

# **Voimalaitoksen käänteisosmoosi- järjestelmän käyttöönoton valmistelu**

Hemmo Puskala

Opinnäytetyö

Toukokuu 2018

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t) Puskala, Hemmo	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2018
	Sivumäärä 73	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Voimalaitoksen käänteisosmoosijärjestelmän käyttöönoton valmistelu</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energiatekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Matti Siistonen, Kari Hytönen		
Toimeksiantaja(t) Kumpuniemen Voima Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli Kumpuniemen Voima Oy:n hankkiman käänteisosmoosijärjestelmän käyttöönoton valmistelu. Käänteisosmoosilaitteisto tulee korvaamaan Pyroflow-kattilan raakaveden puhdistukseen käytetyn ioninvaihtojärjestelmän.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tehostaa käänteisosmoosijärjestelmän käyttöönottoa. Työ painottui lisävesiputkiston suunnitteluun ja käänteisosmoosilaitteiston suodatuskalvojen pesuprosessiin selvittämiseen sekä esikäsittelyssä syötettävien kemikaalien pohtimiseen.</p> <p>Työ toteutettiin kehittämistutkimuksena. Tiedonkeruumenetelminä käytettiin havainnointia voimalaitoksella, dokumentteja ja haastatteluita. Suurin osa informaatiosta saatiin voimalaitoksella tapahtuneen havainnoinnin kautta.</p> <p>Työn konkreettisena tuloksena on osalista tarvittavista putkiosista käänteisosmoosijärjestelmän liittämiseksi voimalaitoksen lisävesikiertoon. Työ sisältää kolme erilaista vaihtoehtoa raakaveden esikäsittelyyn sekä ohjeet ja liuostaulukot suodatuskalvojen pesuprosessin suorittamiseen. Nämä tulokset helpottavat käänteisosmoosijärjestelmän käyttöönottoa Kumpuniemen Voima Oy:llä.</p>		
<p>Avainsanat (<a href="#">asiasanat</a>)</p> <p>Käänteisosmoosi, elektrodeionisaatio, voimalaitoksen lisäveden valmistus</p>		
<p>Muut tiedot (<a href="#">salassa pidettävät liitteet</a>)</p>		

Author(s) Puskala, Hemmo	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2018
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 73	Permission for web publication: x
Title of publication Preparing the commissioning of a reverse osmosis system at a power plant		
Degree programme Degree Programme in Energy technology		
Supervisor(s) Siistonen, Matti and Hytönen, Kari		
Assigned by Kumpuniemen Voima Oy		
<p>Abstract</p> <p>The assignment for the thesis was given by Kumpuniemen Voima Oy. The purpose of the work was to prepare the commissioning of a reverse osmosis system that the company had acquired. The reverse osmosis system will replace the ion exchange system used in the purification of the raw water for Pyroflow boiler.</p> <p>The goal of the thesis was to optimize the commissioning of the reverse osmosis system. The focus was to plan the piping in the makeup water circulation and to study the cleaning process of the membranes in the reverse osmosis system as well as to analyse the chemicals that are fed in to the system in the pre-treatment.</p> <p>The thesis was a development study. Observation, interviews and reading documents were used as data collection methods. Most of the information was gathered through observation at the power plant.</p> <p>The concrete result of the work is a list of pipe fittings needed to join the reverse osmosis system into the makeup water circulation at power plant. The thesis also includes three different pre-treatment options for the raw water, instructions on cleaning the membranes and solution tables for the cleaning chemicals. These results will help the commissioning of the reverse osmosis system at Kumpuniemen Voima Oy.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Reverse osmosis, electrodeionization, producing makeup water for a power plant		
Miscellaneous ( <a href="#">Confidential information</a> )		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>5</b>
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet .....	5
1.2	Tutkimusasetelma, aineiston keruu ja analysointi .....	6
<b>2</b>	<b>Kumpuniemen Voima Oy .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Voimalaitoksen vesi-höyrykierto ja sen puhtausvaatimukset .....</b>	<b>8</b>
3.1	Käsitteitä .....	8
3.2	Luonnonkiertokattilan vesi-höyrykierto .....	8
3.3	Veden laadun mittareita .....	10
3.4	Veden epäpuhtaudet .....	12
<b>4</b>	<b>Vedenkäsittelyn vaihtoehdot voimalaitoksella .....</b>	<b>15</b>
4.1	Käänteisosmoosi .....	15
4.1.1	Osmoosi .....	15
4.1.2	Käänteisosmoosin periaate .....	16
4.1.3	Käänteisosmoosijärjestelmän syöttöveden esikäsittely .....	18
4.1.4	Kalvosuodatus .....	20
4.1.5	Jälkikäsittely .....	21
4.1.6	Kalvotyypit .....	23
4.1.7	Käänteisosmoosin tehokkuuteen vaikuttavat tekijät .....	24
4.1.8	Kalvojen puhdistus .....	25
4.2	Ioninvaihto .....	26
4.3	Elektrodialyysi .....	28
4.4	Elektrodeionisaatio .....	29
<b>5</b>	<b>Käänteisosmoosijärjestelmän putkisto .....</b>	<b>29</b>
5.1	Putkistandardit .....	30

	2
5.2 Ruostumaton teräs.....	30
5.3 Halkaisija ja seinämän paksuus .....	31
5.4 Putkiosat.....	32
<b>6 Nykytilan kartoitus .....</b>	<b>34</b>
6.1 Pyroflow-kattilan vedenkäsittely.....	34
6.2 Kumpuniemen Voima Oy:n RO-laitteisto .....	36
6.2.1 Putkistokartoitus .....	38
6.2.2 Laitteiston sijoittelu .....	39
6.2.3 RO+EDI-laitteiston säilöntä.....	40
6.3 Tutustumiskäynnit.....	41
6.3.1 Mäntän Energia Oy .....	41
6.3.2 Vilppulan sahan voimalaitos.....	42
<b>7 Tulokset .....</b>	<b>42</b>
7.1 Käyttöönottosuunnitelma .....	42
7.1.1 Lisävesiputkistosuunnittelu .....	43
7.1.2 Suodatuskalvojen puhdistus.....	45
7.1.3 Oheislaitteiden vertailu ja sijoittelu .....	47
7.1.4 Käytettävät kemikaalit ja suodatuskalvojen valinta .....	48
7.2 Ioninvaihdon ja käänteisosmoosin ominaisuuksien vertailu .....	50
<b>8 Tulosten analysointi .....</b>	<b>51</b>
<b>9 Pohdinta.....</b>	<b>53</b>
<b>Lähteet .....</b>	<b>57</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>60</b>
Liite 1. Appendix Veden entalpia-arvo taulukko paineen mukaan .....	60
Liite 2. Live-säiliön yhteet.....	61

Liite 3.	Osaluettelo .....	62
Liite 4.	Materiaalien hintavertailu .....	63
Liite 5.	Hapanpesu .....	64
Liite 6.	Emäspesu .....	64
Liite 7.	Säilöntäliuos.....	64
Liite 8.	Desinfiointiliuos .....	64
Liite 9.	Lisävesipumppujen kytkentä lisävesisäiliöön .....	65
Liite 10.	Lämpötilan tasaussäiliön kytkennät .....	65
Liite 11.	Liityntä lisävesiputkistoon .....	66
Liite 12.	Oheislaitteiden sijoitus.....	67
Liite 13.	RO-laitteiston suodatuskalvojen happaman pesun ohjeet .....	68

## Kuviot

Kuvio 1.	Luonnonkiertokattilan vesi-höyrykierto.....	9
Kuvio 2.	Osmoosi .....	15
Kuvio 3.	Käänteisosmoosi.....	17
Kuvio 4	Spiraalimoduulin läpileikkaus .....	21
Kuvio 5.	Tyypillinen käänteisosmoosijärjestelmä .....	22
Kuvio 6.	Tyypillisen TFC-kalvon läpileikkaus.....	24
Kuvio 7.	Ioninvaihto.....	27
Kuvio 8.	Elektrodialyysi.....	28
Kuvio 9.	Kaulus ja Irtolaippa .....	32
Kuvio 10.	Putkikäyrä .....	33
Kuvio 11.	T-haara.....	33
Kuvio 12.	Keskeinen ja epäkeskeinen kartio .....	34
Kuvio 13.	Kumpuniemen Voima Oy:n RO-laitteisto .....	37
Kuvio 14.	Kumpuniemen Voima Oy:n layout .....	38
Kuvio 15.	Biokattilan (arinakattila) lisävesiputki merkittynä tarralla.....	39

Kuvio 16. RO+EDI-laitteisto sijoitettuna paikalleen .....	40
Kuvio 17. Lisävesiputkiston suunnittelukuva .....	44

## **Taulukot**

Taulukko 1. Käänteisosmoosilaitteiston tehokkuuteen vaikuttavat tekijät .....	25
Taulukko 2. Yleisten ruostumattomien terästen koostumuksia .....	31
Taulukko 3. Vesijohtoveden laatu Äänekoskella .....	35
Taulukko 4. Pyroflow-kattilan vedenlaadun ohjearvot .....	36
Taulukko 5. RO:n syöttöveden esikäsittelyn vaihtoehdot .....	50

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön toimeksiantaja, Kumpuniemen Voima Oy, on hankkinut raakaveden-puhdistusjärjestelmän, joka koostuu käänteisosmoosi- ja elektrodeionisaatiolaitteista (RO+EDI, engl. reverse osmosis+electrodeionization). Opinnäytetyön tarkoituksena oli tämän käänteisosmoosilaitteiston käyttöönoton valmistelu. RO+EDI-järjestelmä tulee korvaamaan Pyroflow-kattilan raakaveden puhdistukseen käytetyn ikääntyneen ioninvaihdon.

Käänteisosmoosi perustuu veden pakottamiseen suodatuskalvon lävitse paineen avulla, jolloin epäpuhtaudet jäävät kalvon toiselle puolelle ja poistuvat rejektiveden mukana. Käänteisosmoosilaitteistojen kehitys on tehnyt niistä varteenotettavan vaihtoehdon niin juomaveden kuin myös teollisuuden prosessivesien valmistuksessa. Käänteisosmoosin suurimpana etuna ioninvaihtoon verrattuna on, ettei elvytyskemikaaleja tarvita. Elvytyskemikaalit ovat taloudellinen kuluerä, ja kemikaalien käsittely on aina työturvallisuus- ja ympäristöriski.

Käänteisosmoosiin liittyviä opinnäyte-, kandidaatin- ja diplomitöitä on tehty useita. Esimerkiksi Irene Auvinen ja Tapio Haverinen vertailivat ioninvaihto- ja käänteisosmoositekniikkaa vuoden 2011 opinnäytetyössään (Auvinen & Haverinen 2011). Tommi Johansson tutki taas käänteisosmoosin esikäsittelymenetelmiä vuoden 2013 kandidaatintyössään (Johansson 2013). Käänteisosmoosijärjestelmän käyttöönotosta ei kuitenkaan ole tehty lopputyötä aikaisemmin.

Opinnäytetyön yleistavoitteeksi asetettiin RO+EDI-laitteiston käyttöönoton tehostaminen. Alatavoitteiksi asetettiin seuraavat:

- tiedon hankkiminen laitteiston käyttöönotosta ja siihen mahdollisesti liittyvistä ongelmista
- RO+EDI-laitteiston yhteyteen sijoitettavien oheislaitteivaihtoehtojen vertailu, esimerkiksi pumppujen ja lämpötilantasaussäiliöiden
- laitteiston, putkilinjojen ja oheislaitteiden sijoittelun pohdinta
- RO+EDI-laitteistolle tulevan raakaveden lämmitystavan pohdinta



- RO+EDI-laitteiston ominaisuuksien vertailu ioninvaihtojärjestelmän kanssa.

Lisäksi olennaisena osana opinnäytetyötä oli myös nykytilan kartoitus.

## 1.2 Tutkimusasetelma, aineiston keruu ja analysointi

Opinnäytetyö toteutettiin kehittämistutkimuksena. Kehittämistutkimuksessa tarkoituksena on tutkittavan asian, prosessin tai ilmiön kehittäminen paremmaksi kuin alkutilanteessa. Kehittämistutkimuksen kohteena on aina käytännön ongelma. (Kananen 2012, 13.)

Tutkimusote oli kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Laadullisen tutkimuksen tiedonkeruumenetelmiä ovat havainnointi, haastattelut ja kirjalliset aineistot. Havainnoinnin muotoja ovat piilohavainnointi, suora havainnointi, osallistuva havainnointi ja osallistava havainnointi. Haastattelut voidaan toteuttaa yksilö-, ryhmä tai focus-group-haastatteluina. Kirjallisiin aineistoihin lukeutuvat tekstidokumentit sekä visuaaliset että audiovisuaaliset aineistot. (Kananen 2008, 57.)

Opinnäytetyöhön aineistoa kerättiin kaikkien kolmen laadullisen tutkimuksen tiedonkeruumenetelmän avulla. Kumpuniemen Voima Oy:llä tapahtuneen havainnoinnin avulla kartoitettiin työn lähtötilanne ja voimalaitoksen lisävesijärjestelmän rakenne. Myös käyttöönottoprojektin etenemisestä saatiin tietoa havainnoimalla Kumpuniemen Voima Oy:llä. Opinnäytetyöprosessin alussa käytiin lisäksi tutustumassa Mäntän Energia Oy:n ja Vilppulan sahan voimalaitoksen käänteisosmoosijärjestelmiin yhdessä toimeksiantajan edustajan kanssa. Näillä vierailuilla saatiin tietoa samankaltaisista järjestelmistä. Lisäksi Mäntän Energialta saatiin kattava tietopaketti yrityksen käytössä olevasta RO+EDI-järjestelmästä, jota voitiin käyttää apuna opinnäytetyön tekemisessä. Toimeksiantajan edustajan haastatteluilla kerättiin lisätietoa järjestelmän käyttöönottoon liittyvistä tekijöistä. RO+EDI-järjestelmän valmistajan dokumenteista saatiin yksityiskohtaista tietoa laitteistosta. Visuaalisen aineiston eli tässä tapauksessa valokuvien avulla järjestelmän rakennetta ja kytkentöjä päästiin tarkastelemaan myös etänä. Opinnäytetyön tietoperusta kirjoitettiin voimalaitostekniikkaan ja vedenkäsittelyyn liittyvän materiaalin pohjalta.

Havainnoinnin perusteella saatavan aineiston analyysi liittyy vahvasti tiedonkeruuvaiheeseen. Analyysin perusteella voidaan selvittää, tarvitaanko lisää tietoa. Strukturoimattomassa havainnoinnissa kirjataan niin paljon tilanteeseen liittyvää tietoa kuin mahdollista. Usein kirjattavien asioiden valinta saattaa muodostaa ongelman. (Kananen 2012, 96–97.)

Havainnoinnin perusteella saatavaa aineistoa kerättiin hiljalleen opinnäytetyön edetessä. Havainnoinnin apuna käytettiin valokuvien ottamista, jolloin muistiin kirjattavan tiedon valitseminen ei tuottanut ongelmia.

Toimeksiantajan edustajan haastattelut tapahtuivat pääosin sähköpostin välityksellä. Haastatteluissa kysyttiin lähinnä neuvoa teknisiin asioihin avoimilla kysymyksillä. Esimerkiksi putkiosaluetteloja tehtäessä kysyttiin toimeksiantajan edustajan mielipidettä seuraavalla kysymyksellä: ”Toteutetaanko laippaliitokset putken päähän kauluslaipalla vai kauluksen ja irtolaipan avulla?” Tämän tyyppiset haastattelukysymykset eivät vaadi tarkempaa analyysiä niiden yksiselitteisyyden vuoksi.

