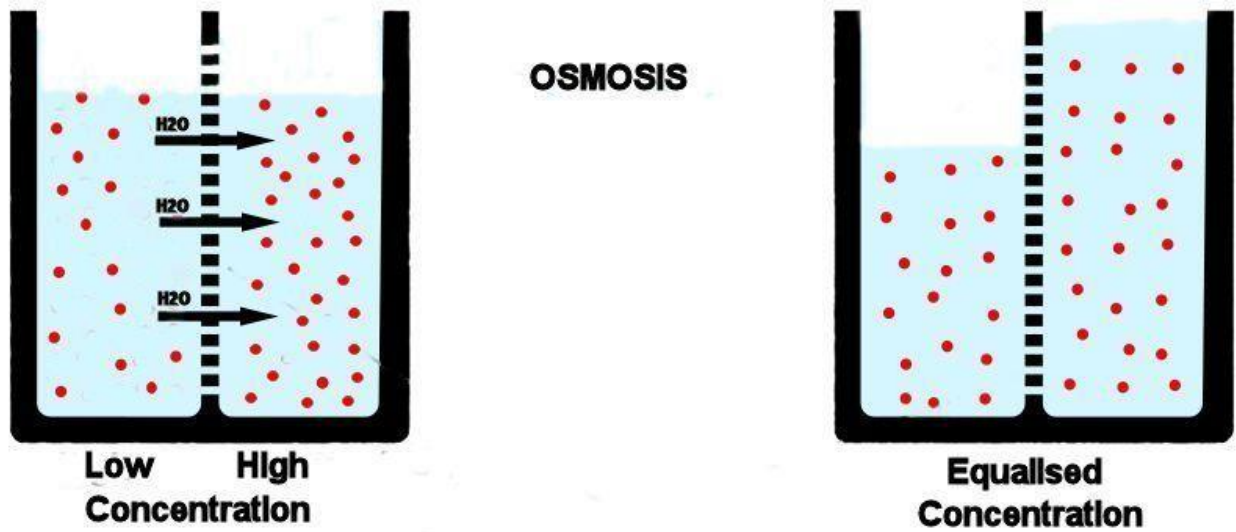
Kuva 1. Havainnollistamiskuva diffuusiosta. [3.]

### 2.2 Osmoosi

Osmoosi on liuottimen diffuusiota puoliläpäisevän kalvon läpi, ja siinä yleisin käytetty liuotin on vesi. Osmoosissa liuotin läpäisee kalvon, mutta kalvo ei päästä liuenneita aineita lävitseen. Liuotin siirtyy diffuusiosta puoliläpäisevän kalvon lävitse sille puolelle, jossa liuenneiden aineiden pitoisuus on suurempi. Osmoosi jatkuu, kunnes pitoisuuserot ovat tasoittuneet ja pitoisuudet ovat kummallakin puolella samat (kuva 2). Pitoisuuserojen tasoittuminen aiheuttaa kalvon toisella sen, että liuottimen määrä ja



paine-ero suurenevät. Paine-eroa kutsutaan osmoottiseksi paineeksi. Merivedelle usein ilmoitettu osmoottinen paine on arviolta  $25 \text{ kg/cm}^3$ . [4.]

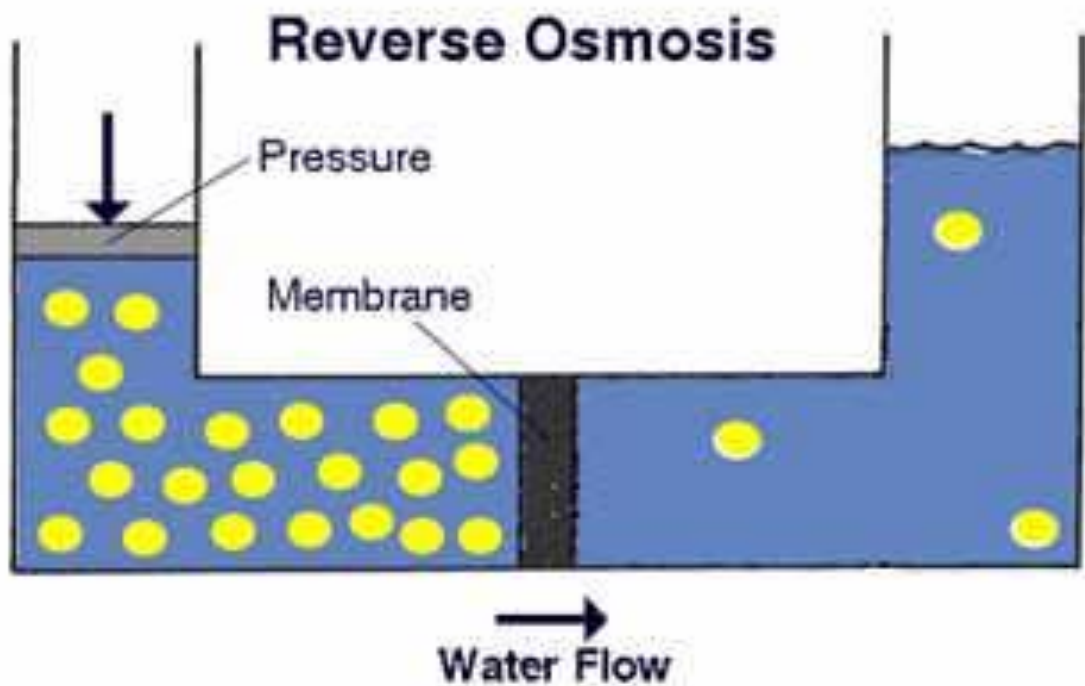


Kuva 2. Havainnollistamiskuva osmoosista. [4.]

### 2.3 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosin periaate on sama kuin osmoosissa, mutta menetelmä on käänteinen. Liuotin saadaan erotettua liuenneista aineista painamalla se puoliläpäisevän kalvon lävitse käyttäen apuna ulkoista painetta. Käänteisosmoosi tapahtuu ainoastaan, jos ulkoinen paine on suurempi kuin luonnollinen osmoottinen paine.

Käänteisosmoosissa käytetään orgaanisia kalvoja, jotka vesi pystyy läpäisemään kalvoissa olevien vesimolekyylien mentävien reikien avulla. Kalvot pidättävät kaikki yhdisteet, joiden koko on vähintään  $0.0001 \mu\text{m}$ . Kalvojen avulla voidaan vedestä poistaa 95 - 99% liuenneista suoloista sekä suodattaa orgaanisia aineita, sokereita, proteiineja ja bakteereja. [5.]



Kuva 3. Havainnoillistamiskuva käänteisosmoosista. [5.]

#### 2.4 Käänteisosmoosin hyödyntäminen

Käänteisosmoosilaitteistoja on käytetty 1970-luvulta lähtien veden puhdistamisessa sekä juomaveden valmistuksessa että erittäin puhtaan veden valmistamiseen teolliseen, lääketieteelliseen ja muihin käyttökohteisiin. Yksi vakiintunut kohde on puhtaiden vesien valmistaminen puolijohdeteollisuudelle.

Käänteisosmoosia voidaan hyödyntää myös arkielämässä. Veneilijät ja mökkeilijät suosivat laitteistoja ja pystyvät laitteiston avulla valmistamaan merivedestä suolatonta sekä juomakelpoista vettä omaan käyttöönsä. [6.]

### 3 Omya

#### 3.1 Yleistä

Omya Group on maailmanlaajuisesti merkittävä kaivoskonglomeraatti. Yhtiön perustivat sveitsiläiset Gottfried Plüss ja Emma Staufer vuonna 1884. Omyan päätoiminnot ovat keskittyneet kalkkikiven sekä talkin louhintaan ja jatkojalostukseen. Suurin osa jalostetusta tuotteesta menee paperiteollisuuteen, mutta tuotteita käytetään myös liimojen, maalien, muovien sekä lannoitteiden valmistuksessa.

Omyalla on tytäryhtiöitä ympäri maailmaa. Suomessa Omyalla on ainoastaan kalkintuotantolaitos, joka sijaitsee Förbyssä. Förbyssä sijaitsee myös kalkkikaivos, mutta sen omistaa Omyan sijaan Karl Forsström AB. [1.]

#### 3.2 Förbyn kalkintuotantolaitos

Omya on erikoistunut Förbyssä kalkkikiven jatkojalostukseen. Förbyssä sijaitseva kaivos ei ole ollut louhintakäytössä sitten vuoden 2010, mutta sitä käytetään edelleen silikaattikalkin varastointiin. Kalkkikiveä tuodaan Förbyn tehtaalle Lohjalta sekä Kiskosta. Lisäksi Förbyssä toimii tankkifarmi, jossa tuotetut kalkkituotteet sekä Norjasta tuodut kalkkituotteet varastoidaan varastosäiliöihin.

Veden tarve on suuri sekä rikastamon että märkäjauhimon prosesseissa. Lisäksi vettä tarvitaan kiinteistön puhtaanapidossa. Tästä syystä Omya Oy on investoinut käänteisosmoosilaitteistoon pienentääkseen vedestä aiheutuvia kustannuksia. [1.]

##### 3.2.1 Kalkintuotantolaitoksen toiminta lyhyesti

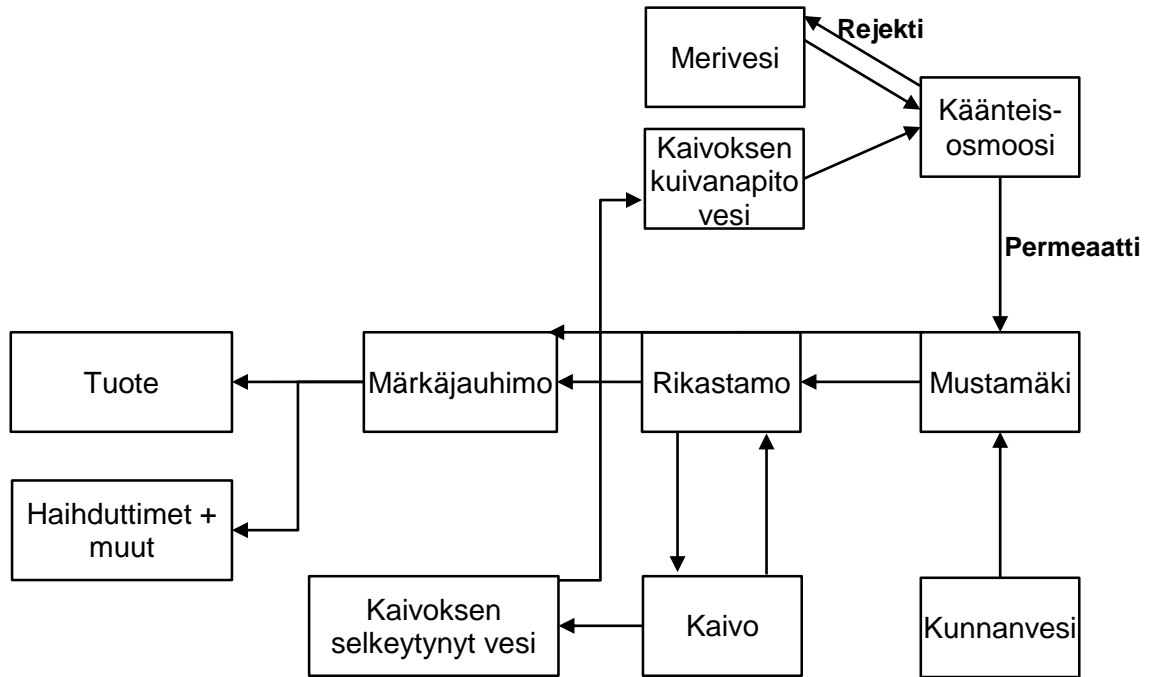
Kalkkikiven jatkojalotus alkaa leukamurskalta, josta murskattu kiviaines kuljetetaan hihnakuljettimia pitkin jauhatukseen. Jauhatuksen jälkeen jauhettu kiviaines jatkaa matkaa rikastamon rikastusprosessiin. Rikastusvaiheen jälkeen tuote siirtyy märkäjauhimoon, jossa siitä valmistetaan haluttua tuotetta. Valmis tuote pumpataan satamaan varastosäiliöihin ja kuljetetaan edelleen asiakkaille säiliöautoilla tai laivakuljetuksena. [1.]