## 2 Kumpuniemen Voima Oy

Kumpuniemen Voima Oy on vuonna 1991 perustettu osakeyhtiö, ja sen omistajat ovat Metsä Group Oyj (54 %) ja Äänekosken Energia Oy (46 %). Yritys sijaitsee Metsä Woodin Suolahden vaneritehtaiden yhteydessä ja tuottaa niiden tarpeisiin prosessihöyryä, sähköä ja lämpöä. Lisäksi Kumpuniemen Voima Oy:n valmistamaa kaukolämpöä käytetään lähialueen kaukolämpöverkossa ja sähköä voidaan syöttää valtakunnan sähköverkkoon.

Kumpuniemen Voima Oy:llä on kolme höyrykattilaa, joista kaksi on kiinteän polttoaineen höyrykattiloita: Ahlströmin valmistama 20 MW Pyroflow-kiertopetikattila ja Standard-Kesselin 26 MW arinakattila (biokattila). Kattiloilla tuotettavan höyryn paine on 42 baaria ja lämpötila 480 °C. Vara- ja huipputehokattilana toimii Foster-Wheelerin 22 MW kevytpolttoöljykattila, jolla voidaan tuottaa 22 baarin paineista ja 250-celsiusasteista höyryä. Yrityksellä on lisäksi Peter Brotherhoodin valmistama 3,7 MW turbiini. Vaneritehtaille tuotettavan prosessihöyryn paine on 16 baaria, joten

tehtaalle menevän höyryn paine alennetaan reduktioventtiileillä tai se otetaan turbii-  
nin väliotosta. Voimalaitos saa kaiken kiinteän polttoaineensa vanerin valmistuspro-  
sessin sivutuotteista.

### **3 Voimalaitoksen vesi-höyrykierto ja sen puhtausvaatimuk- set**

#### **3.1 Käsitteitä**

*Kattilavesi* on höyrykattilan sisällä esim. lieriössä tai höyrystinputkissa olevaa vettä (Korroosiokäsikirja 2004, 272).

*Lauhdevedellä* tarkoitetaan kulutuspisteissä vedeksi lauhtunutta höyryä (Korroosio-  
käsikirja 2004, 272).

*Raakavedestä* valmistetaan lisävettä. Raakavesi on yleensä pintavettä, joka otetaan  
vesistöistä tai vesijohtoverkostosta (Korroosiokäsikirja 2004, 293.)

*Lisävesi* on vesi-höyrykierron häviöiden korvaamiseksi tuotettua vettä (Korroosiokäsi-  
kirja 2004, 272). Lisävesi on siis suolapoistettua raakavettä.

*Syöttövettä* syötetään kattilaan, ja se koostuu lauhde- ja lisävedestä (Korroosiokäsi-  
kirja 2004, 272).

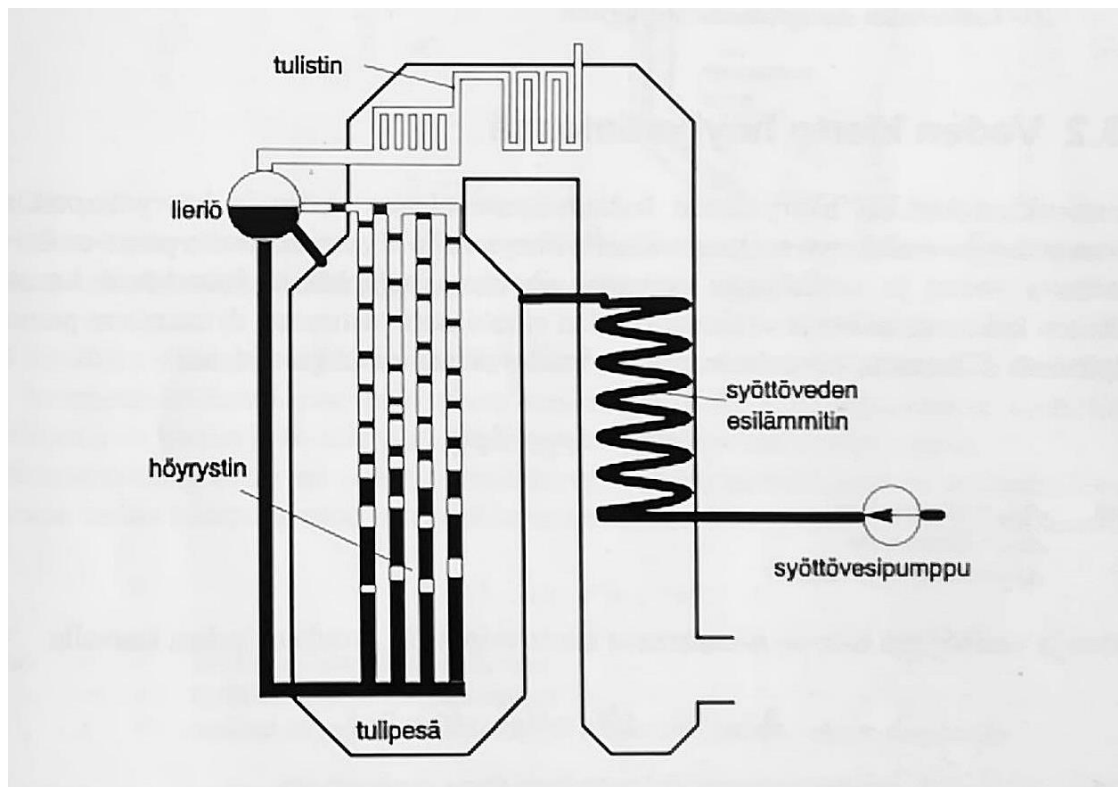
*Ppm* (engl. parts per million) kertoo, kuinka monta miljoonasosaa x on y:stä. Esimer-  
kiksi veden suolapitoisuus voidaan ilmoittaa ppm:n avulla. Mg/l (milligrammaa lit-  
rassa) on vastaava yksikkö kuin ppm.

#### **3.2 Luonnonkiertokattilan vesi-höyrykierto**

Luonnonkiertokattilan toiminta perustuu kylläisen veden ja vesi-höyryseoksen tiheys-  
eroon kattilan laskuputkissa ja höyrystinpinoilla (Huhtinen 2013, 38). Esimerkiksi 40  
baarin paineessa kylläisen veden ja kylläisen höyryn tiheysero on noin 40-kertainen

(Appendix n.d., 893). Luonnonkierto ei toimi yli 160 baarin höyrynpaineilla, koska tiheysero ei ole enää tarpeeksi suuri. Mahdollisimman suuren hydrostaattisen paineen aikaansaamiseksi luonnonkiertokattilat ovat korkeita. Hydrostaattinen paine kuljettaa vesi-höyryseosta laskuputkissa. (Huhtinen 2013, 38.)

Kuviossa 1 on esitetty luonnonkiertokattilan vesi-höyrykierron periaate. Luonnonkiertokattilassa syöttövesi pumpataan savukaasukanavassa sijaitsevan syöttöveden esilämmittimen (ekonomaiser) kautta lieriöön. Ekonomaiserin avulla syöttövesi saadaan lämmitettyä lähelle kylläistä pistettä ja samalla savukaasujen lämpötila laskee. Lämmitetty syöttövesi laskee lieriöstä laskuputkia pitkin tulipesän ympärillä olevien höyrystinputkien alapäähän. Osa vedestä höyrystyy, ja kylläisen veden sekä vesi-höyryn seos palaa höyrystinputkista takaisin lieriöön. Lieriössä höyry ja vesi eroteetaan toisistaan. Kylläinen höyry nousee lieriön yläosaan ja johdetaan sieltä tulistimille. Syöttövesi ja höyrystymätön vesi sekoittuvat lieriössä, josta vesi laskee laskuputkia pitkin takaisin höyrystimelle. Suurin osa suoloista jää kattilavesipiiriin eikä siirry höyrykiertoon. (Huhtinen 2004, 113–114). Kattilaveden laatua pidetään yllä lieriön jatkuvalla ulospuhalluksella, joka on tyypillisesti 1-2 % höyryntuotannosta (Huhtinen 2013, 40).



Kuvio 1. Luonnonkiertokattilan vesi-höyrykierto (Huhtinen 2004, 113)

### 3.3 Veden laadun mittareita

#### **pH-luku**

pH-luku kertoo nesteen alkaalisuuden ja happamuuden tason asteikolla 0-14. Vesi (+ 25 °C) voi olla hapanta (pH = 0–7), neutraalia (pH = 7) tai emäksistä (pH = 7–14). (Huhtinen 2004, 298.)

Alhainen kattilaveden pH aiheuttaa korroosiota, korkea pH taas hidastaa korroosion syntyä (Manivasakam 2011, 52). Kattilaveden pH-arvoa voidaan korottaa alkalointiainesten syötöllä. Kattilaveden pH-arvo ei kuitenkaan saa olla liian suuri, koska emäksinen vesi kuohuu helposti. Sopiva pH-arvo on yleensä 7,5–9,5. (Huhtinen 2004, 307).

#### **TDS-arvo**

TDS eli total dissolved solids tarkoittaa veteen liuenneiden kiintoaineiden määrää. Sen määrää voidaan arvioida sähkönjohtavuuden mittauksella tai mitata yksikössä mg/ml. (Mobley 2001, 520.) Liuenneet kiintoaineet voidaan poistaa lähes kokonaan täyssuolanpoistolla. Lisäksi lieriön jatkuvalla ulospuhalluksella voidaan laskea TDS:n määrää. (Mobley 2001, 523.)

#### **Sähkönjohtokyky**

Sähkönjohtokyky kertoo veden kyvyn johtaa sähkövirtaa. Sähkönjohtokyky on suoraan verrannollinen veteen liuenneisiin mineraalisiin aineisiin ja kaasuihin. Orgaaniset aineet ja piioksidi eivät kuitenkaan vaikuta sähkönjohtokykyyn. Sähkönjohtokykyä käytetään monesti TDS:n määrittelyyn ja sen avulla voidaan säätää lieriön ulospuhalluksen määrää. Sähkönjohtavuuden yksikkönä on yleensä  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (mikrosiemens/senttimetri). Koska sähkönjohtokyky riippuu lämpötilasta, tulokset ilmoitetaan yleensä +25 celsiusasteen lämpötilassa. (Manivasakam 2011, 437.)

#### **Kokonaiskovuus**

Veden kokonaiskovuus tarkoittaa kalsiumin ja magnesiumin määrää vedessä (Mobley 2001, 520). Yksikkönä on yleensä joko °dH tai mg/ml (Huhtinen 2013, 29; Mobley

2001, 520). Vettä voidaan pehmentää pehmennyssuotimella, jossa kalsium- ja magnesiumionit vaihtuvat harmittomiin natriumioneihin. Tätä tapaa käytetään yleensä 1–20 baarin höyryä tuottavissa voimalaitoksissa. Korkeammalle höyryn paineelle vaaditaan täyssuolanpoisto, koska kovuudenpoistossa veden kokonaissuolapitoisuus ei laske. (Huhtinen 2013, 29.) Vedenpehmennystä voidaan käyttää myös käänteis-osmoosisuodatuksen raakaveden esikäsittelyssä (Auvinen & Haverinen 2011, 25).

### **Alkaalisuus**

Alkaliteetti kuvaa veden kykyä vastustaa pH:n muutosta. Alkaliteetin ollessa korkea veden pH-arvo ei muutu helposti ulkoisten tekijöiden vuoksi. (Miten tulkita yleisimpien vesitutkimuksien tuloksia? N.d., 3.)

Alkaalisuuden mittaamiseen on olemassa kaksi vaihtoehtoa: p-alkaliteetti ja m-alkaliteetti. M-alkaliteetti kuvaa veden kokonaisalkaliteettia, ja se ilmoitetaan yleensä yksikössä ppm  $\text{CaCO}_3$ . M-alkaliteetti kertoo alkaalisuuden, jonka on aiheuttanut yksi tai useampi seuraavista: hydroksidi ( $\text{OH}^-$ ), karbonaatti ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) tai vetykarbonaatti ( $\text{HCO}_3^-$ ). Rikkihapon titrauksella m-alkaalisuus voidaan määrittää 4,2–4,4 pH:hon. (Branan 2012, 172.)

P-alkaliteetti kuvaa alkaalisuutta, jota aiheuttaa hydroksidi, pH-luvun 8,2–8,4 yläpuolella. Luonnonvesissä alkaalisuutta aiheuttaa yleensä vetykarbonaatti. (Branan 2012, 172.)

### **Kaliumpermanganaatin kulutus**

Kaliumpermanganaatin ( $\text{KMnO}_4$ ) kulutus ilmaisee lukuarvona, kuinka paljon kaliumpermanganaattia tarvitaan veden sisältämien orgaanisten epäpuhtauksien hapettamiseksi yhtä vesikiloa kohden. Luonnonvesien kaliumpermanganaatin kulutus Suomessa on yleensä 20–50 mg/kg, koska niissä on paljon humusta. Täyssuolanpoistoon menevän veden  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksen tulisi olla alle 10 mg/kg ja lisäveden alle 3 mg/kg. (Huhtinen 2004, 299.)

### 3.4 Veden epäpuhtaudet

#### **Orgaaninen aines ja kiintoaineet**

Orgaaninen aines saa aikaan kattilaveden kuohumista ja aiheuttaa kerrostumia. Kiintoaineet aiheuttavat niin ikään kerrostumia ja tukkeumia. (Huhtinen 2013, 27.) Orgaanisia aineita on lähinnä pintavesissä humuksen muodossa (Korroosiokäsikirja 2004, 248).

#### **Öljy**

Normaalisti luonnonvesissä ei ole lainkaan öljyä, mutta sen päästessä kattilan vesi-höyrykiertoon esimerkiksi lauhteen mukana seuraukset voivat olla kohtalokkaita. Jopa pienet öljymäärät, joita voi olla vaikea todeta testeillä, saavat aikaan ylikuumenemista ja öljykalvon muodostumista. (Manivasakam 2011, 34.)

#### **Kalsium ja magnesium**

Kalsiumin (Ca) ja magnesiumin (Mg) muodostamat suolat aiheuttavat kattilakiveä. Kattilaveden lämpötilan noustessa näiden suolojen liukoisuus veteen heikentyy. Tällöin ne saattavat tarttua kiinteiksi kerroksiksi kattilan lämpöpinnoille. (Huhtinen 2013, 29.)

Kalsiumkarbonaatti on yleisin kattilakiveä aiheuttavista suoloista. Jos sen pitoisuus pysyy alle arvon 100 ppm, kalsiumkarbonaatti ei aiheuta kattilakiveä, vaan se voidaan poistaa ulospuhalluksen avulla kattilavedestä. Kalsiumkarbonaatilla on kyky neutralisoida muiden ainesosien korroosio-ominaisuuksia, mikä johtuu sen voimakkaasta happojen neutraloimiskyvystä. (Manivasakam 2011, 31–32.)

#### **Natrium ja kalium**

Natrium (Na) ja kalium (K) voivat aiheuttaa alkaalikorroosiota ja saostua turbiinin siipiin. Natriumia voi päästä vesi-höyrykiertoon ioninvaihdon kationinvaihtimen natriumvuodosta ja kaukolämpöpumppujen tai -vaihtimien jäähdytysvesivuodoista. (Huhtinen 2013, 26.)

## Rauta ja kupari

Rauta (Fe) ja kupari (Cu) aiheuttavat yhteisvaikutuksessa hapen kanssa korroosiota. Raudalla on myös korroosiota ehkäisevä vaikutus sen höyrystinpinoille muodostaman magneettikalvon vuoksi. (Huhtinen 2013, 26) Höyrykattiloiden käyttöönotossa suoritetaan yleensä inhiboitu happopeitus, jossa puhdistetaan materiaalin pinta hehkuhilseestä ja poistetaan asennuksista johtuvat epäpuhtaudet. Tällä pyritään edesauttamaan mahdollisimman virheettömän ja tiiviin magneettikalvon syntymistä. Kalvon syntyminen vie kuitenkin aikaa ja vasta noin 2 000 käyttötunnin jälkeen päästään tilanteeseen, jossa kalvon muodostumis- ja liukenemisnopeus ovat keskenään tasapainossa. (Korroosiokäsikirja, 291.) Jos kalvo pääsee paksuuntumaan liikaa, siitä voi irrota kappaleita, jotka aiheuttavat eroosiota turbiinissa (Huhtinen 2013, 26).

Myös kupari voi aiheuttaa korroosiota kerrostumalla höyrystimeen ja turbiiniin (Huhtinen 2013, 26). Jos korroosiossa syntyneet kupari-ionit pääsevät kosketuksiin kuparia epäjalomman metallin, kuten raudan, kanssa muodostuu galvaanisia sähköpareja. Tällöin hapen läsnä ollessa syntyy ruostetta. (Korroosiokäsikirja, 277.)

## Piioksidi

Piioksidia eli silikaattia ( $\text{SiO}_2$ ) esiintyy lähes aina luonnon vesissä. Sen väkevyys vaihtelee 1–110 ppm. (Manivasakam 2011, 33.) Piioksidi voi saostua yhdessä kalsiumin ja magnesiumin kanssa tai muodostaa silikaatteja yhdessä alumiinin kanssa. Tästä voi seurata vaikeasti poistettava kerros, joka johtaa heikosti lämpöä. Piioksidia kulkeutuu myös höyryn mukana turbiinin siiville. (Huhtinen 2013, 26.) Liian suuri määrä silikaattia voi aiheuttaa liiallista värinää turbiinin lavoissa ja johtaa turbiinin alasajoon (Vakkilainen 2017, 200).

## Hiilidioksidi

Vapaata hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ) löytyy erinäisissä määrin lähes kaikista luonnon vesistä. Pintavesissä sitä on yleensä vain 2–10 ppm, mutta pohjavesissä hiilidioksidia voi olla jopa 70 ppm. (Manivasakam 2011, 34.) Höyryn lauhduessa hiilidioksidi muodostaa hiilihappoa ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), jonka seurauksena lauhteen pH-arvo laskee. Veden happamudesta johtuva syöpyminen estetään yleensä hydratsiinin ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) tai ammoniakkin ( $\text{NH}_3$ ) syötöllä. (Huhtinen 2013, 26-27.)



## Happi

Yksi eniten korroosiota aiheuttava tekijä syöttövedessä on happi ( $O_2$ ). Happi aiheuttaa korroosiota syöttövesiputkissa ja ekonomaiserissa. (Vakkilainen 2017, 199.) Hapen liukenemisen määrä veteen riippuu monista tekijöistä, kuten hapen osapaineesta, veden lämpötilasta sekä suolapitoisuudesta. Kun paine kasvaa, hapen liukoisuus veteen lisääntyy. Lämpötilan ja suolapitoisuuden kasvaessa hapen liukeneminen taas vähenee. Jos veden sähkönjohtavuus on alle  $0,2 \mu S/cm$ , happi voi myös hidastaa korroosiota. Tätä käytetään hyödyksi voimalaitosten neutraali- ja kombiajotavoissa. (Korroosiokäsikirja, 272,277.)

Happea voidaan poistaa fysikaalisilla ja kemiallisilla menetelmillä. Tärkein fysikaalinen menetelmä kaasunpoistoon on terminen kaasunpoisto. Terminen kaasunpoisto voidaan toteuttaa joko normaalia ilmanpainetta suuremmassa paineessa eli ylipaineessa tai pienemmässä paineessa jolloin puhutaan tyhjiökaasunpoistosta. Kummasakin tapauksessa vesi saatetaan kiehumispisteeseen ja kaasut poistuvat muodostuneen höyryn mukana. (Korroosiokäsikirja 2004, 295–296.)

Yleensä terminen kaasunpoistin sijoitetaan syöttövesisäiliön päälle. Syöttövesisäiliötä lämmitetään turbiinin väliottohöyryllä kiehumispisteeseen. Liuenneet kaasut höyrystyvät ja poistuvat kaasunpoistimen kautta syöttövesisäiliöstä. Kaasujen liukenemiskyky veteen riippuu paineesta ja lämpötilasta. Veden ollessa kiehumispisteessä liukenemista ei tapahdu lainkaan. Termistä kaasunpoistoa käytetään lähinnä hapen poistamiseen, mutta myös muut kaasut, jotka ovat liuenneet veteen, poistuvat samalla. (Huhtinen 2013, 23,33.)

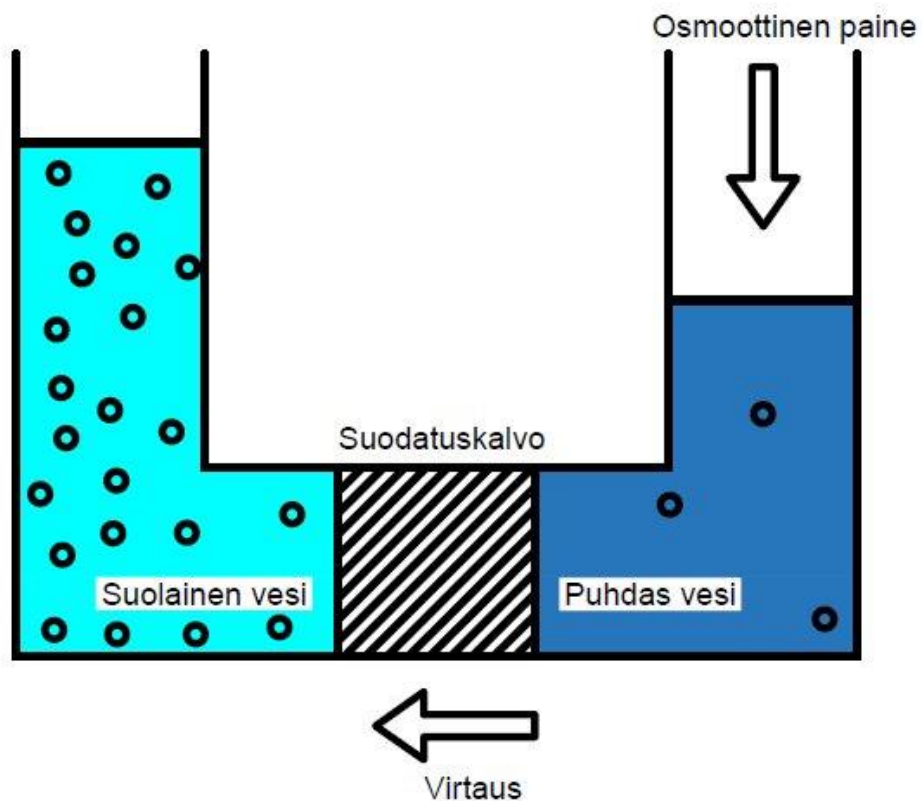
Ylipaineisella termisellä kaasunpoistolla päästään yleensä  $0,01-0,02 \text{ mgO}_2/\text{kg}$  happipitoisuuteen. Lisäksi höyry-vesipiirin vuodoista voi päästä happea järjestelmään. Näiden poistoon voidaan käyttää kemiallista kaasunpoistoa eli hapensitojakemikaalien annostelua syöttöveteen. Hapensitojakemikaaleina voidaan käyttää esimerkiksi hydratsiinia, natriumsulfaattia tai erilaisia amiinijohdannaisia. (Korroosiokäsikirja 2004, 296.)

## 4 Vedenkäsittelyn vaihtoehdot voimalaitoksella

### 4.1 Käänteisosmoosi

#### 4.1.1 Osmoosi

Osmoosi on luonnonilmiö, jossa vesi virtaa puoliläpäisevän kalvon lävitse. Vesi siirtyy laimeamman liuoksen puolelta väkevämmän liuoksen puolelle. Laimeamman puolen veden pinta laskee ja väkevämmän puolen pinta nousee. Virtaus jatkuu kunnes liuoksen väkevyyks on yhtä suuri kummallakin puolella kalvoa. Osa veteen liuenneista ioneista pystyy läpäisemään myös kalvon, mutta kalvo estää suurimmaksi osaksi liuenneiden aineiden siirtymisen toiselle puolelle. (Kucera 2015, 19–20.) Kuviossa 2 on havainnollistettu osmoosi.



Kuvio 2. Osmoosi

#### 4.1.2 Käänteisosmoosin periaate

Käänteisosmoosilaitteiston toiminnan ymmärtämiseksi on tärkeää tuntea muutamia käsitteitä ja lyhenteitä. Tärkeimmät käsitteet on selitetty alla.

*EDI* eli elektrodeionisaatio on ioninvaihtojärjestelmä, joka elvytetään tasavirran avulla.

*Permeaatti* on käänteisosmoosilla puhdistettua vettä (Manivasakam 2011, 258).

*Konsentraatti* tai *rejekti* on vettä, joka sisältää kaikki raakavedestä poistetut epäpuhtaudet (Manivasakam 2011, 258). Yleensä konsentraatti johdetaan viemäriin tai osa siitä voidaan sekoittaa uudelleen puhdistettavaksi syöttöveden kanssa.

*NTU* tarkoittaa veden sameusastetta (Johansson 2013, 9).

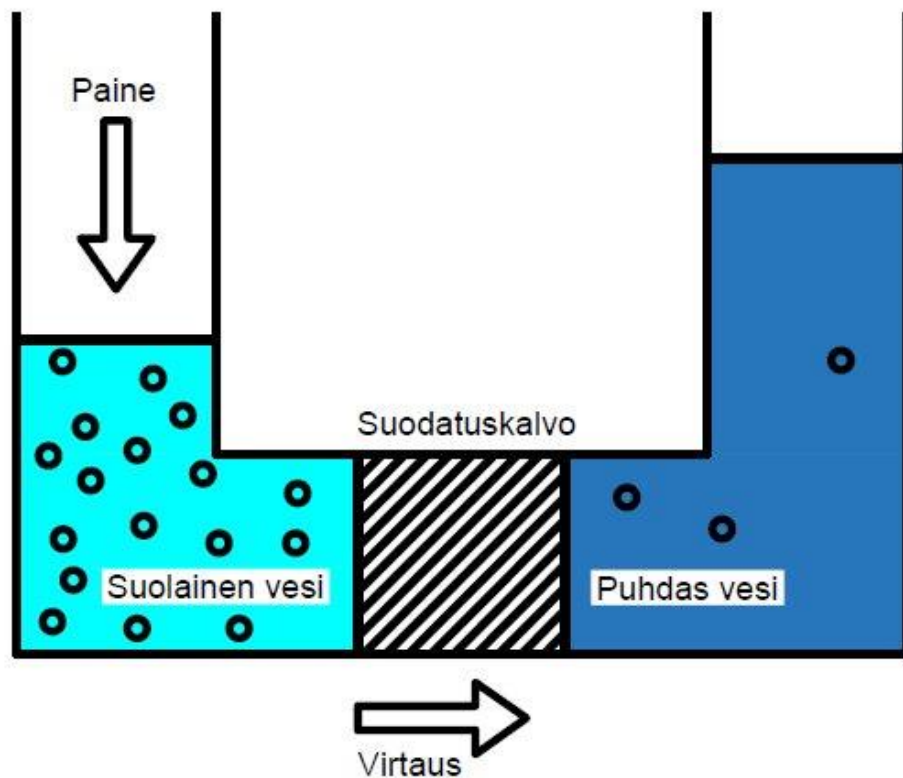
*Saanto* kertoo käänteisosmoosilaitteiston hyötysuhteen eli kuinka paljon syöttövedestä saadaan permeaattia (Gröhn 2009, 23).

*Syöttövedellä* tarkoitetaan käänteisosmoosilaitteistolle menevää raakavettä (Manivasakam 2011, 257). Tätä ei pidä kuitenkaan sekoittaa höyrykattilan syöttöveteen.

*SDI* eli *silt density index* kertoo raakaveden kolloidisen aineksen ja liunneiden kiintoaineiden määrän (Manivasakam 2011, 258).

*RO* on lyhenne käänteisosmoosin englanninkielisestä sanasta reverse osmosis.

Käänteisosmoosissa vesi pakotetaan paineen avulla virtaamaan väkevämmän liuoksen puolelta laimeamman liuoksen puolelle eli päinvastoin kuin osmoosissa. Epäpuhtaudet poistuvat viemäriin johdettavan rejektiveden mukana. Noin 75 % kokonaisvesivirrasta saadaan puhdistettua käänteisosmoosin avulla. (Huhtinen 2013, 32.) Käytetyn paineen tulee olla suurempi kuin osmoottinen paine ja kalvon vastus (Kucera 2015, 19-20). Kuviossa 3 on havainnollistettu käänteisosmoosi.



Kuvio 3. Käänteisosmoosi

Liuenneiden kiintoaineiden poistoprosentti on yleensä 92-99,5 % puhtaalla suodatuskalvolla. Esimerkiksi 98 % suodatusaste tarkoittaa, että jos syöttöveden TDS on 100 ppm, niin permeaatin TDS on 2 ppm. Bakteerit, virukset ja kuumetta aiheuttavat molekyylit kalvo suodattaa yleensä 100 %:sti, mutta tiivisteiden välistä niitä voi hyvin pieniä määriä päästä puhtaan veden puolelle. Myös alumiini, rauta, kalsium, magnesium, fosfaatit ja sulfaatit saadaan poistettua käänteisosmoosin avulla hyvin. Natriumin ja kloorin poistoon RO ei sovellu yhtä hyvin, ja myös liuenneet kaasut, kuten happi ja hiilidioksidi läpäisevät suodatuskalvon. (Manivasakam 2011, 271.)

Juomaveden ja voimalaitoksien lisäveden valmistuksen lisäksi käänteisosmoosia käytetään veden puhdistamiseen myös muissa sovelluksissa. Käänteisosmoositekniikan kyky poistaa pienhiukkasia on tehnyt siitä välttämättömän ultrapuhdastaan veden val-

mistukseen mikrosirujen pesemistä varten. Myös lääketieteen tarvitsema vesi voidaan tuottaa käänteisosmoosilla, koska sillä saadaan poistettua suuret kuumetta aiheuttavat molekyylit. (Mobley 2001, 529.)

#### 4.1.3 Käänteisosmoosijärjestelmän syöttöveden esikäsittely

Normaalisti käänteisosmoosijärjestelmä koostuu kolmesta osasta: esikäsittelystä, varsinaisesta kalvosuodatuksesta ja jälkikäsittelystä. Esikäsittelyn avulla RO-laitteiston tehokkuutta ja kestävyyttä voidaan parantaa. Yleensä hyvällä esikäsitellyllä voidaan estää tai ainakin hidastaa kemikaalisia muutoksia suodatuskalvoissa ja vähentää kalvojen tukkeutumista sekä likaantumista. (Reverse Osmosis and Nanofiltration 2007, 26.)

Liuenneiden kiintoaineiden aiheuttamaa suodatuskalvon vahingoittumista estetään 5 µm patruunasuodattimella. Yleensä pohjavesillä patruunasuodatimen käyttö riittää suodattamaan mahdolliset kiintoaineet RO-laitteiston syöttövedestä. Jos raakaveden NTU ylittää arvon 1 tai SDI ylittää arvon 4 tai 5 (riippuen valmistajasta), olisi suotavaa asentaa lisäsuodatin patruunasuodatimen eteen. (Manivasakam 2011, 267; Reverse Osmosis and Nanofiltration 2007, 27.) Lisäsuodatin voi olla esimerkiksi hiekkasuodatin tai MMF -suodatin. Jossain tapauksissa myös raakaveden koagulointi tai selkeytys saattaa olla tarpeellista ennen veden suodatusta. (Manivasakam 2011, 267.) Alumiini, rauta ja magnesium aiheuttavat myös kalvojen likaantumista. Ne saadaan yleensä poistettua hiekkasuodattimella. Raudan aiheuttama likaantuminen voidaan estää myös ilmastuksella tai kelaation avulla. (Manivasakam 2011, 270.)