### 3.2.2 Vesikierto kalkkituotannossa

Kalkintuotantolaitos on pääsääntöisesti täysin omavarainen vedenkäytön suhteen käänteisosmoosilaitteiston ansiosta, mutta mikäli vedenkulutus on suurempaa kuin tuotto, voidaan vajeen paikkaamiseen käyttää kunnan vettä.

Merivettä syötetään yhdessä kaivoksen kuivanapitoveden kanssa halutulla suhteella käänteisosmoosilaitteelle. Kuivanapitovedellä tarkoitetaan kaivoksesta ylös pumpattua selkeytynyttä vettä. Käänteisosmoosilaitteella syntyvä permeaatti ohjataan talteen Mustanmäen avolouhokseen. Käänteisosmoosissa syntyvä rejekti palautetaan mereen. Rejekti on käänteisosmoosilaitteistossa kiertänyttä hieman väkevöityä merivettä, joten se voidaan ohjata takaisin mereen (kuva 4).

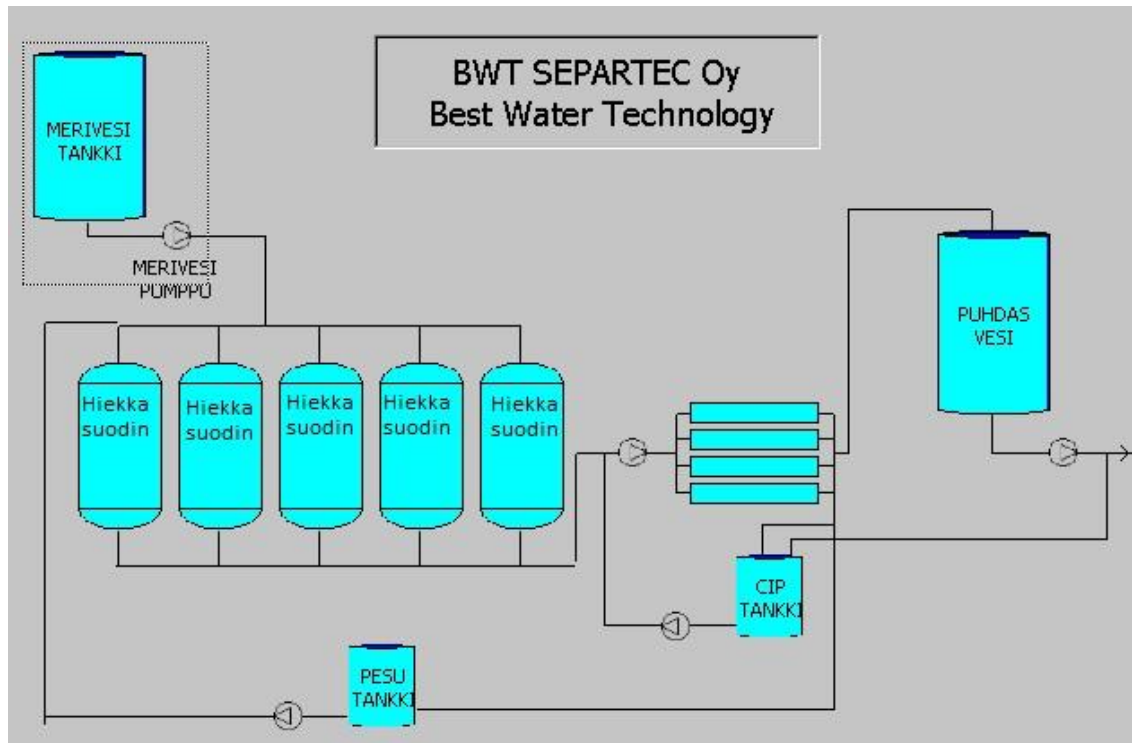
Mustastamäestä vettä syötetään rikastamoon sekä märkäjauhimoon, josta se päätyy tuotteeseen. Osa syötetystä vedestä käytetään prosessilaitteissa, kuten esimerkiksi haihduttimissa. Rikastamossa ja märkäjauhimossa on myös oma sisäinen vesikiertonsa. Sisäisessä vesikierrrossa vettä kierrätetään jatkuvasti. Nämä kaksi vesikiertoa ovat täysin eristettyinä toisistaan, sillä rikastamon ja märkäjauhimon vesivaatimukset eroavat toisistaan niin paljon, etteivät vedet sovellu yhteiseen kiertoon. Rikastamosta ohjataan myös prosessista syntyvää vettä kaivokseen, jossa prosessivesi saa selkeytyä ajan kanssa ja sitä voidaan hyödyntää uudestaan kalkintuotannossa. [1.]



Kuva 4. Vedenkiertokulku kalkkituotannossa [1.]

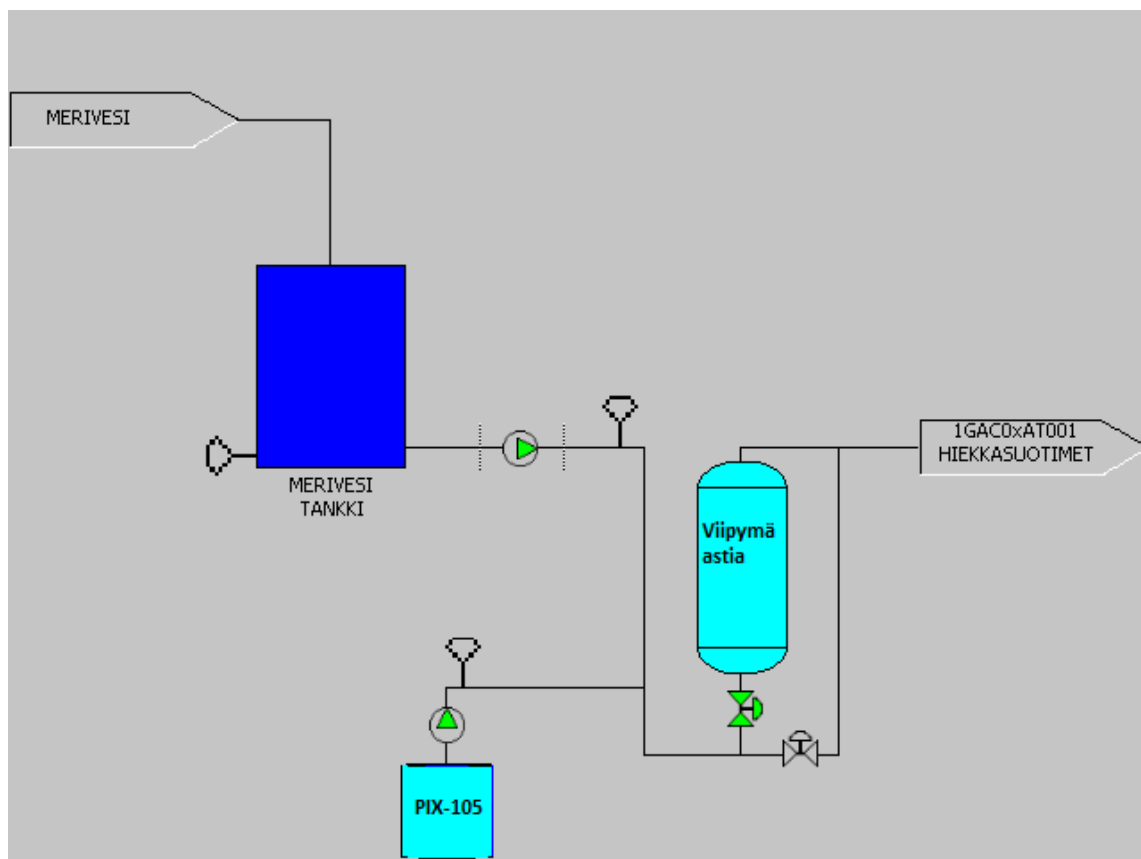
#### 4 Käänteisosmoosilaitteisto

Käänteisosmoosilaitteistolle pumpataan merivesipumpun avulla merivettä murtovesialueelta, jota varastoidaan merivesisäiliöön yhdessä kuivapitoveden kanssa. Meriveden ja kuivapitoveden suhde merivesisäiliössä vaihtelee riippuen siitä, miten paljon kaivokseen on selkeytynyttä vettä kertynyt ja missä ajassa kaivos halutaan tyhjentää.



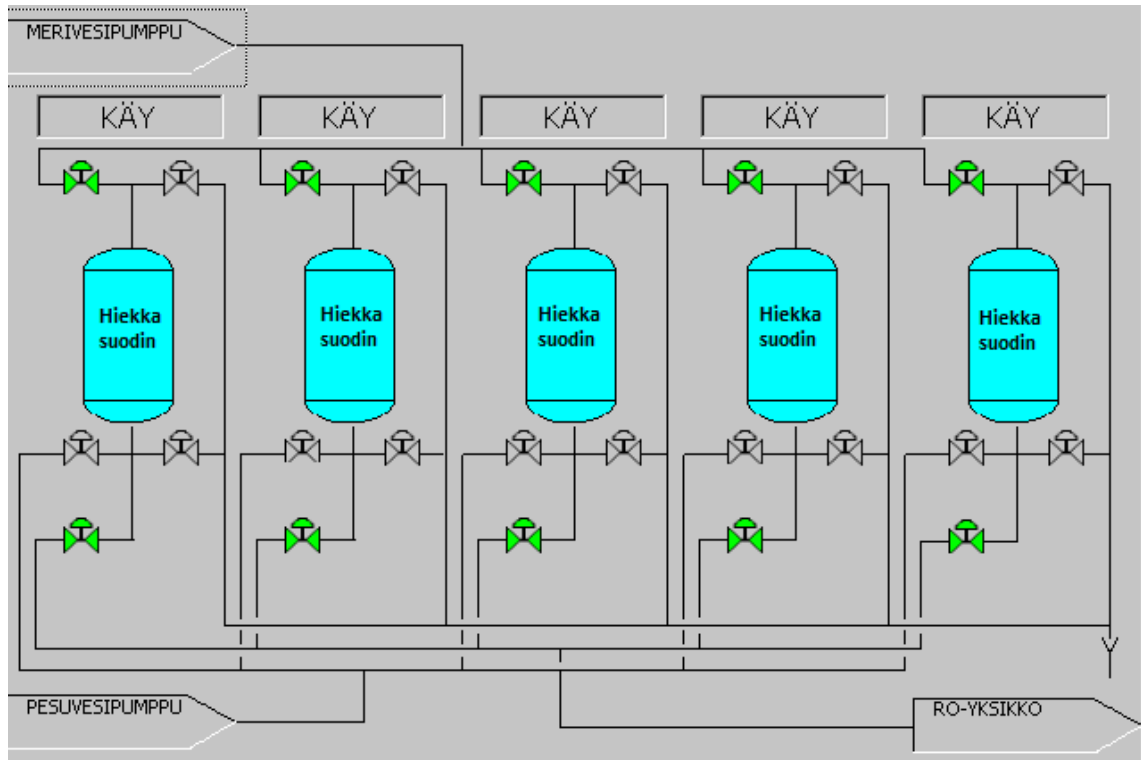
Kuva 5. Käänteisosmoosilaitteiston prosessin yleiskuva. [7.]