Saostuminen aiheuttaa RO-laitteiston suodatuskalvoille vahinkoa. Kolme yleisintä saostumista aiheuttavaa komponenttia raakavedessä ovat kalsiumkarbonaatti, kalsiumsulfaatti ja piioksidi. Saostumista voidaan estää monella tapaa. Yksi mahdollisuus on pehmentää vettä ioninvaihdolla tai nanosuodatuksella. Kalsiumkarbonaatin saostumista voidaan estää myös syöttämällä happoa raakaveteen, mutta kalsiumsulfaatin saostumista hapon syötöllä ei voida estää. Lisäksi hiilidioksidia saattaa muodostua hapon syötön seurauksena. Yleensä kalsiumsulfaatti ei kuitenkaan aiheuta ongelmia,

jos raakaveden TDS-pitoisuus on alle 1500 mg/l. Tämän pitoisuuden ylittyessä kalsiumsulfaatin sekä kalsiumkarbonaatin saostuminen voidaan estää hapon ja sodium hexa meta phosphaten (SHMP) yhdistelmällä. Tämäkään ei ole kuitenkaan täysin ongelmatonta, koska SHMP:n liukenemattomat fosfaatti-ionit voivat vahingoittaa RO:n suodatuskalvoa ja lisäksi fosfaatit ovat bakteerien ruokaa ja edesauttavat niiden kasvamista. (Manivasakam 2011, 269–270.)

Edellä mainittujen ongelmien vuoksi on kehitetty erilaisia antiskalantteja, jotka pystyvät estämään kalsiumkarbonaatin, kalsiumsulfaatin ja piioksidin saostumisen aiheuttamat ongelmat, eivätkä ne tue mikrobien kasvua. Nykyään antiskalanttien käyttö on eniten käytetty tapa näiden saostumien synnyn estämiseen. Antiskalantit reagoivat pinnan ioniryhmien kanssa ja estävät täten saostumien syntyyn tarvittavan kasvun. Tämän ominaisuuden vuoksi antiskalanttien kulutus on hyvin pientä, yleensä alle 5 mg/l. Nykyisin on käytössä laajalti kahden tyyppisiä antiskalantteja: polyfosfaatteja ja polymeerisiä antiskalantteja, jotka ovat yleensä polyakrylaatteja. (Reverse Osmosis and Nanofiltration 2007, 34–35.)

Voimalaitoksilla, joiden lisäveden tarve on alle 10 m<sup>3</sup>/h, antiskalantin sijasta voidaan käyttää vedenpehmennystä. Yleensä suuremmalla lisäveden tarpeella antiskalantin syöttö on taloudellisempaa. (Auvinen & Haverinen 2011, 25–26.)

Selluloosa-asetaattisuodatuskalvoja käytettäessä RO:n syöttöveden pH:ta joudutaan laskemaan arvoon 5,5–6 hydrolyysin minimoimiseksi. Yleensä tähän käytetään jotain mineraalista happoa. (Reverse Osmosis and Nanofiltration 2007, 26.)

Pintavettä käytettäessä raakaveden lähteenä biologiset aineet, kuten bakteerit, hiivasienet tai metaboliset tuotteet, saattavat aiheuttaa ongelmia RO:n kalvoille. Jos vesi sisältää paljon biologista kasvustoa, se yleensä kloorataan. Varsinkin polyamidi- ja komposiittikalvot ovat herkkiä kloorille, joten klooratusta vedestä tulee vielä poistaa kloori ennen sen syöttämistä RO:lle. (Manivasakam 2011, 270.) Kaikista herkimpien polyamidi-kalvojen kanssa kloorausta ei voida käyttää esikäsittelyssä lainkaan (Reverse Osmosis and Nanofiltration 2007, 27). Kloori voidaan poistaa aktiivihiiisuodattimella tai kemiallisten yhdisteiden avulla, kuten natriumvetysulfiitilla (NaHSO<sub>3</sub>). Nykyisin kloorauksen sijasta mikrobien poistoon käytetään usein ultraviolettivalon avulla tapahtuvaa desinfiointia. (Manivasakam 2011, 270.)

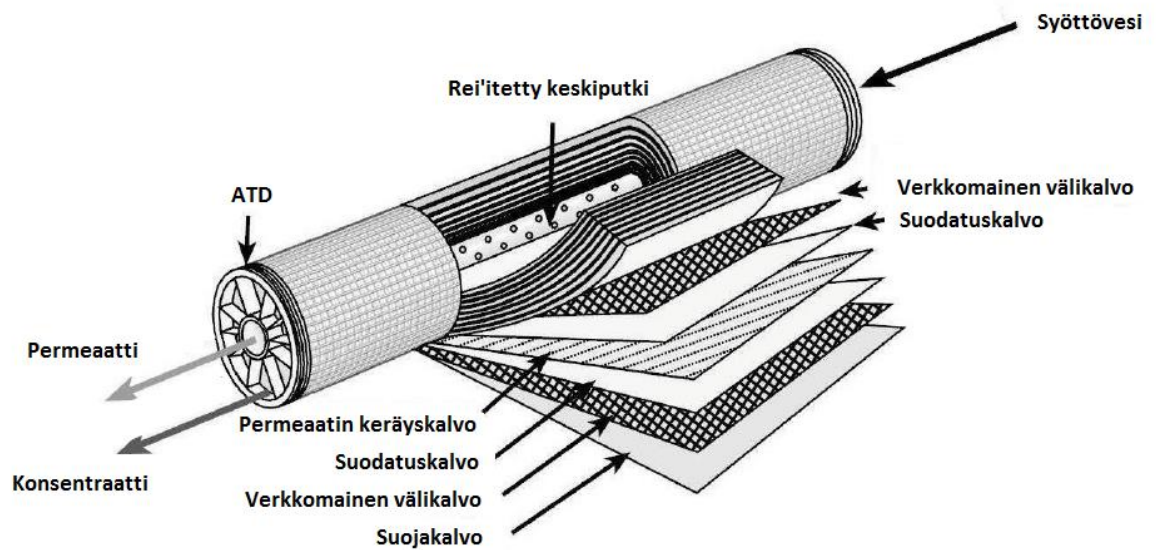
#### 4.1.4 Kalvosuodatus

Käänteisosmoosilaitteistolle tuleva esikäsitelty syöttövesi paineistetaan korkeapaine-pumpun avulla ja johdetaan paineputkien sisällä oleville suodatuskalvoille. Pumppu tuottaa paineen, joka tarvitaan veden pakottamiseen suodatuskalvojen lävitse. (Manivasakam 2011, 259.)

Paineputket valmistetaan lujitemuovista tai ruostumattomasta teräksestä. Paineputkia on saatavilla erilaisilla halkaisijoilla, pituuksilla ja paineluokilla. Lujitemuoviputkia on kolmella standardihalkaisijalla: 2,5", 4" ja 8". Ruostumattomasta teräksestä valmistettuja paineputkia on saatavilla laajemmalla skaalalla. (Manivasakam 2011, 259.)

Paineputkien sisällä sijaitsevia kalvomoduuileita on yleisesti käytössä kahden tyyppiä: spiraali- ja onttokuitumoduuleja. Näiden lisäksi on olemassa myös levy- ja putkimoduuleja, mutta niiden käyttö on vähäistä. (Manivasakam 2011, 261.) Suomessa voimalaitosten raakaveden puhdistukseen käytetään yleensä spiraalimoduuleja (Auvinen & Haverinen 2011, 28).

Kuviossa 4 on esitetty spiraalimoduulin rakenne. Moduuli koostuu suodatuskalvoista, joiden välissä on vettä läpäisemätön permeaatin kokoojakalvo, joka kerää puhdistetun veden rei'itettyyn keskiputkeen. Kuten kuviosta nähdään, syöttövesi pumpataan moduulin toisesta päästä sisään. Syöttöveden sisääntulo on epäkeskossa päädyn keskipisteeseen nähden, jotta vedestä saadaan suodatettua epäpuhtaudet ja puhdistettu vesi kerääntyy keskiputkeen. Tätä putkea kutsutaan permeaatin keräysputkeksi, ja sitä pitkin permeaatti johdetaan jatkokäyttöön. Moduulikalvojen toisella puolella on verkkomaiset välikalvot, joiden avulla veden virtaus saadaan turbulenttiseksi. Turbulenssin vuoksi kalvot eivät likaannu, vaan suurin osa epäpuhtauksista poistuu konsentraatin mukana. (Auvinen & Haverinen 2011, 30.) ATD eli anti-telescoping device liitetään moduulin kumpaankin päähän. ATD:n tarkoitus on pitää elementit sopivalla etäisyydellä toisistaan ja parantaa virtausta elementistä toiseen. (Reverse Osmosis and Nanofiltration 2007, 15.) Spiraalimoduuleja asennetaan paineputken sisälle useampi sarjaan, jolloin ensimmäisen moduulin konsentraatti tulee seuraavan syöttövedeksi ja niin edelleen. Moduulien permeaatin keräysputket on yhdistetty toisiinsa ja näin ollen paineputkesta näkyy yleensä vain yksi permeaatin keräysputki ulospäin. (Manivasakam 2011, 262.)



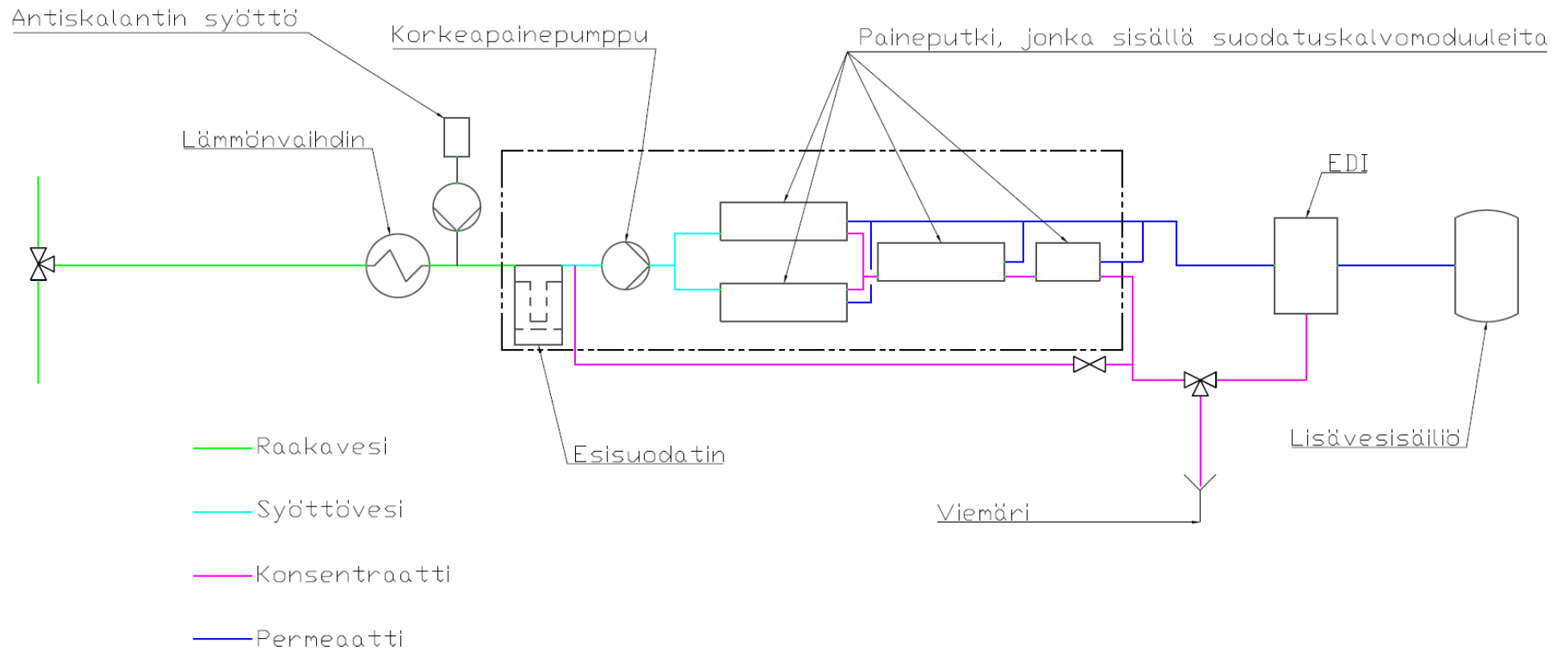
Kuvio 4 Spiraalimoduulin läpileikkaus (Manivasakam 2011, 262, muokattu)

#### 4.1.5 Jälkikäsittely

Jälkikäsittely voi sisältää monia yksikköprosesseja, kuten kaasunpoiston, pH:n säätämisen, korroosionestokemikaalien lisäyksen, fluorauksen ja desinfioinnin. RO-laitteiston onnistuneen suunnittelun kannalta on välttämätöntä tietää raakaveden laatu sekä prosessiveden vaatimukset. Epäpuhtauksien määrä raakavedessä määrittää esi- ja jälkikäsittelyssä käytetyt osaprosessit. (Reverse Osmosis and Nanofiltration 2007, 6–7.) Voimalaitoksilla jälkikäsittely tapahtuu usein sekavaihtimella tai EDI:llä.

Kuviossa 5 on esitetty tyypillinen käänteisosmoosijärjestelmä veden esikäsittelyllä ja elektrodeionisaatio jälkipuhdistuksella. Kuviossa on esitetty vain järjestelmän pääkomponentit. Käänteisosmoosijärjestelmä on neliöity katkoviivalla. Kuvion 5 käänteisosmoosilaitteistossa on ensin kaksi paineputkea, joiden konsentraatti johdetaan yhteen paineputkeen. Tämän paineputken konsentraatti johdetaan vielä yhteen lyhyempään paineputkeen. Järjestelmässä on myös konsentraatin kierrätysmahdollisuus. Kuvion 5 tyyppinen laitteisto tulee käyttöön myös Kumpuniemen Voima Oy:lle.





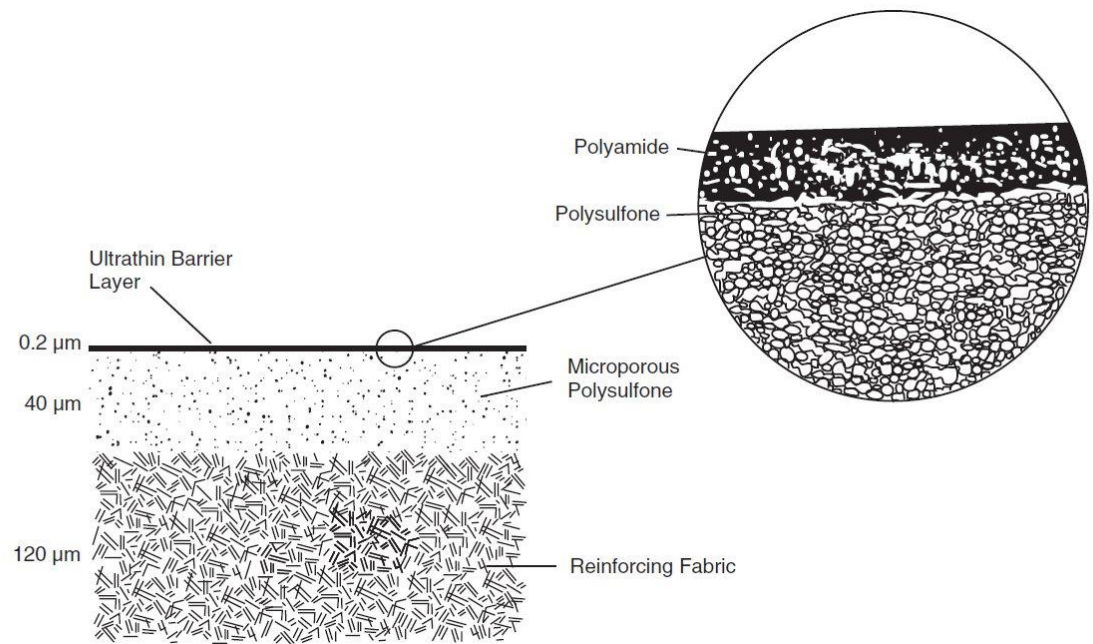
Kuvio 5. Tyypillinen käänteisosmoosijärjestelmä

#### 4.1.6 Kalvotyypit

RO-laitteiston suodatuskalvot ovat yleensä selluloosa-asetaattia (CA, engl. cellulose acetate), aromaattisia polyamideja (PA, engl. polyamide) tai useammasta materiaalista valmistettuja komposiittikalvoja (usein TFC, engl. thin-film composite). CA-kalvot ovat halpoja ja ne kestävät jatkuvaa altistumista kloorille, jota esiintyy usein vesijohdovedessä. (Frayne 2002, 363.) CA-kalvoilla on kuitenkin merkittäviä rajoitteita. Selluloosa-asetatti hydrolysoituu takaisin selluloosaksi ajan myötä, mistä seuraa suolanpoiston heikentyminen. Selluloosa-asetatin hydrolyysiin vaikuttavat veden pH sekä lämpötila. Hydrolyysin nopeus kasvaa lämpötilan kohotessa. Raakaveden pH:n tulee olla 4,5–6,5, jotta kalvon elinikä saadaan maksimoitua. (Reverse Osmosis and Nanofiltration 2007, 13.)

PA-kalvot toimivat pH-alueella 2–12 ilman hydrolyysin syntyä. Lisäksi niiden käyttöikä on pitkä ja ne ovat vastustuskykyisiä kemiallisille ja biologisille hyökkäyksille. Toisin kuin CA-kalvot, PA-kalvot ovat hyvin herkkiä kloorille. Klooripitoisista vesistä tulee poistaa kloori ennen veden syöttöä PA-kalvolle. (Manivasakam 2011, 260; Reverse Osmosis and Nanofiltration 2007, 14.)

Komposiittikalvot koostuvat kahdesta tai kolmesta kerroksesta. Päällimmäinen kerros koostuu hyvin ohuesta kalvosta, joka on valmistettu yleensä jostain polyamidista. Tämä kerros suodattaa tehokkaasti suolat ja pioksidin sekä omaa hyvän kemikaalien kestävyuden. Muiden usein polysulfonista muodostuvien kerrosten tarkoitus on lähinnä tukea ja vahvistaa polyamidikerrosta. Kaiken kaikkiaan komposiittikalvot tarjoavat erinomaisen suolan ja orgaanisen aineen poistokyvyn ja ovat mikrobiologisesti vastustuskykyisiä. Ne toimivat pH-alueella 2–11 ja kestävät lämpöä aina 45 °C asti. TFC-kalvot voidaan myös puhdistaa pH-alueella 1–12 ja niiden suodatusteho pysyy hyvänä useita vuosia. Kalvot ovat kuitenkin herkkiä kloorille ja muille hapettaville vaikuttajille, joten klooripitoinen raakavesi vaatii esikäsittelyssä kloorinpoiston. (Manivasakam 2011, 260-261; Reverse Osmosis and Nanofiltration 2007, 14.) Kuviossa 6 on esitetty tyypillisen TFC-kalvon läpileikkaus. Päällyskerros on 0,2 µm paksu ja valmistettu polyamidista. Sen jälkeen kalvossa on 40 µm paksu polysulfoni-kerros ja lopuksi 120 µm paksu kerros tukevaa verkkoa.



Kuvio 6. Tyypillisen TFC-kalvon läpileikkaus (Reverse Osmosis and Nanofiltration 2007, 14)

#### 4.1.7 Käänteisosmoosin tehokkuuteen vaikuttavat tekijät

Lämpötila vaikuttaa saatavan permeaattivuon määrään. Kun raakaveden lämpötilaa nostetaan, saadaan myös enemmän permeaattia. (Manivasakam 2011, 272.) Veden lämpötilan kasvaessa sen viskositeetti pienenee ja täten permeaattivuon määrä suurenee (Frayne 2002, 365). Raakaveden lämmitys lisää kuitenkin myös suodatuskalvojen läpi pääsevien suolojen määrää (Manivasakam 2011, 272).

Paineen lisäys kasvattaa saatavaa permeaattia ja parantaa lisäksi myös sen laatua eli suolojen erotusta tiettyyn paineeseen saakka (Manivasakam 2011, 272). Paineen lisääminen kuitenkin kasvattaa RO-järjestelmän sähkönkulutusta.

RO:n saantoprosentin kasvaessa ja syöttöpaineen pysyessä vakiona suolat väkevöityvät ja luonnollinen osmoottinen paine kasvaa. Korkein mahdollinen saantoprosentti riippuu syöttövedessä olevien suolojen väkevyydestä ja niiden taipumuksesta saostua suodatuskalvon pinnalle. (Manivasakam 2011, 272-273.)

Lisääntynyt syöttöveden suolapitoisuus vähentää saatavaa permeaattia sekä suolan poistoa. Luonnollinen osmoottinen paine kasvaa ja syöttöpaineen pysyessä vakiona saatavan permeaatin määrä sekä laatu heikentyy. (Manivasakam 2011, 272.) Kaikki edellä mainitut tekijät ja niiden vaikutukset on koottu alla esitettyyn taulukkoon 1.

Taulukko 1. Käänteisosmoosilaitteiston tehokkuuteen vaikuttavat tekijät (Reverse Osmosis and Nanofiltration 2007, 52, muokattu)

Suure	Permeaatin saanto	Suolan poisto
Paineen lisäys	Lisääntyy	Lisääntyy*
Lämpötilan lisäys	Lisääntyy	Vähenee
Saantoprosentin kasvattaminen	Vähenee	Vähenee
Syöttöveden suolapitoisuuden lisäys	Vähenee	Vähenee
*tiettyyn pisteeseen asti		

#### 4.1.8 Kalvojen puhdistus

Suodatuskalvojen pesu on tärkeä osa RO-laitteiston tehokkuutta. Kalvot suositellaan pestäväksi vähintään kerran vuodessa tai kun saannon määrä putoaa 10 % alkuperäisestä, suoloja pääsee 10–15 % enemmän suodatuskalvon lävitse kuin alun perin tai kun paine-ero painemoduulin/kalvon yli nousee 15 %. (Manivasakam 2011, 274–275.)

Mahdollisia pesuliuoskoostumuksia on markkinoilla useita. Kalsiumkarbonaatti- ja rautasaostumien poistoon käytetään usein sitruunahappo-vesiliuosta. Kalsiumsulfaa-  
tin poistoon käytetään usein EDTA:ta ja natriumtripolyfosfaattia ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) veteen laimennettuna. (Manivasakam 2011, 275.) Yleisen orgaanisen likaantumisen poistossa emäksinen puhdistus on todettu tehokkaaksi ja se sisältää yleensä natriumhydroksidia, EDTA:ta ja jotain pinta-aktiivista ainetta, kuten natriumlauryylisulfaattia ( $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$ ) (Frayne 2002, 372). Biologisen kasvuston poistoon käytetään yleensä desinfioivia aineita. Usein käytettäviä aineita ovat formeldehydi ja natriumvetysulfiitti. (Frayne 2002, 372.) Pesuliuosta kierrätetään yleensä noin tunnin verran, minkä jälkeen kalvot huuhdellaan vedellä. Veden mukana epäpuhtaudet ja puhdistuskemikaalit poistuvat viemäriin. (Manivasakam 2011, 275.)

Jotta puhdistus olisi mahdollisimman tehokasta, tulisi selvittää, mikä tekijä aiheuttaa kalvojen likaantumista. Kuten edellä on mainittu, esimerkiksi biologiselle kasvustolle käytetään erilaista puhdistuskemikaalia kuin kalsiumkarbonaatin aiheuttamalle likaantumiselle. Puhdistusliuoksen pH:n tulisi olla 4–10 riippuen poistettavan lian laadusta. Puhdistuskemikaalit tulisi sekoittaa RO:n permeaattiin, koska siitä on poistettu suurin osa raakavedessä olevista epäpuhtauksista. Liuoksen lämpötilan olisi hyvä olla lähellä suodatuskalvojen lämpötilan keston ylärajaa, koska tällöin puhdistus on tehokkaampaa. (Manivasakam 2011, 275.)

Jos käänteisosmoosilaitteisto halutaan poistaa käytöstä, se tulee täyttää esimerkiksi 5-prosenttisella glyseroliliuoksella, joka sisältää 0,5–1,0 painoprosenttia formaldehydiä. Myös 1-prosenttista natriumvetysulfiitti-liuosta voidaan käyttää suodatuskalvojen säilöntään. Suodatuskalvojen tulisi olla kokonaan upoksissa ja kaikkien venttiilien suljettuna. Liuos tulisi vaihtaa kerran kuukaudessa. (Frayne 2002, 372.)

## 4.2 Ioninvaihto

Ioninvaihdossa vesi puhdistetaan ioninvaihtimilla. Vaihtimia voi olla yksi tai useita sarjassa. Vaihtimien määrä riippuu raakaveden laadusta ja syöttöveden laatuvaatimuksista. Ioninvaihtosarjassa voi olla seuraavia vaihtimia:

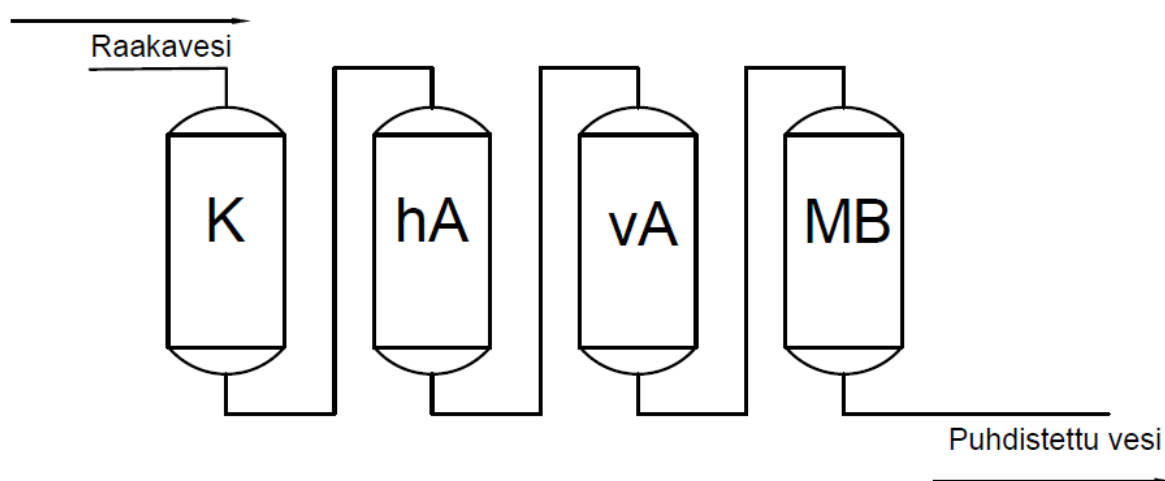
- humussuodatin
- heikko kationinvaihdin
- vahva kationinvaihdin
- heikko anioninvaihdin
- vahva anioninvaihdin
- sekavaihdin. (Huhtinen 2013, 30.)

Kationinvaihdin voi sisältää joko heikkoa tai vahvaa kationinvaihtomassaa, mutta yleensä Suomessa käytetään vain vahvaa kationinvaihtomassaa (Auvinen & Haverinen 2011, 14). Vahvassa kationinvaihtimessa oleva polystyreenipohjainen hartsi-massa vetää puoleensa positiivisesti varautuneita ioneja, jolloin veden metalli-ionit (esim.  $\text{Na}^+$  ja  $\text{Mg}^{2+}$ ) vaihtuvat vetyioneihin ( $\text{H}^+$ ). Vaihdin elvytetään rikki- ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) tai suolahapolla ( $\text{HCl}$ ). (Huhtinen 2013, 30.) Vesi on kationinvaihtimen jälkeen yleensä erittäin hapanta (Korroosiokäsikirja 2004, 294).

Anioninvaihdin vaihtaa vedessä olevat anionit eli epämetallit hydroksyyli-ioneihin ( $\text{OH}^-$ ). Anioninvaihdin elvytetään laimennetulla lipeällä eli natriumhydroksidilla ( $\text{NaOH}$ ). Anioninvaihdin voi sisältää joko vahvaa tai heikkoa anioninvaihtomassaa. (Huhtinen 2013, 30.) Heikkoa anioninvaihdinta käytetään keventämään vahvan anioninvaihtimen kuormaa. Heikko anioninvaihdin sitoo tehokkaasti vapaat mineraalihapot, kuten suolahapon ja rikkihapon. Se ei kuitenkaan poista hiilidioksidia eikä silikaattia. (Kukkonen 2015, 23–24.) Vahva anioninvaihtomassa poistaa kaikki anionit. Yleensä kuitenkin tehokkuuden vuoksi heikolla anioninvaihtimella poistetaan vahvat anionit, minkä jälkeen vesi syötetään vahvaan anioninvaihtimeen, joka sitoo silikaatin ja hiilidioksidin. (Auvinen & Haverinen 2011, 15.)

Sekavaihdin sisältää sekä kationin- että anioninvaihtomassaa, ja sen tarkoituksena on poistaa vedestä kationin- ja anioninvaihtimista läpi päässeet ionit (Huhtinen 2013, 31). Ioninvaihtimien hartsimassat menettävät kapasiteettiaan ajan kuluessa, jolloin elvytysjaksojen pituus kasvaa ja vastaavasti ajojakson pituus lyhenee. Massojen käyttöiät vaihtelevat hartsin mukaan neljästä kymmeneen vuoteen. (Auvinen & Haverinen 2011, 21.)

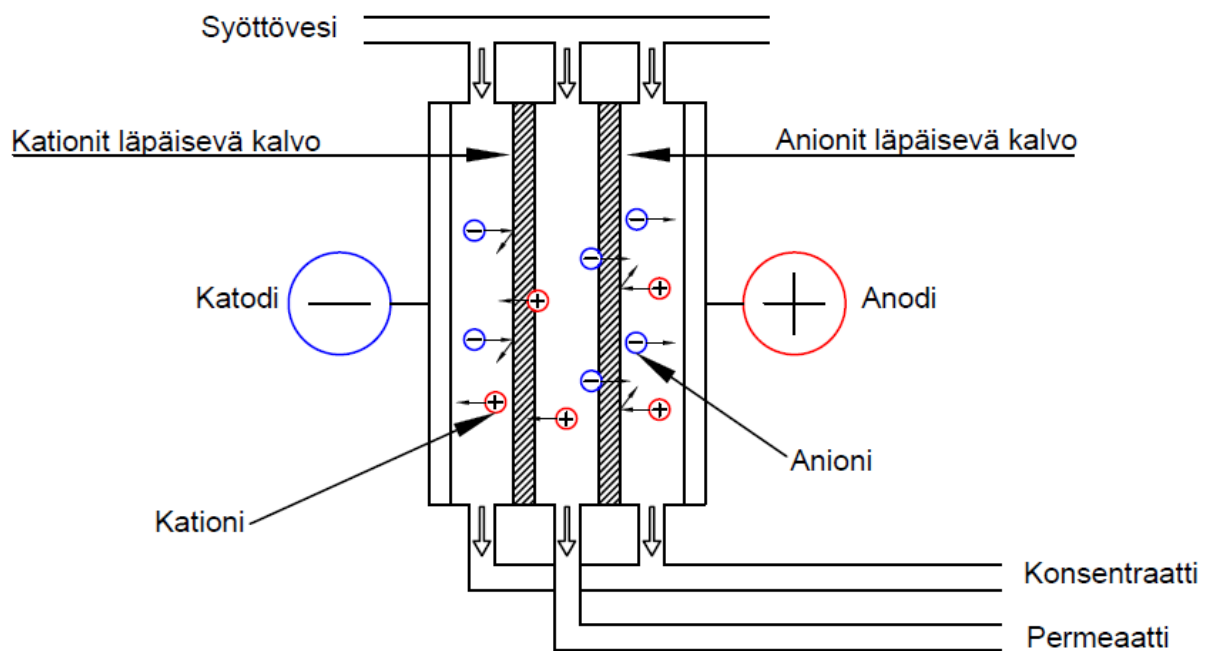
Kuviossa 7 on esitetty ioninvaihdon kaavio, jossa on kationinvaihdin (K), heikko anioninvaihdin (hA), vahva anioninvaihdin (vA) ja sekavaihdin (MB). Nämä vaihtimet sisältävä ioninvaihtosarja on käytössä myös Kumpuniemen Voima Oy:n Pyroflow-kattilalla.