Merivesitankin jälkeen seosvettä pumpataan viipymäsäiliöön, jossa siihen lisätyn PIX-105-koagulaatiokemikaalin annetaan vaikuttaa. Koagulaatiokemikaalilla tarkoitetaan kemikaalia, joka aiheuttaa hienojakoisen kiintoaineen sakkautumisen ja saostumisen. Koagulointi on yksi meriveden esikäsittelyn vaihe, joka suoritetaan ennen hiekkasuodattimia. Koaguloitinkemikaalilla poistetaan seosvedestä humusta sekä muuta kiintoainetta. [7.]



Kuva 6. RO-laitteiston koagulaatiovaihe. [7.]

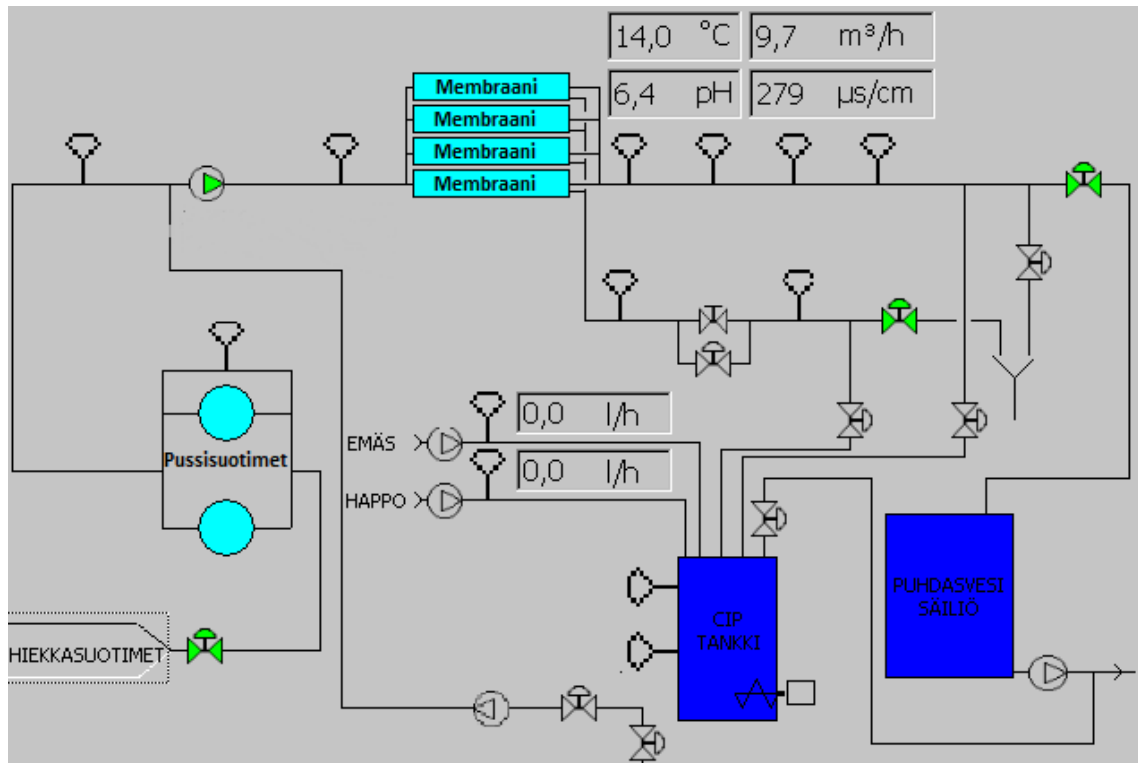
Viipymäästian jälkeen merivesi syötetään viidelle identtiselle hiekkasuotimelle, joiden kokonaiskapasiteetti on 30 m<sup>3</sup>/h. Käyttövesiseos syötetään suotimille yläkautta ja täten vesiseos pääsee suodattumaan kvartsihiekan lävitse. Koagulaatiossa syntyneet saostumat ja sakat eivät läpäise hiekkasuodatinta, vaan jäävät kiinni kvartsihiekkään. Suodattunut vesiseos pumpataan RO-laitteella sijaitseville membraanikalvoille. [7.]



Kuva 7. RO-laitteiston hiekkasuodatus. [7.]

Hiekkasuodattimien kautta suodattunut vesiseos pumpataan ennen membraanikalvoja vielä pussisuodattimille. Suodattimien jälkeen vesiseos ohjataan korkeapainepumpun (paine 16 bar) kautta membraanikalvoille, joissa tapahtuu varsinainen käänteisosmoosi-ilmiö. Laitteistolla saadaan tuotettua puhdasta vettä Mustanmäen avolouhokseen, josta puhdasta vettä voidaan pumpata kalkkilaitoksen prosesseihin. [7.]





Kuva 8. RO-laitteiston membraanit. [7.]

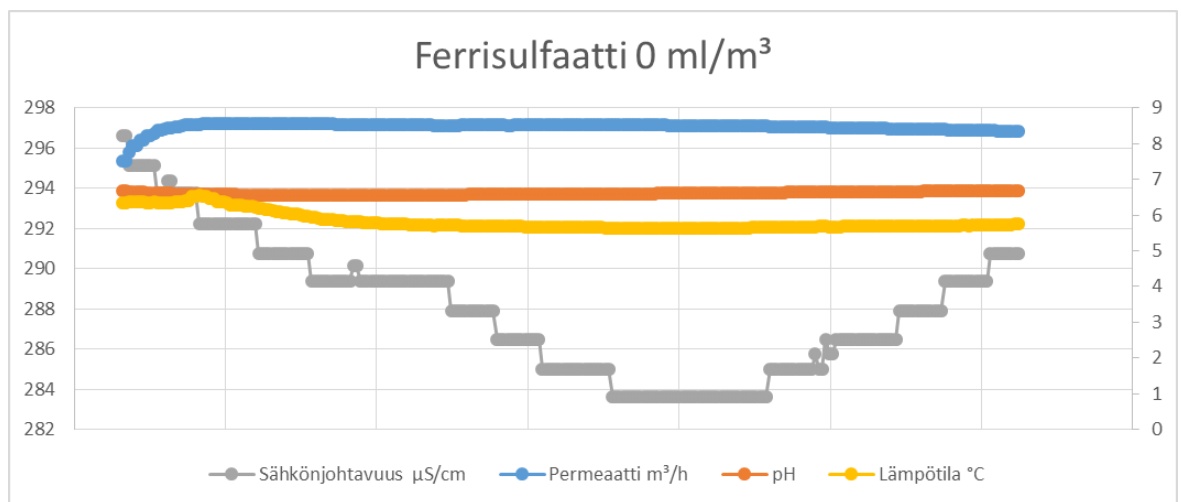
#### 4.1 Koagulaatio

Merivedestä poistetaan luonnosta peräisin oleva orgaaninen aine koagulaatiolla. Vedessä olevat kolloidiset hiukkaset (hiukkaskoko  $10^{-9}$  -  $10^{-6}$  m), esimerkiksi savi ja humus, ovat yleensä negatiivisesti varautuneita ja ne hylkivät toisiaan eivätkä siksi voi liittyä yhteen. Niitä ei voida poistaa ilman koaguloitua, jossa hiukkasten pintavaraus neutralisoidaan kemikaalien avulla, jotta hiukkasia eli mikroflokkeja muodostuisi. [8, s. 22.]

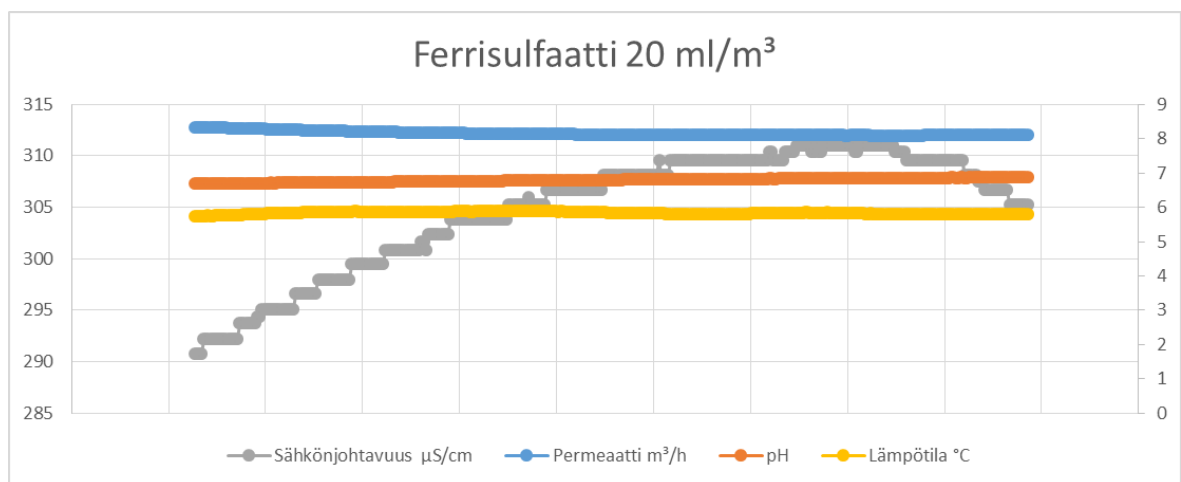
Koagulantteina käytetään yleensä alumiini- tai rautasuoloja. Omyalla on käytössä ferrisulfaatti (PIX-105). Ionit hydrolysoituvat ja muodostavat monia vesiliukoisia komplekseja, joilla on korkea positiivinen varaus. Kompleksit adsorboituvat negatiivisesti varautuneiden kolloidien pinnalle. Kolloidihiuksien kaksoiskerroksen hylkivä potentiaali pienenee, jolloin mikroflokkeja voi muodostua. Koagulaation tehokkuus poistossa riippuu useista tekijöistä, muun muassa koagulanttikemikaalista, sekoitussuhteista, pH:sta, lämpötilasta ja orgaanisesta aineesta. [9, s.189–197.]

## Ferrisulfaatin annostelun koesarja

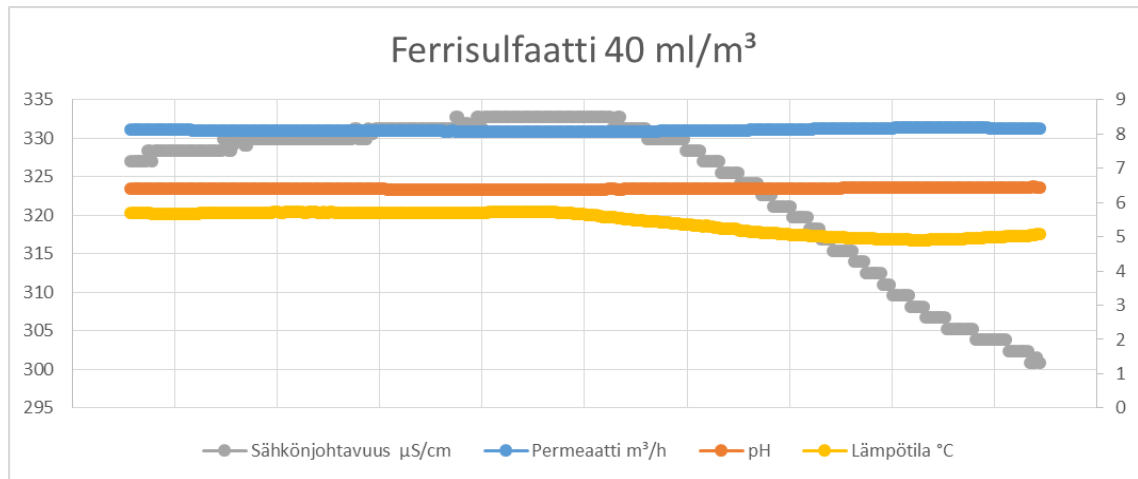
Ferrisulfaatin syöttöä säädettiin siten, että alussa määrä oli 0 ml/m<sup>3</sup>. Syöttöä nostettiin vaiheittain 20 ml kerrallaan aina 80 ml:iin/m<sup>3</sup> asti. Jokaista syöttömäärää ajettiin prosessissa 45 minuuttia, jonka jälkeen annostusta nostettiin ja odotettiin 15 minuuttia. Kokeista saatiin seuraavanlaisia tuloksia.