Kuvio 7. Ioninvaihto

### 4.3 Elektrodialyysi

Elektrodialyysi (ED) on kalvosuodatusprosessi, jolla veden suolapitoisuutta saadaan laskettua. Tasasähkön avulla luodaan järjestelmään potentiaaliero. Negatiivisesti varautunut miinusnapa eli katodi vetää puoleensa positiivisesti varautuneita anioneja. Positiivisesti varautunut plusnapa eli anodi taas vetää puoleensa negatiivisesti varautuneita kationeja. Katodin ja anodin välillä on suodatuskalvoja, jotka ovat vuorotellen anionit läpäisevä kalvo ja kationit läpäisevä kalvo. Tämän vuoksi ionit jäävät kalvojen väliin liikkueessaan potentiaalieron vaikutuksesta. (Kaasalainen 2007, 18.) Kuviossa 8 on esitetty kolmisoluisen elektrodialyysin periaate. Kuten kuviosta nähdään, keskimäisestä solusta saadaan permeaatti ja kahdesta uloimmaisesta konsentraatti. Saatavan permeaatin määrä riippuu elektrodialyysilaitteiston solujen määrästä (Frayne 2002, 373).



Kuvio 8. Elektrodialyysi

Elektrodialyysi on varteenotettava vaihtoehto vähän suoloja sisältävän raakaveden suolan poistoon, koska sillä on halvat huolto- ja ylläpitokustannukset ja suodatuskal-

vot kestävät jopa 10 vuotta (Frayne 2002, 373). Elektrodialyysi ei kuitenkaan sovi korkean kalsiumpitoisuuden omaaville vesille kalsiumin saostumisen vuoksi eikä silikaatin poistoon silikaatin heikon sähköisen varauksen vuoksi (Frayne 2002, 373; Kaasalainen 2007, 18–19). EDR eli käänteinen elektrodialyysi on jatkokehitetty versio ED:stä. EDR:ssä vaihdetaan tasavirtalähteen napaisuutta ajoittain. Tällä tavoin voidaan vähentää kalvojen likaantumista ja saostumien syntyä. (Kaasalainen 2007, 19.)

#### 4.4 Elektrodeionisaatio

Elektrodeionisaatio eli EDI on kehitetty versio elektrodialyysistä. Elektrodeionisaatio on muuten hyvin samanlainen prosessi kuin elektrodialyysi, mutta elektrodeionisaatiossa suoloja poistetaan suodatuskalvojen lisäksi myös kationin- ja anioninvaihtohartsilla. Suodatuskalvojen väliin sijoitetaan sekavaihtimen tapaan kationin- ja anioninvaihtohartsia. Tällä tavoin saadaan parempi kokonaissuolanpoisto kuin elektrodialyysissä. Lisäksi hartsien avulla myös silikaatti saadaan poistettua tehokkaasti. Sähkökenttä saa aikaan hydroksyyli- ja vetyioneja, jotka kulkevat sähköisen varauksensa mukaan, hydroksyyli-ionit ( $\text{OH}^-$ ) anodia kohden ja vety-ionit ( $\text{H}^+$ ) katodia kohden. Nämä ionit elvyttävät samalla ioninvaihtohartsia, minkä vuoksi perinteisen ioninvaihdon elvytyskemikaaleja ei tarvita. (Frayne 2002, 374–375; Kaasalainen 2007, 19–20.)

Elektrodeionisaatiota käytetään yleensä käänteisosmoosilla käsitellyn veden jatkopuhdistukseen. Kun käänteisosmoosi ja elektrodeionisaatio yhdistetään, saadaan hyvin puhdasta vettä pienellä kemikaalimäärällä. (Frayne 2002, 375; Kaasalainen 2007, 20.)

### 5 Käänteisosmoosijärjestelmän putkisto

Koska yksi osa opinnäytetyöstä liittyi lisävesiputkiston suunnitteluun ja kartoittamiseen, seuraavaksi on lyhyesti kerrottu yleisimmästä putkistomateriaalista, ruostumattomasta teräksestä, putkistostandardeista sekä putkiosista.



## 5.1 Putkistandardit

Suomessa prosessiteollisuudessa käytetyt putket on yleensä standardisoitu EN- tai ASTM-standardin mukaan. Esimerkiksi ruostumaton teräs AISI 304 on EN-standardin mukaan 1.4301 (Mikä on ruostumaton teräs? N.d., 3). Suomalainen PSK Standardisointi on luonut usealle materiaalille putkiluokkia, joita voidaan käyttää helpottamaan putkiston mitoittamista. Putkiluokassa on määritellyt mitat ja materiaalit samaan putkilinjaan soveltuville putkille ja putkenosille. PSK-putkiluokat perustuvat EN-standardeihin. Putkiluokan valinnassa tulee ottaa huomioon paine, lämpötila, korroosioriski ja putken sisällä virtaava aine. (PSK 4201 2017, 1–2.)

## 5.2 Ruostumaton teräs

Ruostumattomalla teräksellä (RST) tarkoitetaan terästä, joka sisältää vähintään 10,5 % kromia (Cr) ja enintään 1,2 % hiiltä (C) (SFS-EN 10020:2000, 8). Kromin vuoksi teräksen pinnalle muodostuu ohut oksidikalvo, joka suojaa terästä korroosiolta. Kromin määrä ruostumattomassa teräksessä vaihtelee yleensä välillä 11–18 %. (Kyröläinen & Lukkari 2002, 10.) Ruostumattomat teräkset voidaan vielä jaotella austeniittisiin, ferriittisiin ja martensiittisiin ryhmiin. Näistä yleisimmin käytettyjä ovat austeniittiset ruostumattomat teräkset. (Korroosiokäsikirja 2004, 455.) Austeniittiset ruostumattomat teräkset sisältävät kromin lisäksi nikkeliä (Ni) ja molybdeeniä (Mo) korroosionkestävyyden parantamiseksi (Kyröläinen & Lukkari 2002, 15–16).

Austeniittisista teräksistä laajimmin ovat käytössä AISI 304 ja AISI 316. Suurin ero näiden välillä on, että AISI 304 ei sisällä molybdeeniä ja AISI 316 sisältää sitä 2–2,5 % (SFS-EN 10088:2014, 12,16). Molybdeenin lisäyksen myötä teräksestä tulee paremmin korroosiota kestävä ja sitä nimitetään haponkestäväksi (HST). AISI 316:sta ja 304:stä on kehitetty myös versiot, jossa niiden hiilen määrää on vähennetty. Nämä versiot kantavat nimensä perässä L-kirjainta (304L/316L). Hiilipitoisuuden laskeminen pienentää raerajakorroosion mahdollisuutta hitsauksen jälkeen. (Mikä on ruostumaton teräs? N.d., 3) Taulukossa 2 on esitetty yleisimpien ruostumattomien terästen kemiallinen koostumus tarkemmin. ASTM- ja EN-standardin vastaavuus on likimääräinen.

Taulukko 2. Yleisten ruostumattomien terästen koostumuksia (Manninen, Kyröläinen & Taulavuori 2012, 8, muokattu)

ASTM	EN	C (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)
304	1.4301	0,04	18	8	-
304L	1.4307	0,02	18	8,5	-
316	1.4401	0,04	17	10,5	2
316L	1.4404	0,02	17	10,5	2
316L	1.4432	0,02	17	11	2,5

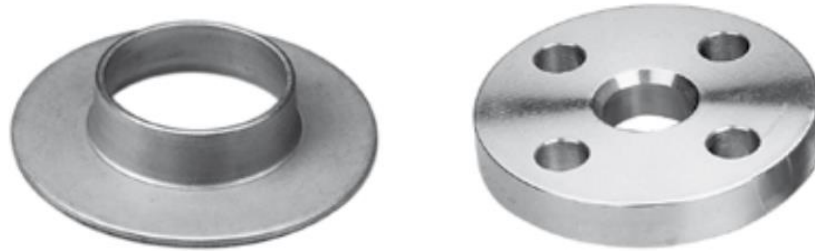
### 5.3 Halkaisija ja seinämän paksuus

Putkistoa suunniteltaessa tulee valita putken materiaalin lisäksi myös putken halkaisija ja seinämän paksuus. Yleensä mitoituksessa käytetään nimelliskokoa eli DN-mittaa. Nimelliskoko kuvaa putkiston osien keskinäistä mittaa. Nimelliskokojen lukuarvot määräytyvät standardin mukaan. Nimelliskoko voi vastata likimain putkiosien sisähalkaisijaa millimetreinä, kuten hiiliteräsputkilla ja ruostumattoman teräksen putkilla. Tarkkuusteräs-, kupari-, PE-, PP- ja PVC-putkilla nimellisarvo on taas putken ulkohalkaisijan suuruinen. Lujitemuoviputkilla DN-mitta on putken sisähalkaisijan suuruinen. (Kesti 1992, 27.) Esimerkiksi DN50 ruostumattomasta teräksestä valmistetun putken ulkohalkaisija on 60,3 mm.

Seinämän paksuus voidaan joko laskea painelaitestandardin mukaan tai se voidaan vaihtoehtoisesti lukea PSK Standardisoinnin määrittämästä standardista halutulle materiaalille ja paineluokalle. Paineluokka määräytyy nimellispaineen (PN) mukaan. Nimellispaine tarkoittaa putkiston osan paineenkestoa eli suurinta sisäistä ylipainetta (bar), jolle osa on tarkoitettu 20 celsiusasteen lämpötilassa. Saman paineluokan osia voidaan käyttää helposti yhdessä, koska paineenkeston lisäksi niiden liitäntämitat ovat samat. (Kesti 1992, 26.)

## 5.4 Putkiosat

Laippaliitoksessa putkien tai laitteiden kiinnityslaipat yhdistetään ruuviliitoksella. Laippaliitos sisältää varsinaisen laipan lisäksi tiivisteen laippojen väliin, ruuvit, mutterit, aluslevyt ja eristeholkit. (Torvinen 2016, 12.) Laippaliitos putken päähän voidaan tehdä kauluslaipalla tai kauluksella ja irtolaipalla (ks. kuvio 9). Myös pelkän levylaipan käyttäminen on mahdollista joissain tapauksissa. Kaikissa tapauksissa liitos putken ja laipan tai kauluksen välillä toteutetaan hitsaamalla. (Perälä 2017, 12.) Laipat ovat hyvin standardisoituja ja niiden lujuuslaskentaa tarvitaan lähinnä tiivisteiden osalta (Kurki n.d.).



Kuvio 9. Kaulus ja Irtolaippa (Ruostumattomat ja haponkestävät putket ja putkiosat n.d., 11,14.)

Putkikäyrien (ks. kuvio 10) avulla putkistoon saadaan tehtyä mutkia. Putkikäyrät määritellään mutkan kääntösäteeseen ja asteluvun mukaan. Yleisimmin käytetyssä putkikäyrässä käännöksen asteluku on  $90^\circ$ . Myös muun asteluvun käyriä on olemassa, mutta usein ne valmistetaan leikkaamalla  $90$  asteen käyrästä. Tavallisin kääntösäde putkikäyrälle on 1,5 kertaa putken ulkohalkaisija. (Perälä 2017, 10.)



Kuvio 10. Putkikäyrä (Ruostumattomat ja haponkestävät putket ja putkiosat n.d., 10.)

Putken haaroittamiseen käytetään t-haaraa tai vaihtoehtoisesti putki voidaan istuttaa toiseen putkeen. T-haara on kuvion 11 mukainen, t-kirjaimen muotoinen putkiosa, jonka avulla putkesta voidaan haaroittaa toinen putki. Putki-istutusta voidaan käyttää, jos putkien halkaisijat ovat erisuuruiset. Tällöin suuremman halkaisijan putken kupeeseen porataan reikä ja pienemmän halkaisijan omaava putki hitsataan siihen kiinni. Samansuuruisien putkien haaroittamisessa käytetään lähes poikkeuksetta t-haaraa, mutta erikokoisten putkien tapauksessa tulee tehdä valinta istutuksen ja t-haaran välillä. (Perälä 2017, 10–11.)



Kuvio 11. T-haara (Ruostumattomat ja haponkestävät putket ja putkiosat n.d., 8)

Supistuskartioiden avulla kaksi halkaisijaltaan erisuuruista putkea voidaan liittää yhteen. Supistuskartioita on sekä keskeisiä että epäkeskeisiä. Ero näiden kahden kartion välillä on nähtävissä selkeästi kuvioista 12. Keskeistä kartiota käytettäessä putkien keskilinjat ovat samalla tasolla, epäkeskeistä kartiota käytettäessä vain joko ylä- tai alapinnat ovat samalla tasolla. Keskeiset supistuskartiot ovat edullisempia, mutta epäkeskeisiä kartioita joudutaan usein käyttämään vaakatasossa kulkevissa putkissa taskupaikkojen muodostumisen vuoksi. Näiden taskujen vuoksi putkistoa ei välttämättä saada tyhjennettyä täysin. (Perälä 2017, 11.)



Kuvio 12. Keskeinen ja epäkeskeinen kartio (Ruostumattomat ja haponkestävät putket ja putkiosat n.d., 11)

## 6 Nykytilan kartoitus

### 6.1 Pyroflow-kattilan vedenkäsittely

Kumpuniemen Voima Oy:n raakavesi otetaan Äänekosken kaupungin vesijohtoverkostosta. Vesi on huomattavasti suolattomampaa ja vähemmän epäpuhtauksia sisältävää kuin monella voimalaitoksella raakavetenä käytettävä pintavesi. Äänekosken kaupungin veden pH on keskimäärin 7,8, kovuus 0,90 mmol/l ja sähkönjohtokyky 227  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (ks. taulukko 3).

Taulukko 3. Vesijohtoveden laatu Äänekoskella (Vedenlaadun testausseloste 2017)

	Kovuus, mmol/l	Sähkönjohto- kyky, $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH-arvo	Rauta, mg/l
Asemakatu	1,1	260	7,7	<0,0025
Telakkakatu	0,82	210	7,7	0,0195
Tervatie	0,79	210	7,9	0,0069
<b>Keskiarvo</b>	<b>0,90</b>	<b>227</b>	<b>7,8</b>	<b>0,013</b>

Pyroflow-kattilan vedenkäsittely tapahtuu ennen käänteisosmoosijärjestelmän käyttöönottoa seuraavasti. Raakavesi otetaan kaupungin vesijohtoverkosta, ja se johdetaan kaukolämpötoimisen esilämmittimen kautta ioninvaihtoon. Ioninvaihtojärjestelmässä on kaksi sarjaa (A ja B), jotka koostuvat kationin-, heikon anionin- ja vahvan anionin vaihtimista. A-sarjan ollessa ajossa B-sarja voidaan elvyttää ja toisin päin. Kationinvaihtosarja elvytetään suolahapolla ja anioninvaihtosarjat natriumhydroksidilla eli lipeällä. Ioninvaihdon jälkeen vesi johdetaan vielä sekavaihtimelle. Puhdistettu vesi pumpataan lisävesisäiliöön, mistä sitä annostellaan tarpeen mukaan syöttövesisäiliöön.