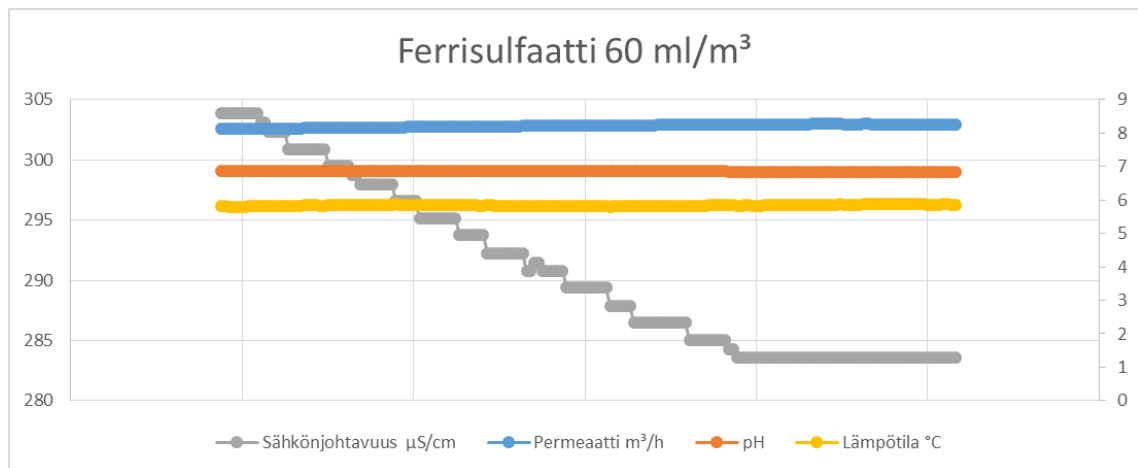
Kuva 9. Ferrisulfaatin syöttö 0 ml/m<sup>3</sup>. Vasemmalta puolelta luetaan sähkönjohtavuus ja muut arvot oikealta.



Kuva 10. Ferrisulfaatin syöttö 20 ml/m<sup>3</sup>. Vasemmalta puolelta luetaan sähkönjohtavuus ja muut arvot oikealta.



Kuva 11. Ferrisulfaatin syöttö 40 ml/m<sup>3</sup>. Vasemmalta puolelta luetaan sähkönjohtavuus ja muut arvot oikealta.

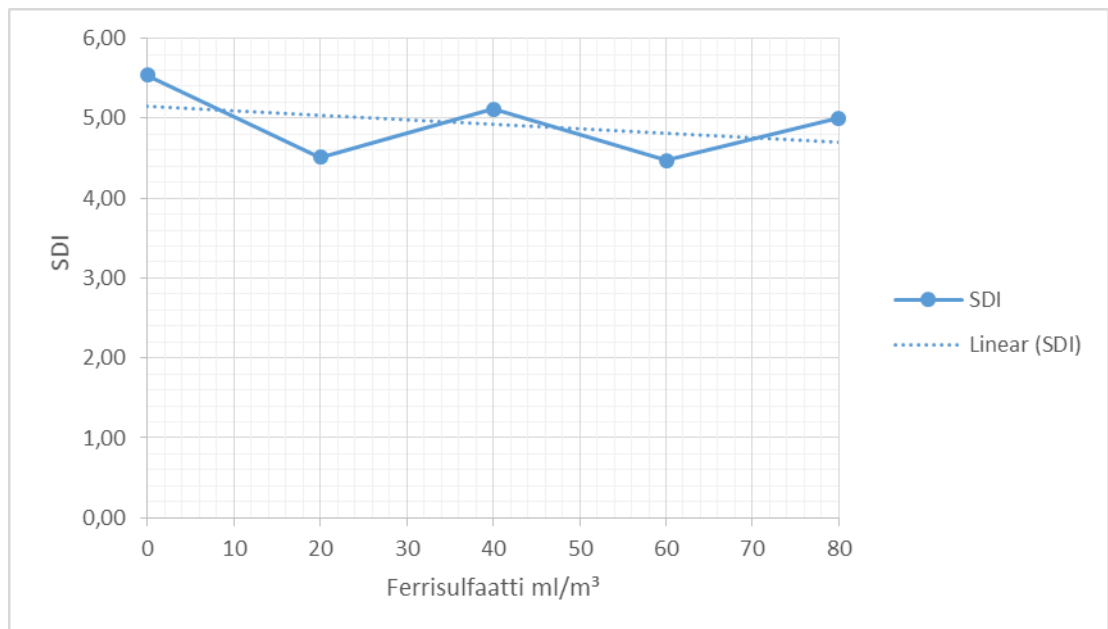


Kuva 12. Ferrisulfaatin syöttö 80 ml/m<sup>3</sup>. Vasemmalta puolelta luetaan sähkönjohtavuus ja muut arvot oikealta.

Ferrisulfaatin annostelun vaikutusta seurattiin myös mittaamalla SDI-luku koesarjan aikana.

Taulukko 1. SDI-luku syötetyllä ferrisulfaatti määrällä.

Ferrisulfaatti ml/m <sup>3</sup>	t0	t1	SDI
0	31	184	5,54
20	31	96	4,51
40	31	133	5,11
60	30	91	4,47
80	31	124	5,00

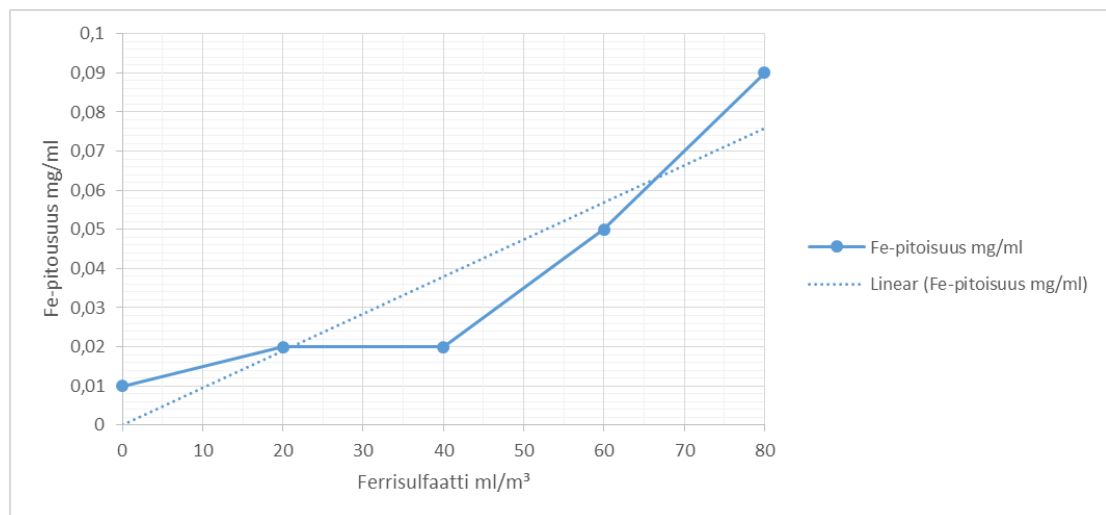


Kuva 13. SDI-luku ferrisulfaattisyötön funktiona.

Ferrisulfaatin annostelun vaikutusta rautapitoisuuteen seurattiin pussisuodattimelta otetuista näytteistä.

Taulukko 2. Rautapitoisuus syötetyllä ferrisulfaattimäärällä

Ferrisulfaatti ml/m <sup>3</sup>	Fe-pitoisuus mg/ml
0	0,01
20	0,02
40	0,02
60	0,05
80	0,09



Kuva 14. Rautapitoisuus syötetyllä ferrisulfaatti määrällä

Ferrisulfaatin määrän muuttamisella ei ollut oleellista vaikutusta permeaattimäärään, pH-arvoon eikä veden lämpötilaan. Veden lämpötila vaihteli koesarjan aikana eikä vakiintunut missään vaiheessa. Sähkönjohtavuus vaihteli välillä 290 - 340  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sähkönjohtavuuteen saattaa vaikuttaa myös kalvojen koesarjan aikainen kunto ja käyttövedenlaatu eivätkä erot sähkönjohtavuudessa selity pelkästään ferrisulfaattimäärällä.

SDI ja rautapitoisuus on täysin selitettävissä ferrisulfaatin määrällä: mitä vähemmän ferrisulfaattia, sen suurempi SDI ja alhaisempi rautapitoisuus ja päinvastoin. SDI:stä voidaan päätellä, että optimi syöttö olisi 20 - 60 ml/m<sup>3</sup>, mutta kun tulkintaan otetaan

mukaan Fe-pitoisuus, huomataan, että syötön tulisi olla välillä 20 - 40 ml/m<sup>3</sup>, jotta sekä rautapitoisuus että SDI-lukema olisivat hyvissä arvoissa (taulukko 5.).

Missään vaiheessa koesarjaa SDI-lukema ei ollut alle 3, jota pidetään optimaalisena. Osasyynä tähän saattaa olla vuodenaika ja sen vaikutus syöttöveteen sekä syöttövesisuhde.

## 4.2 Hiekkasuodattimet

Hiekkasuodattimilla on käytössä pesuvesipumppu, jonka tarkoituksena on säännöllisin välein huuhdella sekä esisuodattaa yksi suodin kerrallaan. Pesussa vettä pumpataan hiekkasuotimeen alakautta suodatussuuntaa vastaan. Tarkoituksena on huuhdella kvartsihiekkään kiinni jääneet kiintoaineet, partikkelit, sakat sekä saostumiset viemäriin. Tämän jälkeen hiekkasuodattimelle tehdään vielä esisuodatus puhtaalla vedellä ja tämäkin esisuodatettu vesi ohjataan viemäriin. [1; 7.]

### 4.2.1 Hiekkasuotimien toiminnan tarkistus

Näytteitä otettiin jokaisesta hiekkasuotimesta heti pesun jälkeen. Ensimmäinen näyte otettiin heti, kun hiekkasuodin oli pesun jälkeen palautunut takaisin käyttöön. Näytteitä otettiin 5 minuutin välein. Vastaavasti viimeinen näyte otettiin 25 minuuttia ensimmäisestä näytteestä. Tämä toistettiin jokaiselle hiekkasuodattimelle erikseen.

Näytteitä otettiin myös ennen pussisuodattimia 5 minuutin välein, kunnes kaikki viisi hiekkasuodatinta olivat käyneet pesuohjelman läpi. Näytteitä tuli yhteensä ennen pussisuodattimia 30 kappaletta.

Jokaisesta näytteestä mitattiin rautapitoisuus sekä sähkönjohtavuus.

Taulukko 3. Hiekkasuodattimien näytteiden pitoisuudet.

<b>Hiekkasuodin 1</b>		
aika(min.)	Fe-pitoisuus mg/L	Sähkönjohtavuus mS/cm
0	0,07	9,13
5	0,04	8,94
10	0,04	8,86
15	0,03	8,85
20	0,05	8,88
25	0,13	8,89
<b>Hiekkasuodin 2</b>		
aika(min.)	Fe-pitoisuus mg/L	Sähkönjohtavuus mS/cm
30	0,06	9,42
35	0,03	9,26
40	0,05	9,20
45	0,04	9,19
50	0,03	9,15
55	0,04	9,12
<b>Hiekkasuodin 3</b>		
aika(min.)	Fe-pitoisuus mg/L	Sähkönjohtavuus mS/cm
60	0,05	9,62
65	0,05	9,36
70	0,05	9,22
75	0,07	9,12
80	0,04	9,02
85	0,05	8,94
<b>Hiekkasuodin 4</b>		
aika(min.)	Fe-pitoisuus mg/L	Sähkönjohtavuus mS/cm
90	0,09	9,31
95	0,02	9,07
100	0,05	8,97
105	0,06	8,92
110	0,01	8,87
115	0,02	8,83
<b>Hiekkasuodin 5</b>		
aika(min.)	Fe-pitoisuus mg/L	Sähkönjohtavuus mS/cm
120	0,06	9,06
125	0,04	8,96
130	0,02	8,91
135	0,03	8,90
140	0,05	8,86
145	0,05	8,84

Taulukko 4. Pussisuodattimen yhteisnäytteen pitoisuudet.

<b>Yhteisnäyte käytössä olevalta pussisuodattimelta</b>		
aika(min.)	Fe-pitoisuus mg/L	Sähkönjohtavuus mS/cm
0	0,04	8,73
5	0,03	8,74
10	0,03	8,79
15	0,03	8,81
20	0,04	8,85
25	0,01	8,87
30	0,04	9,11
35	0,05	9,11
40	0,05	9,13
45	0,05	9,15
50	0,05	9,14
55	0,03	9,12
60	0,05	9,22
65	0,04	9,16
70	0,02	9,14
75	0,04	9,11
80	0,03	9,03
85	0,03	8,96
90	0,03	8,92
95	0,05	8,87
100	0,01	8,90
105	0,06	8,88
110	0,03	8,96
115	0,06	8,91
120	0,05	8,84
125	0,03	8,83
130	0,04	8,85
135	0,03	8,90
140	0,04	8,85
145	0,06	8,84

#### 4.2.2 Rautapitoisuuksien sekä sähkönjohtavuuden tarkastelu

Hiekkasuodattimet 1 - 5 toimivat hyvin ja poistavat epäpuhtauksia merivedestä, mikä ilmenee pussisuodattimilta otetuista näytteistä siten, että rautapitoisuus sekä sähkönjohtavuus ovat enimmäkseen arvoiltaan pienempiä pussisuodattimella kuin lähtötilanteessa.



Kaikki näytteet ovat sallituissa arvoissa lukuun ottamatta hiekkasuodattimen 1 viimeistä näytettä, jossa rautapitoisuus oli 0,13mg/L, ja lisäksi näyte oli täynnä kiintoainetta sekä korkean rautapitoisuuden takia myös punertava. Syytä siihen miksi näyte oli pitoisuudeltaan korkeampi kuin aikaisemmat, ei löytynyt.

#### 4.3 RO-laitteiston pussisuodattimet

Hiekkasuodattimilta suodattunut vesi kulkee ennen membraanikalvoille siirtymistä vielä kahden pussisuodattimen kautta. Pussisuodattimien tarkoituksena on varmistaa hiekkasuodattimien toiminta. Pussisuodattimet estävät yli 5 mikronin partikkeleiden kulkeutumisen membraanikalvoille. [7.]

Pussisuodattimia on kaksi kappaletta, mutta vain toinen on kerrallaan käytössä, jotta suodattimen tukkeutuessa voidaan ottaa helposti käyttöön toinen, puhdas suodatin.



Kuva 15. Pussisuodattimet. [1.]

Pussisuodattimien kohdalta mitataan myös SDI-lukema, joka kertoo, miten paljon suodatetussa vedessä on hienojakoista kiintoainetta. Tämä mitattiin laitteelta kerran

viikossa ja sen pohjalta määritettiin PIX-105-kemikaalin syöttömäärä sekä kalvojen pesutarve. [1; 7.]

### SDI-luvun mittaaminen

SDI-testi tehdään suodattamalla vakioaineessa (2,05 bar, 29,7 psi) 500 ml:n näyte puhtaalla 0,45 µm:n suodattimella. Näytteen suodattamiseen kulunut aika mitataan ( $T_1$ ). Suodatusta jatketaan ja 15 minuutin kuluttua suodatetaan toinen 500 ml:n näyte. Tällöin mitataan aika ( $T_{15}$ ) j SDI-indeksi lasketaan kaavan (1) mukaisesti. [1.]

$$SDI = \frac{\left(1 - \frac{T_1}{T_{15}}\right) \times 100}{15} \quad (1)$$

SDI-luvulle on olemassa myös suosituksia, joiden pohjalta voidaan määrittää pesujen tarve sekä sopiva kalvojen vaihtoväli. SDI-luvun tulisi olla 1 - 3 (taulukko 5), mutta Förbyn meriveden mitattu keskiarvo vuonna 2016 oli 4,0.

Taulukko 5. SDI-suositukset. [7.]

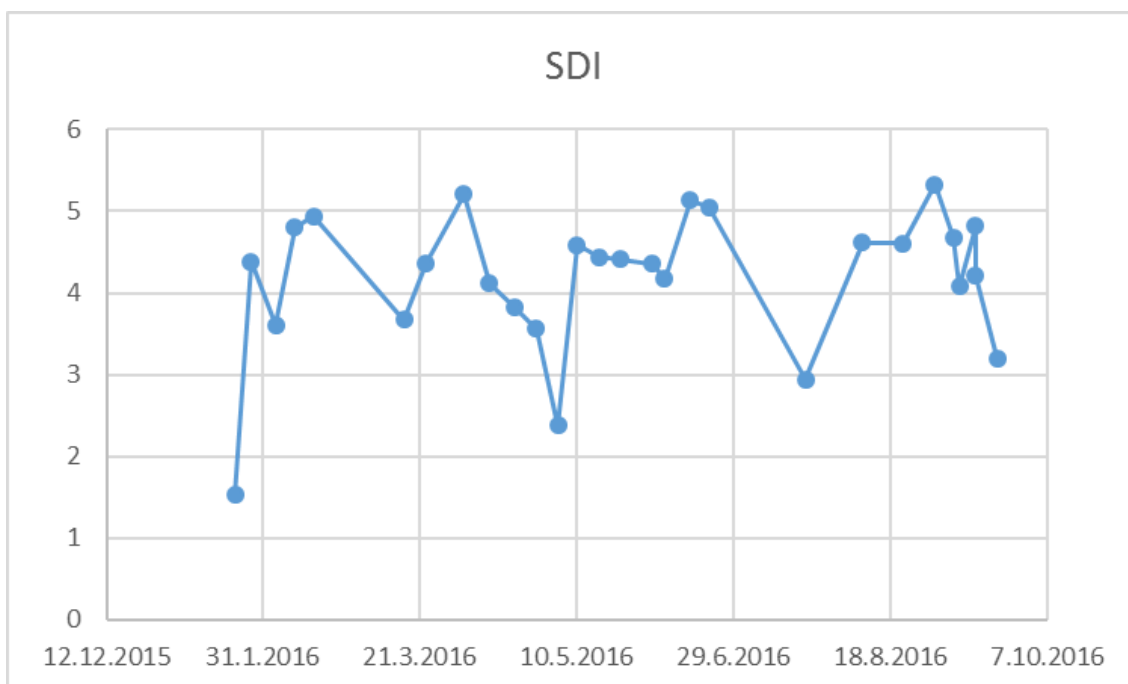
SDI < 1	Several years without colloidal fouling
SDI < 3	Several months between cleaning
SDI 3 – 5	Particular fouling likely a problem, frequent cleaning
SDI > 5	Unacceptable, additional pre-treatment is needed

Taulukko 6. SDI lukema tammikuu – syyskuu 2016. [1.]

SDI 2016 tammikuu - syyskuu			
pvm	t0	t1	SDI
12.1.2016			CIP

20.1.2016			<b>CIP</b>
22.1.2016	57	74	1,53
27.1.2016	46	134	4,38
4.2.2016	38	83	3,61
10.2.2016	40	143	4,80
16.2.2016	45	174	4,94
15.3.2016			<b>CIP</b>
16.3.2016	57	127	3,67
22.3.2016			<b>CIP</b>
23.3.2016	43	125	4,37
4.4.2016	67	306	5,21
12.4.2016	45	118	4,12
20.4.2016	49	115	3,83
22.4.2016			<b>CIP</b>
27.4.2016	49	105	3,56
4.5.2016	54	84	2,38
10.5.2016	52	167	4,59
17.5.2016	46	138	4,44
24.5.2016	44	130	4,41
3.6.2016	46	133	4,36
7.6.2016	40	107	4,17
13.6.2016			<b>CIP</b>
15.6.2016	49	213	5,13
21.6.2016	45	186	5,05
4.7.2016			<b>CIP</b>
22.7.2016	47	84	2,94
27.7.2016			<b>CIP</b>
9.8.2016	38	124	4,62
18.8.2016			<b>CIP</b>
22.8.2016	38	123	4,61
1.9.2016	45	225	5,33
7.9.2016	42	141	4,68
8.9.2016			<b>CIP</b>

9.9.2016	47	121	4,08
14.9.2016	41	148	4,82
14.9.2016	38	103	4,21
21.9.2016	40	77	3,20



Kuva 16. SDI-lukema tammikuu – syyskuu 2016. [1.]

#### 4.4 Membraanikalvot

Käänteisosmoosilaitteistolla on käytössä LOW2G-HR-8040-mallisia membraanikalvoja joita valmistaa Oltremare. Membraanikalvojen käytölle on asetettu tietyt raja-arvot, joita ei tulisi ylittää, jotta ne toimisivat ja kestäisivät käyttöä. [7.]



**OLTREMARÉ**  
LIQUID SEPARATION

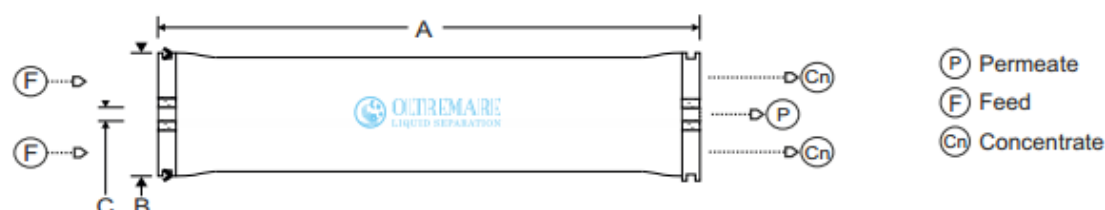
**Model LOW2G-HR-8040**

Low Energy, Excellent Rejection - Brackish Water Element

<b>Type</b>	<b>Configuration:</b> Spiral Wound	<b>Membrane Polymer:</b> Composite Polyamide	<b>Brine Spacer Material:</b> 34 mil Polypropylene		
<b>Specifications</b>	<b>Permeate Flow:</b> 9500 gpd (35,9 m <sup>3</sup> /d)	<b>Salt Rejection:</b> 99,65% nominal (99,5% minimum)	<b>Nominal Membrane Area:</b> 400ft <sup>2</sup> (37,2m <sup>2</sup> )		
<b>Test Conditions</b> (After 30 min of operation)	<b>Solution NaCl</b> 1500 ppm	<b>Applied Pressure:</b> 150 psi (10,3 bar)	<b>Operating Temperature:</b> 77 °F (25 °C)	<b>Permeate Recovery:</b> 15%	<b>pH Range:</b> 6,5 + 7,0