Syöttövesisäiliön yhteydessä on terminen kaasunpoistin, jonka avulla hapen ja muiden liuenneiden kaasujen määrää syöttövedessä saadaan vähennettyä. Lisäksi syöttövesisäiliöön pumpataan Boilex 510A- ja Drewphos 3333 -kemikaaleja. Boilex 510A poistaa jäännöshappea syöttövedestä sekä nostaa veden pH:ta. Drewphos on fosfaattipohjainen kemikaali, ja sitä käytetään kattilaveden pH-arvon nostamiseen.

Vedenlaatua seurataan ottamalla ylös ioninvaihtosarjojen sähkönjohtokyky kolme kertaa vuorokaudessa ja vesinäytteiden otolla kattila-, syöttö- ja lauhdevedestä sekä höyrystä kolme kertaa viikossa. Vesinäytteet analysoidaan laboratoriossa, ja niistä mitataan pH-arvo, silikaattipitoisuus, Boilex-ylijäämä, fosfaattipitoisuus, kovuus, sähkönjohtokyky ja raudan sekä hapen määrä. Osa mittauksista otetaan kerran viikossa, mutta tärkeimmät mittaukset tehdään kolme kertaa viikossa. Analyysien perusteella voidaan muuttaa kemikaalien annostelua ja säätää lieriön ulospuhalluksen määrää. Taulukossa 4 on esitetty Pyroflow-kattilan vedenlaadun ohjearvot.

Taulukko 4. Pyroflow-kattilan vedenlaadun ohjearvot (Voimalaitoksen vesianalyysit, 1999)

	Kovuus, mmol/l	Sähkönjohto- kyky, $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH-arvo	Boilex, $\mu\text{g}/\text{l}$	Fosfaatti, $\text{mg}/\text{l}$	Rauta, $\text{mg}/\text{l}$	Silikaatti, $\text{mg}/\text{l}$
Lisävesi	0,04	5	>5,5	-	-	0,05	0,02
Syöttövesi	0,04	<10	8,5-9,5	5,0-50,0	-	0,05	0,02
Kattilavesi	0,1	100	9,0-10,0	-	2,0-6,0	<1	<7
Tulistettu höyry	-	10	9,0-9,5	-	-	<0,02	<0,02
Lauhde- vesi	0,04	100	8,5-9,5	-	-	0,05	0,02

## 6.2 Kumpuniemen Voima Oy:n RO-laitteisto

Kumpuniemen Voima Oy:lle hankittu raakavedenpuhdistuslaitteisto koostuu käänteisosmoosi- ja elektrodeionisaatio-laitteista (RO+EDI). RO-laitteisto on ProMinentin valmistama ProMaqua Dulcosmose, jonka permeaatin tuotto on  $11 \text{ m}^3/\text{h}$ . Kalvo-suodatuksen jälkeen vesi johdetaan EDI-laitteistolle, jolla veden suolapitoisuutta saadaan laskettua entisestään. EDI-laitteiston permeaatin tuotto on noin  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ . RO-laitteisto koostuu 15 kW korkeapainepumpusta, putkistosta, venttiileistä, paineputkista ja niiden sisällä olevista spiraalikalvomoduuleista sekä instrumentoinnista. Lisäksi laitteistossa on CIP-puhdistus (Clean-in-place), joka koostuu pesusäiliöstä, putkistosta ja pesupumpusta. Pesupumpun avulla pesukemikaaleja voidaan kierrättää suodatuskalvojen lävitse silloin, kun laitteisto on pidemmän aikaa pois käytöstä.

Kuviossa 13 on Kumpuniemen Voima Oy:n käänteisosmoosilaitteisto. Etualalla näkyvät korkeapainepumppu ja vihertävät paineputket, taka-alalla ovat siniset esisuodatimet ja pesusäiliö.



Kuvio 13. Kumpuniemen Voima Oy:n RO-laitteisto

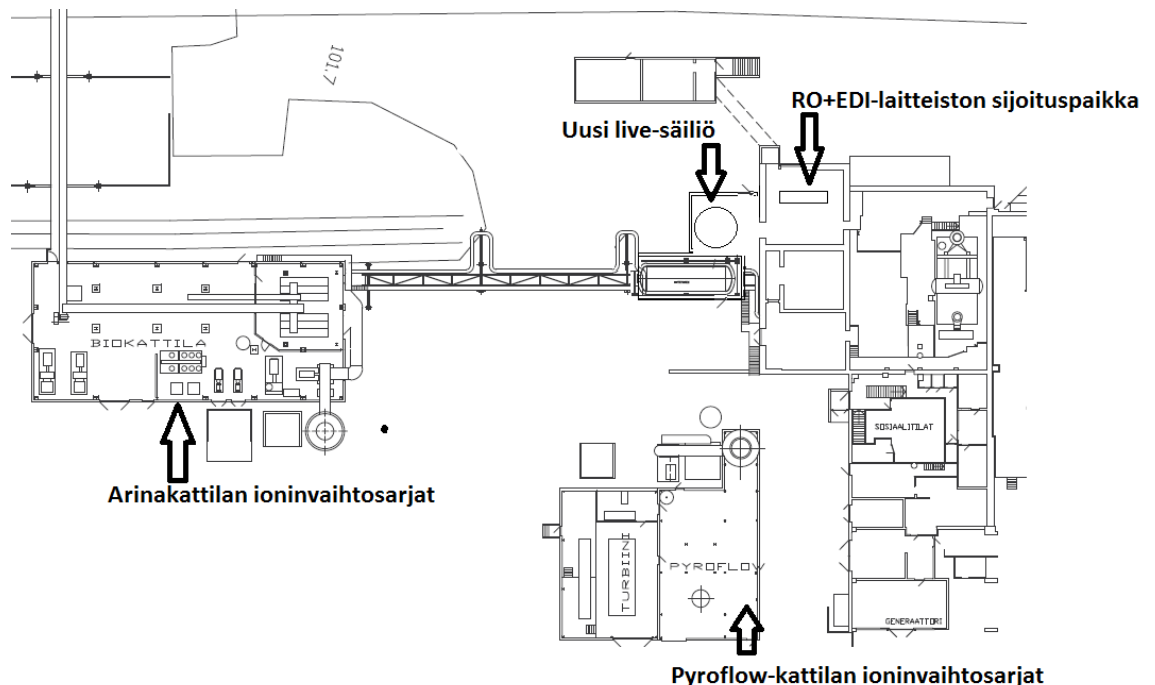
RO-laitteistossa on kolmivaiheinen kalvosuodatus: Ensin syöttövesi johdetaan kah-  
teen rinnakkaiseen paineputkeen, joista saadaan permeaatti ja konsentraatti. Tämä  
konsentraatti johdetaan yhteen paineputkeen, josta saadaan taas sekä konsentraatti  
että permeaatti. Konsentraatti johdetaan vielä yhteen lyhyempään paineputkeen,  
josta saadaan konsentraatti ja permeaatti. Konsentraatti johdetaan viemäriin tai osa  
siitä voidaan kierrättää uudelleen kalvosuodatuksen läpi. Jokaisen vaiheen permea-  
nergiaatit kootaan yhteen ja johdetaan EDI-laitteistolle jatkokäsittelyyn. RO+EDI-  
laitteiston permeaatti pumpataan 50 m<sup>3</sup> lasikuidusta valmistettuun lisävesisäiliöön,  
josta sitä annostellaan tarpeen mukaan kattiloiden lisävesisäiliöihin. Käänteisosmoos-  
isuodatusta ajetaan "on/off"-tyyppisesti eli permeaattia joko tuotetaan tai ei tuo-  
teta. Kumpuniemen Voima Oy:n lisäveden kulutus on noin 100 m<sup>3</sup>/vrk ja permeaatin



tuotantokapasiteetti on 10 m<sup>3</sup>/h eli 240 m<sup>3</sup>/vrk. Tästä syystä lisävettä joudutaan tuottamaan pätkittäin.

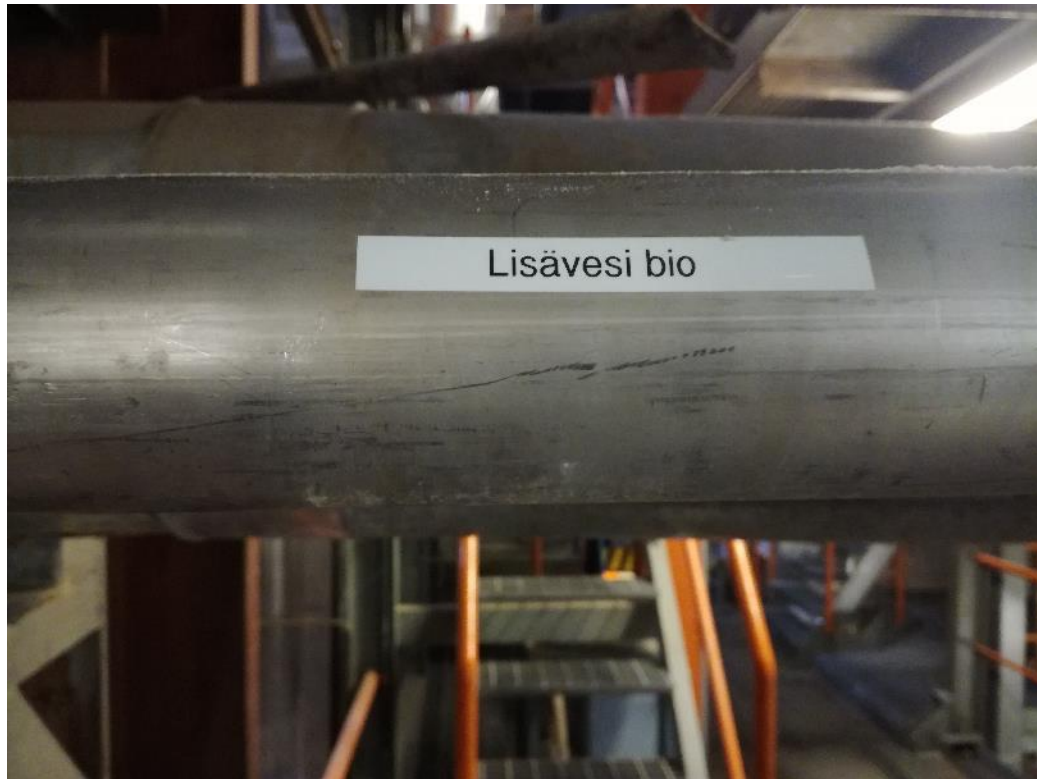
### 6.2.1 Putkistokartoitus

Käänteisosmoosijärjestelmää ei sijoiteta Pyroflow-kattilahuoneeseen, vaan se tulee öljykattilan lähelle vanhaan lauhdesäiliöhuoneeseen. Tämän vuoksi RO+EDI-laitteiston permeaatille on pystytettävä oma säiliö, josta puhdistettua vettä pumpataan Pyroflow-kattilan lisävesisäiliöön. Myös arinakattilan lisävesisäiliöön pumppaus tehdään mahdolliseksi, vaikka arinakattilalle jääkin ioninvaihtosarja raakaveden puhdistukseen. Pyroflow- ja arinakattiloilta on vedetty aikoinaan lisävesiputket öljysäiliön kattilahuoneeseen, koska öljykattilan lisävesi tuotetaan Pyroflow- tai arinakattilan ioninvaihtosarjoilla. Kyseisiä putkia voidaan käyttää käänteisosmoosilla tuotetun lisäveden pumppaukseen kattiloiden lisävesisäiliöihin. Kuviossa 14 on esitetty Kumpuniemen Voima Oy:n ioninvaihtosarjojen, uuden lisävesisäiliön sekä RO+EDI-laitteiston paikat.



Kuvio 14. Kumpuniemen Voima Oy:n layout

Opinnäytetyön yhtenä osana selvitettiin putkistojen kulku sekä pohdittiin liityntäpisteitä näihin putkiin. Lisävesiputket selvitettiin seuraamalla niitä ja merkittiin selkeästi useammasta kohdasta kuvion 15 mukaisesti tarroilla.



Kuvio 15. Biokattilan (arinakattila) lisävesiputki merkittynä tarralla

### 6.2.2 Laitteiston sijoittelu

Käänteisosmoosilaitteisto tuli sijoittaa järkevästi vanhaan lauhdesäiliöhuoneeseen. Laitteiston kummassakin päässä tuli olla metrin verran tilaa suodatuskalvojen vaihtamista varten. Lisäksi EDI-laitteiston tuli mahtua toiselle puolen RO-laitteistoa ja laitteiston ympärillä tuli olla riittävästi tilaa liikkumista varten.

RO+EDI-laitteisto oli jo aiemmin siirretty vanhaan lauhdesäiliöhuoneeseen. Laitteisto siirrettiin nostotaljoja ja pumppukärkyjä käyttäen oikealle paikalleen. Kuten kuviosta 16 nähdään, paineputkien kohdalla on molemmin puolin vähintään metrin verran tilaa suodatuskalvojen vaihtamista varten.



Kuvio 16. RO+EDI-laitteisto sijoitettuna paikalleen

### 6.2.3 RO+EDI-laitteiston säilöntä

Kumpuniemen Voima Oy:n RO+EDI-laitteisto täytetään ennen laitteiston käyttöönottoa ionivaihdetulla vedellä laitteiston ollessa käyttämättömänä. Säilönnässä ei käytetä esimerkiksi käyttöohjekirjassa suositeltua natriumvetysulfiittia sekoitettuna suolapoistettuun veteen, koska RO-laitteisto hankittiin käytettynä ja se oli ollut jonkin aikaa säilötyinä kuivana. Tässä tilanteessa säilöntäkemikaalien ja suolapoistetun veden sekoituksella ei saavuteta merkittävää etua verrattuna pelkkään suolapoistettuun veteen.

Ionivaihdettua vettä saadaan öljykattilan lisävedestä. EDI jouduttiin tyhjentämään säilöntävedestä nostamisen ajaksi, joten se jouduttiin täyttämään uudestaan lisävedellä. RO-laitteiston säilöntävetä ei tarvinnut tyhjentää laitteiston siirtoa varten. Suodatuskalvojen lävitse laskettiin kuitenkin ionivaihdettua vettä verkoston paineella ja venttiilit asetettiin siten, että ylimääräinen vesi täyttää pesusäiliön. Tällöin huomattiin, että pesusäiliössä oleva vesi oli likaista. Tämän vuoksi päätettiin kierrättää ionivaihdettua vettä suodatuskalvojen läpi, kunnes säiliössä oleva vesi olisi puhtaam-

paa. Pesusäiliön tyhjennysventtiili avattiin ja säiliö tyhjennettiin ensin kanaaliin. Tämän jälkeen RO-laitteiston suodatuskalvojen lävitse laskettiin ionivaihdettua vettä sitten, että pesusäiliön tyhjennysventtiili pidettiin kuitenkin auki. Tällä tavoin RO-laitteiston putkista ja suodatuskalvoista irtoava lika saatiin johdettua kanaaliin. Tätä jatkettiin noin tunnin verran, minkä seurauksena vesi oli huomattavasti puhtaampaa. Lopuksi tyhjennysventtiili laitettiin kiinni ja pesusäiliön annettiin täyttyä ionivaihdetulla vedellä.

### 6.3 Tutustumiskäynnit

Tutustumiskäynnit tehtiin Mäntän Energia Oy:lle ja Vilppulan sahan voimalaitokselle. Kummallakin voimalaitoksella on käytössä käänteisosmoosijärjestelmä. Mäntän Energia Oy:n järjestelmä on lähempänä Kumpuniemen Voima Oy:lle tulevaa järjestelmää, joten sitä on tässä työssä käsitelty enemmän kuin Vilppulan sahan voimalaitoksen RO-järjestelmää.