### Dimensions

A Total Length	B ATD Diameter	C Connection Int. Diameter	Weight
40.0 inches (1016 mm)	7.89 inches (200 mm)	1.125 inches (28,6 mm)	36 lbs (16,4 Kg)



### Maximum Operating Limits

Operating Pressure	Temperature	Pressure Drop	Feed Flow	Chlorine Concentration	Feedwater SDI (15min)	Feedwater Turbidity
600 psi (41,4 bar)	113 °F (45 °C)	10 psi (0,7 bar)	75 gpm (17,0 m <sup>3</sup> /h)	<0,1 ppm	5,0	1,0 NTU

### Other Operating Limits

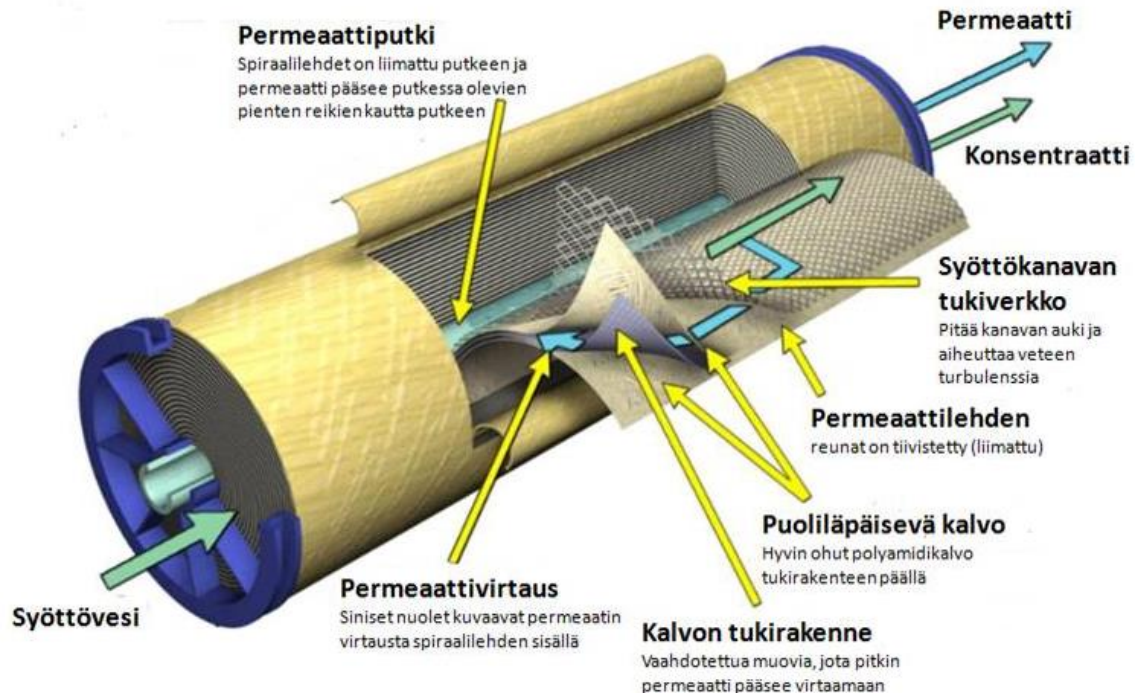
Feedwater pH	Minimum ratio of concentrate to permeate flow for any element
3,0 + 10,0	5:1

Kuva 17. Membraanikalvoille asetetut raja-arvot. [7.]

#### 4.4.1 Membraanikalvojen rakenne ja toiminta

Kuvassa 18 on esitetty, kuinka membraanille tuleva vesi pumpataan RO-kalvopakettien väliseen tilaan, jossa veden virtaus saadaan verkkomaisen välilevyn avulla pyörteiseksi. Turbulentivirtauksen vaikutuksesta epäpuhtaudet eivät tartu kalvojen pinnalle vaan poistuvat moduulista retentaatin mukana. Paineistettu vesi kulkee kahden ulkoreunoiltaan yhteen liitetyn RO-kalvon lävitse vettä läpäisemättömän permeaatin keräyskalvon pinnalle. Vesi virtaa permeaatin keräyskalvoa pitkin tulovirtaukseen

nähdessä kohtisuoraan membraanin keskellä olevaan permeaatin keräysputkeen, josta se johdetaan ulos laitteesta. [1.]



Kuva 18. Membraanikalvon läpileikkaus. [1.]



Kuva 19. RO-moduulit. [1.]

#### 4.4.2 Membraanikalvojen likaantuminen

RO-laitteistossa likaantumista aiheuttavat rauta, alumiini, humus ja orgaaniset aineet, kovuussuolojen saostumiset, kiintoaine sekä erilaiset bakteerikasvustot.

Vuonna 2014 Omya lähetti membraaneista näytteen tutkittavaksi Kemiralle, jotta saatiin selville mikä aiheutti kalvojen vikaantumiset. Suurimmat vikaantumisen aiheuttajat membraanikalvojen pinnalla olivat piioksidi, alumiini ja rauta. Silika ja alumiini ovat molemmat peräisin merivedestä. Rauta on puolestaan PIX-105-koagulaatiokemikaalin jäämiä. [1.]

#### 4.4.3 Kalvojen pesu

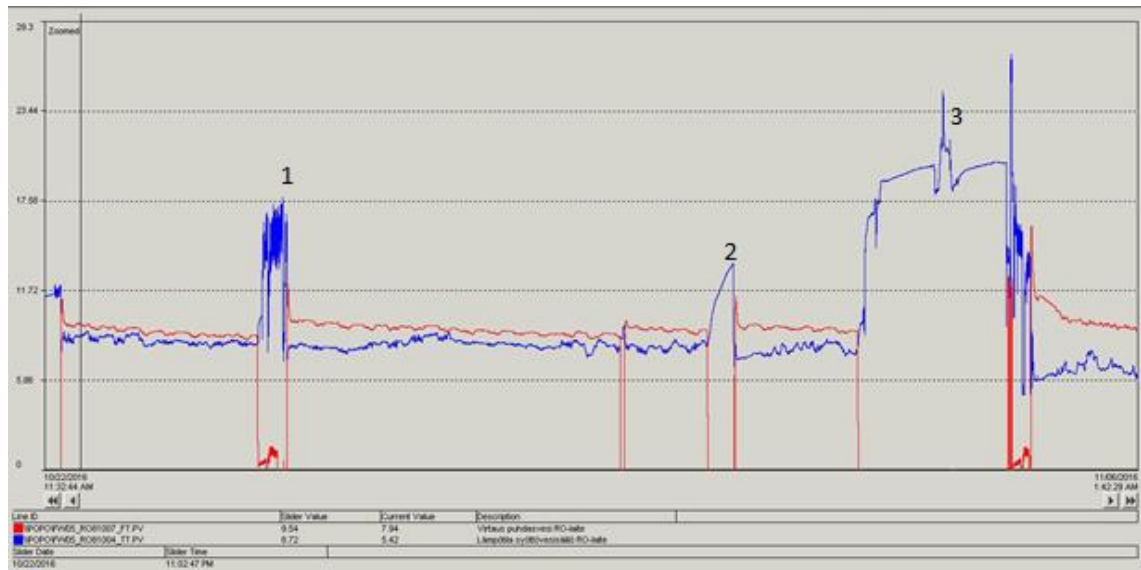
Käänteisosmoosilaitteistolla on käytössä CIP-pesu. Tällä tarkoitetaan pesutapahtumaa, jossa pesuliuoksia ja huuhevettä kierrätetään membraanikalvoilla ilman, että laitetta pitäisi purkaa tai poistaa käytöstä.

CIP-pesu koostuu kahdesta vaiheesta. Emäs vaiheessa kalvoille syötetään lipeää, joka poistaa orgaanista ainetta kalvoilta. Happovaiheessa kalvoille syötetään suolahappoa, joka poistaa mineraaleja kalvoilta. Näiden molempien vaiheiden välissä on nopea huuhtelu, joka suoritetaan talteen otetulla permeaatilla. Permeaatin tulee olla laadultaan hyvää, ettei kalvoissa tapahdu uudelleen likaantumista.

Emäspesun vaikutusaika kalvoilla on 30 minuuttia ja huuhtelu-aika 10 minuuttia. Emäspesulla halutaan saavuttaa pH 11 ja lämpötila 27 °C ja vastaavasti happopesun vaikutusaika kalvoilla on 120 minuuttia ja huuhtelu-aika 10 minuuttia. Happopesussa pH on 2,8 ja lämpötila 18 °C. [1; 7.]

#### 4.4.4 CIP-pesukoe

Aikaisemmin mainittuja arvoja emäs- sekä happopesussa muutettiin siten, että emäspesun pH nostettiin arvoon 12 ja lämpötila 35 °C:seen. Vastaavasti happopesun pH laskettiin arvoon 2,0 ja lämpötila nostettiin 20 °C:seen. Tällä kokeella haluttiin kokeilla, miten paljon lämpötilan nostaminen ja pH:n muuttaminen tehostavat molempia pesuvaiheita, kun aikaisemmin lämpötila varsinkin emäspuolella oli alhaisempi kuin suosituksessa. [7.]



Kuva 20. CIP-pesun tulokset logiikalta. 3. kohta CIP-pesukoe. [1.]

Kokeen jälkeen voitiin todeta, että lämpötilalla on vaikutusta pesun tehokkuuteen. Korkeampi lämpötila CIP-pesun aikana poisti tehokkaammin likaa kalvoilta ja tämän takia permeaatin virtaus pysyi korkeampana kokeen jälkeen verrattaessa pesuihin 1 - 2 (kuva 20.). Lämpötila vaikuttaa myös suoraan permeaattivuohon, minkä takia permeaatin virtaus on korkeampi, kunnes syöttövesi vakiintui vallitsevalle meriveden lämpötilalle.

Kalvojen pesun tulisi olla ajankohtaista silloin, kun normalisoitu virtaus on pudonnut 10 - 15 % tai painehäviö konsentraattipuolella on noussut 10 - 15 % referenssitilan vastaavasta. Normalisoidulla virtauksella tarkoitetaan sitä, että yhden asteen lämpötila muutos laskee tai nostaa permeaattimäärää noin 2,4 %. Esimerkiksi lämpötilassa 6 °C permeaattivuo on 7,8 m<sup>3</sup>/h. Kun tämä normalisoidaan lämpötilaan, jossa RO-laite on mitoitettu toimimaan, saadaan lukemaksi 9,65 m<sup>3</sup>/h. [7.]



## 5 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli parantaa RO-laitteiston toimintaa Omya Oy:n tehtaalla. Työn aikana huomattiin ongelmia, joihin yrityksen olisi hyvä puuttua. Suurimmat ongelmat olivat käyttöveden lämpötilassa ja laadussa. Laite on mitoitettu toimimaan lämpötilassa +15 °C ja sallittu maksimi käyttölämpötila on +25 °C. Vuoden keskilämpötila RO-laitteiston vedelle oli kuitenkin mittausten mukaan +9,5 °C. SDI-lukeman tulisi olla < 3, mutta keskiarvo edelliseltä vuodelta oli 4. Ongelmia ilmeni myös CIP-pesun lämpötiloissa, CIP-pesun mittareissa ja pesupumpussa. CIP-pesun tulisi saavuttaa haluttu lämpötila heti, mutta liian pienestä lämmönvaihtimesta johtuen tätä ei saavutettu. CIP-pesun happovaiheen pH:ta ei myöskään saavutettu koneen logiikan mukaan koskaan, mutta laboratoriossa mitatussa näytteestä kuitenkin havaittiin, että haluttu pH oli happovaiheessa oli saavutettu, mutta RO-laitteiston mittari ei ole tarpeeksi tarkka mittaamaan alhaisia lukemia. Itse CIP-pesun tulisi olla myös säännöllistä, sillä SDI-lukema on > 3. Tällä pystytään pidentämään kalvojen käyttöikää sekä parantamaan permeaattivuota. Laitteen toimittajan mukaan myös CIP-pesupumppu on alimitoitettu ja tämä tulisi uusida. Laitteen toimittajan kanssa teimme muutostöitä putkistoihin, niin että jatkossa voidaan PIX-105-mikseri eristää pois käytöstä huoltoa varten.

Työn tavoitteet toteutuivat optimoinnin osalta hyvin. Yritys sai kattavan tietopaketin aiheesta sekä tiedosti käänteisosmoosilaitteiston käytössä olleet ongelmat työn aikana. Lisäksi insinööriyön tekeminen oli itselleni opettavaista. Työstä sain paljon tietoa sekä taitoa liittyen käänteisosmoosiin ja sen käyttökohteisiin ja uskon, että tästä on jatkossa todella paljon hyötyä minulle.

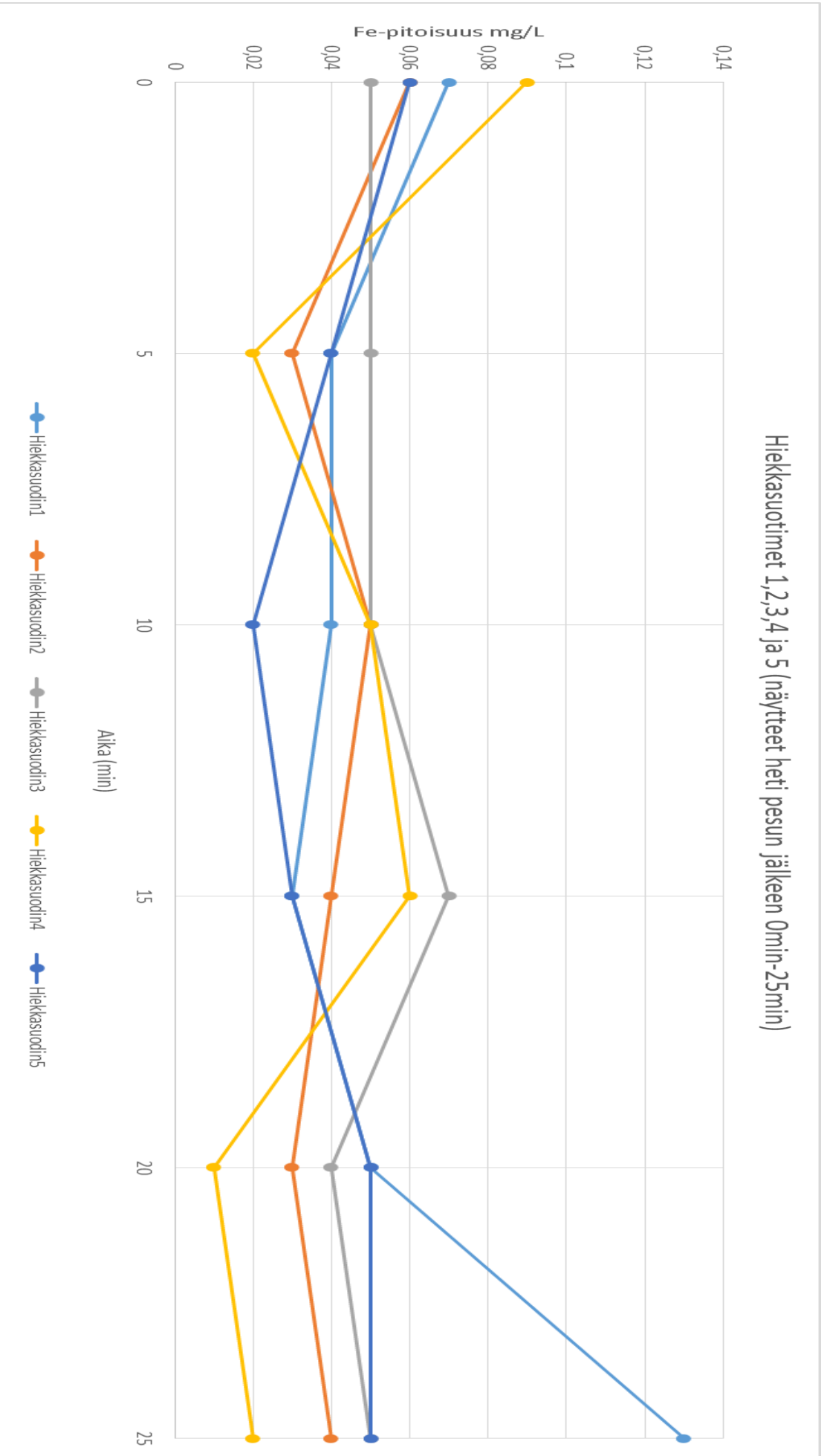
## Lähteet

- 1 Omyan sisäiset asiakirjat
- 2 Diffuusio. 2006. Verkkodokumentti  
<<http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/diffuusio/2/>> Luettu 10.9.2016
- 3 Kuva diffuusiosta. 2014. Verkkodokumentti  
<<https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pagelId=116034961>> Luettu 10.9.2016
- 4 How reverse osmosis works. 2016. Verkkodokumentti  
<<http://crystalwaterperth.com.au/how-reverse-osmosis-works/>> Luettu 10.9.2016
- 5 What is reverse osmosis. 2016. Verkkodokumentti < <http://www.pure-pro.com/What-is-RO.htm>> Luettu 10.9.2016
- 6 Gröhn, Joose. 2009. Käänteisosmoosin konsentraatin hyödyntäminen suomenojan voimalaitoksella. Verkkodokumentti  
<<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/3927/inssityokoulu.pdf?sequence=1>> Luettu 12.9.2016
- 7 BWT Separtec Oy. Ohje- sekä käyttömanuaali.
- 8 Myllykangas, Tiia. 2004. Prevention of bromine-containing disinfection by-products during drinking water treatment. Verkkodokumentti < <http://thl32-kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/78685/2004a3.pdf?sequence=1>> Luettu 20.10.2016
- 9 Matilainen, Anu. Vepsäläinen, Mikko. Sillanpää, Mika. 2010. Advances in Colloid and Interface Science. Verkkodokumentti < <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00018686/159> > Luettu 20.10.2016

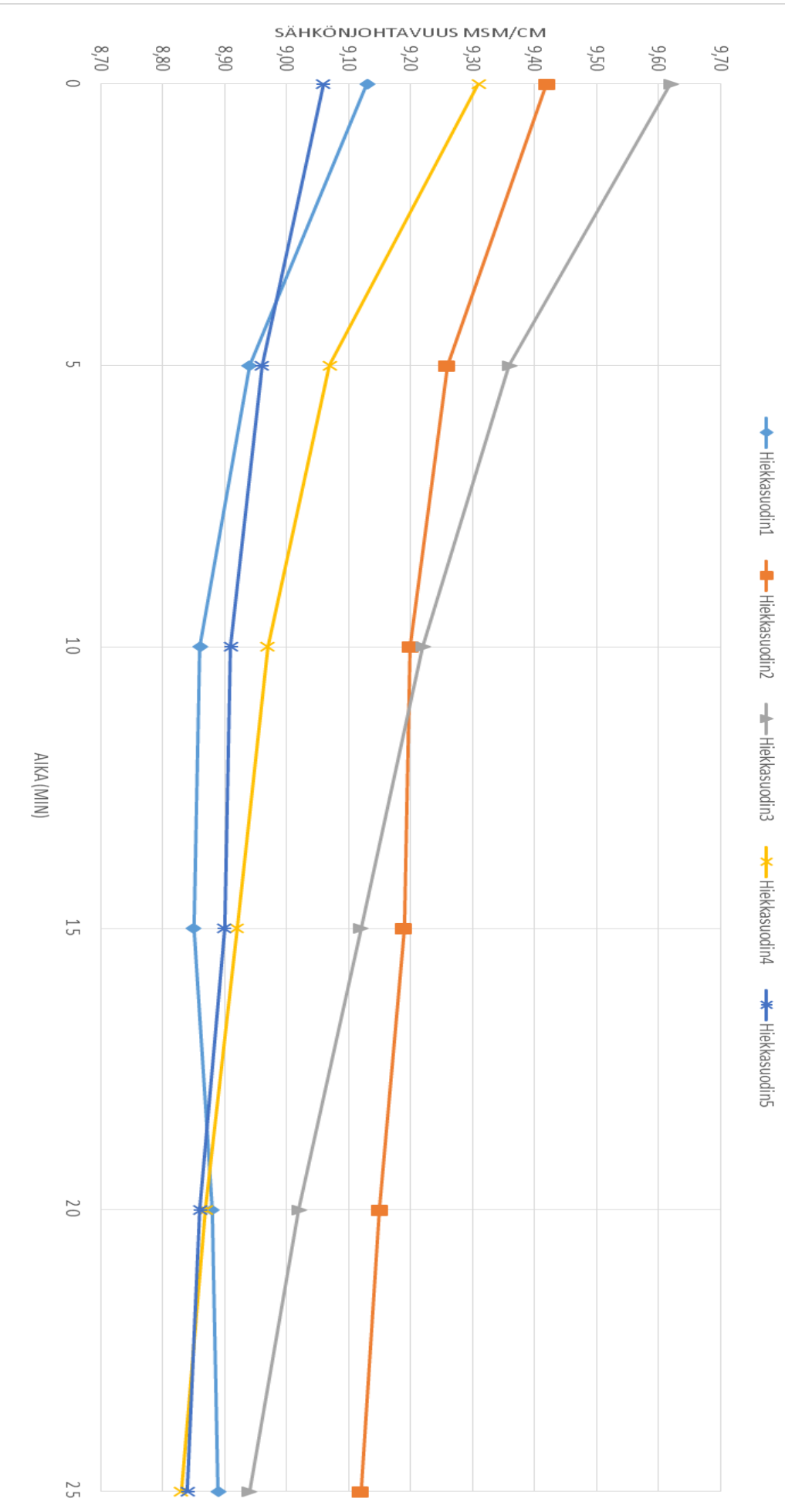
## **Hiekkasuodattimien ja pussisuodattimen yhteisnäytteet**

Laboratoriossa mitattut pitoisuudet kaavioina.

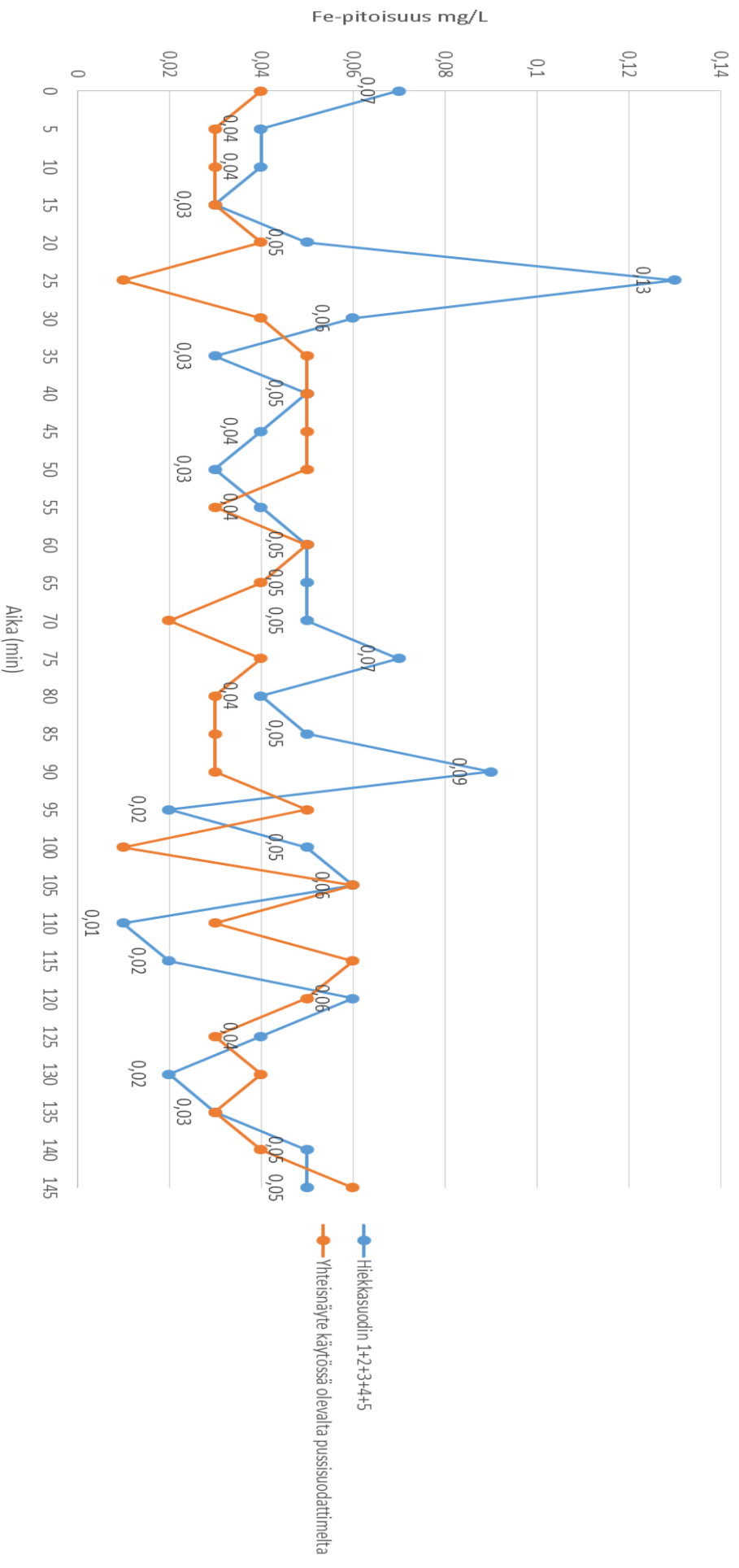
Hiekkasuotimet 1,2,3,4 ja 5 (näytteet heti pesun jälkeen 0min-25min)



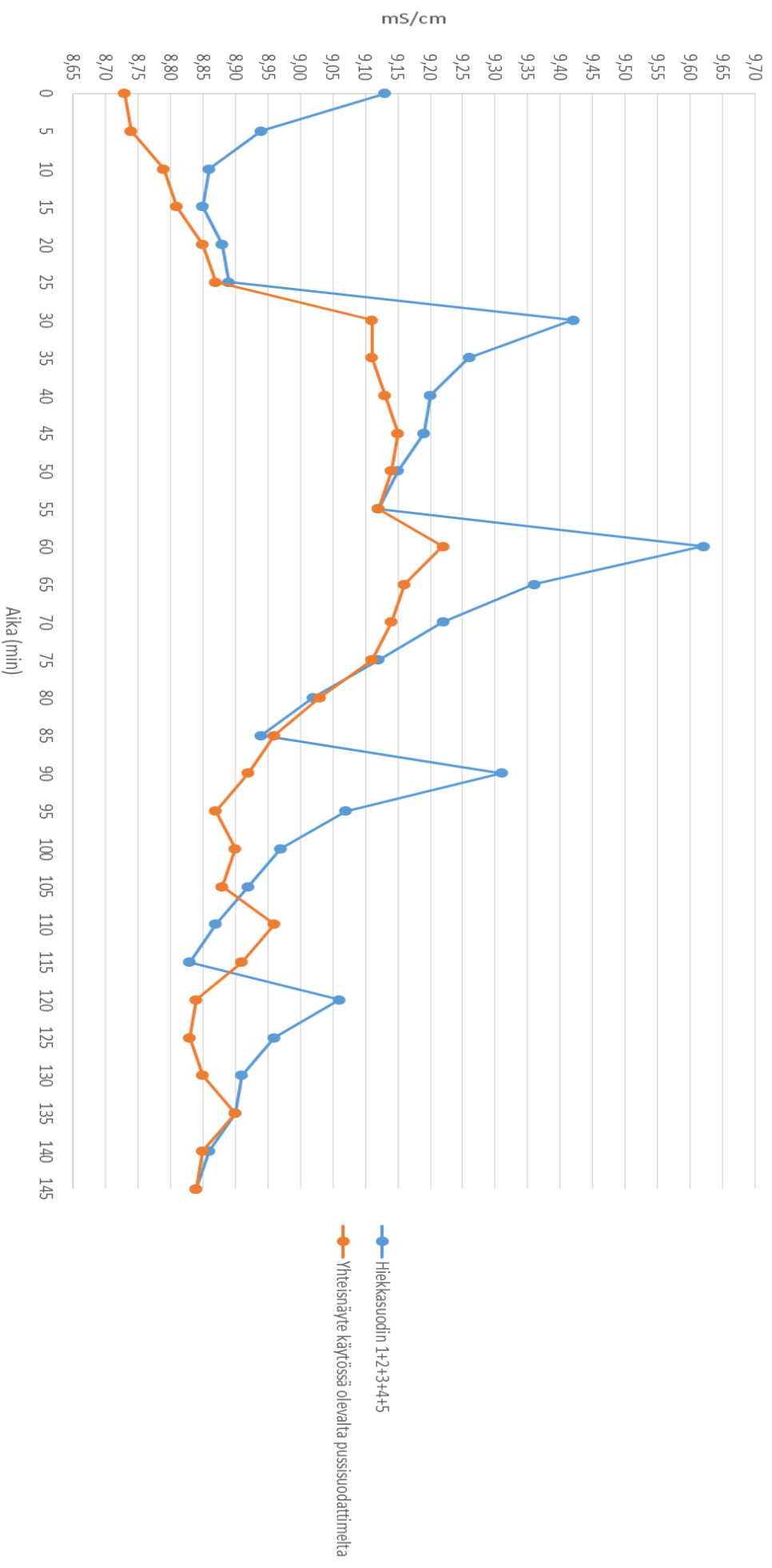
### HIEKKASUOTIMET 1,2,3,4 JA 5 (NÄYTEET HETI PESUN JÄLKEEN 0MIN-25MIN)



Fe-pitoisuus hiekkasuodtimilta 1+2+3+4+5 sekä pussisuodattimelta



### Sähköjohtavuus hiekkasuotimilta 1+2+3+4+5 sekä pussisuodattimelta



## **Käänteisosmoosilaitteiston seuranta**

Insinööriyöni aikana mitatut sekä kerätyt arvot käänteisosmoosilaitteistolta.



date	start time (3)	105 dose (ml/min)	0 (s)	15 (s)	SDI (15 min.)	pressure change (bar)	water T (C)	elec. cond. (µS/cm)	pH online	pH lab	Fe (mg/l estimate)	colour of the filter (visual)	sand filter start	filter wash times	permeate flow (m <sup>3</sup> /h)	concentrate flow (m <sup>3</sup> /h)	feed (m <sup>3</sup> /h)	permeate/feed	pressure (bar)	RO pressure (bar)	nitrate pressure (bar)	difference in pressure (bar)	105 in the container (l)	remarks
19.2016		40	45	225	5.33	2.1-3	15.9	325	6.4		0.02	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:16 min	9.3	16.6	25.9	0.36	4.0	16.0	15.0	0.9	400	Ferric sulphate from 40 ml/m <sup>3</sup> -> 45 ml/m <sup>3</sup> at 10:30
6.9.2016	10:45	40									0.01													Ferric sulphate from 45 ml/m <sup>3</sup> -> 47 ml/m <sup>3</sup> at 10:30
7.9.2016	12:19	45	42	141	4.68	2.1-3	14.9	328	6.4		0.02	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:16 min	8.3	16.6	24.9	0.33	4.0	16.0	14.9	0.6	240	Ferric sulphate from 45 ml/m <sup>3</sup> -> 47 ml/m <sup>3</sup> at 14:30
9.9.2016	9:40	47	47	121	4.08	2.1-3	14.6	270	6.3		0.01	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:16 min	10.0	16.6	26.6	0.38	4.0	16.0	14.9	0.7	220	The RO-machine was shut down during the sampling. Possibly an error in the measurement. Sampling will be renewed
14.9.2016	11:30	47	41	148	4.82						0.04	humus/leucic	8:15, 16:15, 00:15	8:16 min										60 measurement. Sampling will be renewed
14.9.2016	14:40	47	38	103	4.21	2.1-3	15.9	305	6.4		0.01	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:16 min	10.1	16.6	26.7	0.38	4.0	16.0	14.9	0.9	1000	PIX-105 container replaced
21.9.2016	8:00	47	40	77	3.20	2.0-2.3	14.4	289	6.3		0.03	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:23 min	10.5	16.6	27.1	0.39	4.0	16.0	15.0	0.7	800	Ferric sulphate from 47 ml/m <sup>3</sup> -> 45 ml/m <sup>3</sup> at 14:21
22.9.2016	14:10	47									0.03													750 at 14:21
23.9.2016	8:50	45									0.03													Ferric sulphate from 45 ml/m <sup>3</sup> -> 43 ml/m <sup>3</sup> at 08:50
23.9.2016	15:00	43	45	77	2.77	2.0-2.1	14.2	278	6.4		0.01	humus/greenish	8:15, 16:15, 00:15	8:23 min	10.6	16.6	27.2	0.39	4.0	16.0	14.9	0.8	700	SDI-sampling point shut-off valve renewed. No more leaking from valve.
26.9.2016	8:30	43	38	95	4.00	2.0-2.3	14.0	262	6.4		0.02	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:23 min	10.3	16.6	26.9	0.38	4.0	16.0	14.9	0.9	650	
27.9.2016	8:30	43	42	98	3.81	2.0-2.3	14.9	278	6.4		0.01	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:23 min	10.1	16.6	26.7	0.38	4.0	16.0	14.9	0.6	650	
28.9.2016	12:55	43	50	110	3.64	2.0-2.3	14.2	295	6.4		0.01	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:23 min	9.8	16.6	26.4	0.37	4.0	16.0	14.9	0.6	600	
29.9.2016	14:20	43	52	91	2.86	2.0-2.3	13.9	274	6.4		0.02	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:23 min	9.7	16.6	26.3	0.37	4.0	16.0	14.9	0.6	550	
30.9.2016	8:00	43	50	111	3.66	2.0-2.3	14.0	279	6.4		0.01	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:23 min	9.7	16.6	26.3	0.37	4.0	16.0	14.9	0.6	500	
11.10.2016	12:30	43	45	104	3.78	2.0-2.3	10.7	282	6.4		0.02	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:23 min	8.4	16.6	25.0	0.34	4.0	16.0	14.9	0.4	350	
21.10.2016	14:00	43	50	95	3.16	2.0-2.3	9.7	270	6.4		0.02	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:23 min	9.4	16.6	26.0	0.36	4.0	16.0	14.9	0.8	1000	PIX-105 container replaced
27.10.2016	13:10	43	49	91	3.08	2.0-2.3	9.0	273	6.5		0.02	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:23 min	9.4	16.6	26.0	0.36	4.0	16.0	14.9	0.6	800	
11.11.2016	13:10	43	52	96	3.06	2.0-2.3	5.8	269	6.5		0.01	humus	8:15, 16:15, 00:15	8:23 min	8.3	16.6	24.9	0.33	4.0	16.0	14.9	0.9		