#### 6.3.1 Mäntän Energia Oy

Mäntän Energia Oy on Metsä Tissue Oyj:n ja Mäntän Kaukolämmön Oy:n omistama osakeyhtiö, joka tuottaa prosessihöyryä ja sähköä Mäntän Metsä Tissue paperitehtaalle. Mäntän Energia Oy:llä otettiin hiljattain käyttöön raakaveden puhdistusjärjestelmä, joka koostuu RO+EDI-laitteistoista. Laitteistoon käytiin tutustumassa opinnäytetyön tekemisen alussa, ja siitä saatiin kattava tietopaketti, jota voitiin käyttää apuna opinnäytetyön tekemisessä.

Mäntän Energian raakaveden puhdistus tapahtuu seuraavasti. Raakavesi otetaan järvestä, ja se hiekkasuodatetaan ja kirkastetaan. Tämän jälkeen raakaveteen syötetään kemikaaleja käänteisosmoosijärjestelmän kalvojen tukkeutumisen estämiseksi ja paremman suolanpoiston aikaansaamiseksi. Käytettäviä kemikaaleja ovat natriumvetysulfiitti eli SBS (kloorin poistamiseen), antiskalantti (suodatuskalvojen kalkkeutumisen estämiseen), ei-hapettava biosidi (biofilimin syntymisen estämiseen suodatuskal-

von pintaan) ja natriumhydroksidi (pH-arvon korjaamiseen). Kemikaalien syötön jälkeen vesi suodatetaan patruunasuodattimilla ennen sen pääsemistä käänteisosmoosisuodatukseen.

Varsinainen RO-järjestelmä koostuu kahdesta samanlaisesta RO-yksiköstä, jotka ovat toistensa peilikuvia. Kun toinen yksikkö on tuotannossa, toinen on valmiustilassa. Kumpikin RO-yksikkö sisältää kuusi paineputkea ja jokaisen paineputken sisällä on kuusi suodatuskalvoa. Suodatuskalvot ovat spiraalimoduulin sisällä ja tyypiltään TFC-kalvoja. RO-yksiköiden suodatuskalvojen puhdistaminen tapahtuu yksiköiden yhteisellä CIP-laitteistolla.

Käänteisosmoosisuodatuksen jälkeen vesi johdetaan kahden rinnakkain asennetun EDI:n lävitse ja edelleen sinkkipinnoitetusta teräslevystä valmistettuun 300 m<sup>3</sup> varastosäiliöön.

### 6.3.2 Vilppulan sahan voimalaitos

Vilppulan sahan voimalaitos tuottaa energiaa Vilppulan sahalle, Vapon pellettitehtaalle ja lähialueen kaukolämpöverkon tarpeisiin.

Vilppulan sahan voimalaitoksella raakavesi otetaan kaupungin verkosta, ja esikäsitellyssä veden kovuutta poistetaan pehmennyssuodattimen avulla. Tämän jälkeen vesi suodatetaan käänteisosmoosijärjestelmällä ja lopuksi johdetaan vielä sekavaihtimen lävitse lisävesisäiliöön.

## 7 Tulokset

### 7.1 Käyttöönottosuunnitelma

Toimeksiantajalle laadittiin käyttöönottosuunnitelma, jossa perehdyttiin tarvittaviin asioihin RO-laitteiston käyttöönottamiseksi. Tärkeimmät kohdat on esitetty alla luetelossa:

- Lisävesiputkiston suunnittelu

- Suodatuskalvojen pesuprosessi
- Oheislaitteiden sijoittelu
- Suodatuskalvojen valinta
- Käytettävät kemikaalit ( $\text{NaHCO}_3/\text{NaOH}$ /anti-skalanntti/ei-hapettava biosidi)
- Kemikaalien annostelumäärät.

Käyttöönottosuunnitelma painottuu lisävesiputkiston suunniteluun ja suodatuskalvojen pesun optimointiin.

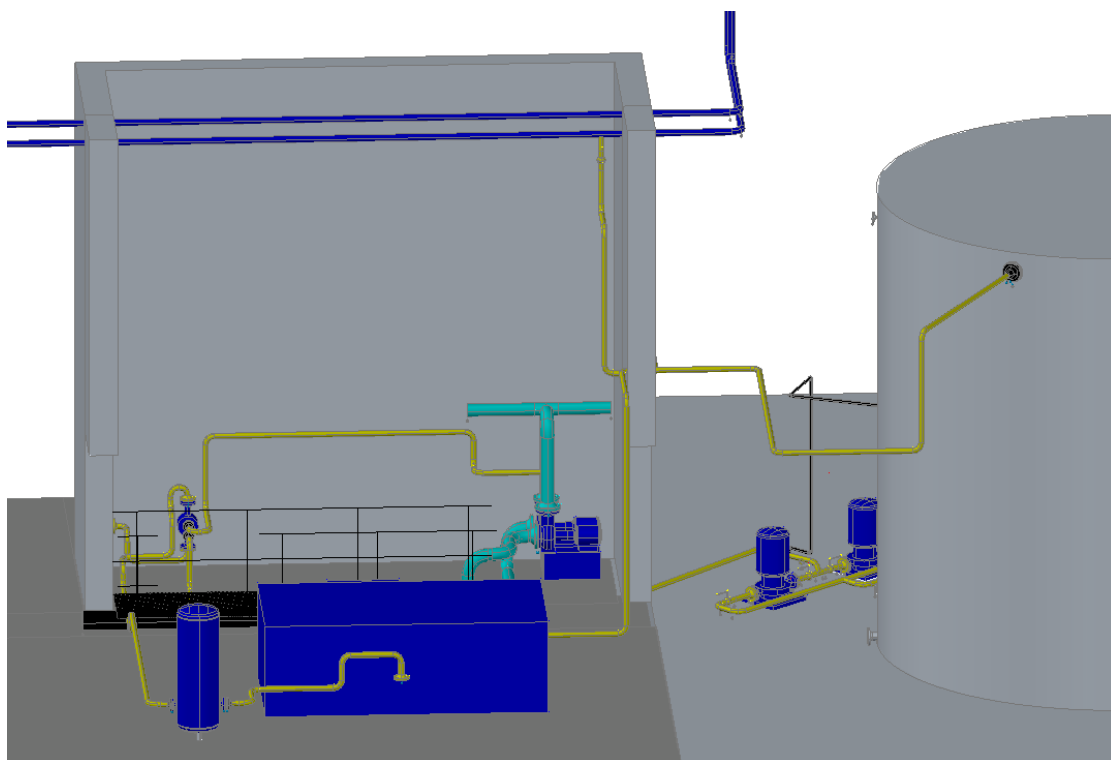
### 7.1.1 Lisävesiputkistosuunnittelu

Opinnäytetyössä tehtiin myös osaluettelo tarvittavista putkiosista RO+EDI-laitteiston liittämiseksi lisävesikiertoon. Koska lisävesisäiliö (live-säiliö), johon EDI:n permeaatti pumpataan, oli ollut pitkään pois käytöstä, sen piirustuksia ei ollut tallella. Tämän vuoksi live-säiliön yhteet mitattiin ja niiden perusteella piirrettiin kuva. Samalla mietittiin myös yhteiden kytkennät. Kuva luonnosteltiin paikan päällä paperille ja piirrettiin myöhemmin puhtaaksi tietokoneella AutoCAD-ohjelmalla (ks. liite 2). Tarvittavat kytkennät live-säiliöön olivat live-pumppujen imu, live-pumppujen minimivirtaus, vesilasi, tulovesi EDI:ltä ja tyhjennys. Pumppujen imuyhde päätettiin sijoittaa säiliön alaosaan, koska lisävesipumppujen peti valetaan lattiatasolle, joten kytkentä pumpuilta yhteeseen voidaan tehdä mahdollisimman vähällä putkimateriaalilla. Lisäksi yhteen halkaisija oli riittävän suuri tarvittavan tilavuusvirran saamiseksi. Vesilasin yhteiksi valittiin kaksi pystysuunnassa samalla akselilla sijaitsevaa yhdettä. EDI:ltä tulevan permeaatin yhteeksi valittiin säiliön yläosassa oleva yhde, koska yhde oli lähellä seinän läpivientiä, josta EDI:ltä tuleva permeaattiputki tuodaan live-säiliön huoneeseen. Tyhjennysyhteeksi valikoitui luonnollisesti säiliön alin yhde, jotta säiliö saadaan tarvittaessa mahdollisimman tyhjäksi. Minimikierron yhteeksi tuli lähellä pumppuja sijaitseva yhde. Muihin yhteisiin suunniteltiin kiinnitettäväksi umpilaipat.

Osaluettelon tuli kattaa tarvittavat putkiosat, kuten laipat ja putkikäyrät, kaupungin veden liityntäputkesta aina kattiloiden live-linjan liityntään asti. Osaluettelon tekoa varten mallinnettiin AutoCAD Plant 3D -ohjelmalla suurpiirteiset mallit komponenteista. Komponentit asetettiin oikeille paikoilleen ja niiden välille piirrettiin putkilin-

jat, jotta tarvittavien putkimutkien, laippojen, supistuskartioiden ja muiden putkiosien laskenta helpottuisi. Myös lisävesipumppujen kytkentä tuli selvittää, jotta tarvittavat putkiosat pumppujen liityntään live-säiliön ja kattiloiden live-linjan välille saatiin laskettua. Pumppujen kytkentä piirrettiin toimeksiantajan suosituksen mukaisesti samalla periaatteella kuin kaukolämmön lisävesipumppujen kytkentä.

Yleiskuva piirretystä putkistosta ja laitteistosijoittelusta on esitetty kuviossa 17, jossa uudet lisävesiputket on esitetty keltaisella värillä ja pumppujen minimikierron putki mustalla. Tarkemmat kuvat ovat liitteissä 9–11.



Kuvio 17. Lisävesiputkiston suunnittelukuva

Toimeksiantajan ohjeen mukaisesti osat valittiin käyttäen mitoituskokoa DN50. Käänteisosmoosijärjestelmän lisävesiputkimateriaalina tulee käyttää ruostumatonta terästä sen korroosionkesto-ominaisuuksien vuoksi. Mahdollisia materiaaleja olivat ruostumaton teräs AISI 304 (1.4301/1.4307) ja ruostumaton haponkestävä teräs AISI 316L (1.4044/1.4432). Materiaalien hintaeroja vertailtiin, ja niistä tehtiin vertailutaulukko (ks. liite 4). Toimeksiantajalle suositeltu materiaali oli haponkestävä AISI 316L (1.4404/1.4432) sen parempien korroosion- että haponkesto-ominaisuuksien vuoksi.

Myös Kumpuniemen Voima Oy:n kaukolämmön lisävesikierto oli toteutettu käyttäen materiaalina 1.4432:ta. Materiaalien eroista on kerrottu enemmän kappaleessa 5.2.

Putkiston seinämäpaksuuden määrittämisessä käytettiin apuna PSK 4240 -standardia, joka on tarkoitettu käytettäväksi paineluokan 16 ruostumattomalle haponkestävälle teräkselle 1.4432. Tätä standardia voidaan käyttää myös materiaalille 1.4044, kun otetaan huomioon materiaalin 1.4044 huonompi korroosionestokyky tietyillä aineilla. Tämän standardin mukaan putken seinämäpaksuuden tulisi olla 1,6 mm ja putkikäyrien, -laippojen sekä -kartioiden seinämäpaksuus 2 mm. Usein saatetaan kuitenkin käyttää putkistossa samaa seinämäpaksuutta kuin muissa putkiosissa, mikä helpottaa putkiston hitsaamista, kun putkiosien seinämiä ei tarvitse viistää hitsausta varten. Standardissa ohjeistetaan käyttämään koneistettuja laippoja. Puristetut laipat ovat kuitenkin huomattavasti halvempia kuin koneistetut, joten virtaavan aineen vaarattomuuden vuoksi päädyttiin puristettuihin laippoihin. Varsinaisten putkiosien lisäksi hitsattavia DN 15 -kokoluokan nippoja tilattiin toimilaitteiden, kuten lämpötilanturin liitää varten. Osaluettelo on esitetty liitteessä 3.

### 7.1.2 Suodatuskalvojen puhdistus

Käänteisosmoosilaitteiston suodatuskalvoja on puhdistettava säännöllisin väliajoin sekä permeaatin sähkönjohtokyvyn noustessa ja tuotantomäärän laskiessa. RO-laitteiston käyttöohjekirjassa oli ohjeet neljän erilaisen pesu-/säilöntäliuoksen valmistamiseen ja ohjelman suorittamiseen. Ohjeet olivat kuitenkin yleispätevät eri kokoisille Prominentin valmistamille RO-laitteistolle. Tarkoituksena oli näiden ohjeiden perusteella luoda Kumpuniemen Voima Oy:llä käytössä olevalle käänteisosmoosilaitteistolle pesuliuostaulukko ja ohjeet pesujen suorittamiseen.

Yksi eroavaisuus käyttöohjeissa mainittuihin pesuainekoostumuksiin oli kemikaaliliuosten väkevyydessä. Pesuaineiden komponenttina on useassa pesussa suolahappoa ja natriumhydroksidia. Kumpuniemen Voima Oy:llä on ennestään käytössä 32-prosenttista suolahappoa ja 50-prosenttista natriumhydroksidia ioninvaihtosarjojen elvytystä varten. Käyttöohjekirjassa pesuliuosten ohjeet olivat 30-prosenttiselle suola-



hapolle ja 30-prosenttiselle natriumhydroksidille, minkä perusteella laskettiin vastaavat pitoisuudet ennestään käytössä olevalle natriumhydroksidipitoisuudelle. Suolahaapon pitoisuuden arvioitiin olevan tarpeeksi lähellä ohjetta. Käyttöohjekirjassa kemikaalien määrät olivat joko litroina, millilitroina tai kilogrammoina. Kaikki määrät muutettiin litroiksi lukuun ottamatta 100-prosenttisen natriumdodesulfaatin (natriumlauriylisulfaatti) määrää, koska se esiintyy huoneenlämmössä kiinteänä. Muunnoslaskut on esitetty alla:

Lasketaan, kuinka paljon tarvitaan 50-prosenttista natriumhydroksidia, jos 30-prosenttista natriumhydroksidia tarvitaan 2,5 litraa:

$$x \cdot 0,50 = 0,30 \cdot 2,5l, \text{ josta } x = \frac{0,30 \cdot 2,5l}{0,50} = 1,5l$$

Lasketaan, kuinka paljon 50-prosenttista natriumhydroksidia tarvitaan litroina, jos 30-prosenttista natriumhydroksidia tarvitaan 6,2 kilogrammaa. 30-prosenttisen natriumhydroksidin tiheys on 1,3311 kg/dm<sup>3</sup>.

$$\frac{6,2kg}{1,3311 \frac{kg}{dm^3}} = 4,657l \quad x \cdot 0,50 = 0,30 \cdot 4,657l, \text{ josta } x = \frac{0,30 \cdot 4,657l}{0,50} = 2,79l$$

Näiden laskujen avulla laadittiin taulukot pesukemikaalien valmistusta varten (liitteet 5 ja 6). Säilöntä- ja desinfiointitaulukot on laadittu suoraan käyttöohjekirjan perusteella, katsomalla RO-laitteiston pesusäiliön koon mukaan oikea kemikaalimäärä (liitteet 7 ja 8). Liitteessä 13 on esitetty pesuohjeet hapanpesun suorittamiseen. Emäspesun suorittaminen onnistuu samoilla ohjeilla, mutta vaiheissa 3. ja 10. käytettävät kemikaalit katsotaan emäspesun taulukosta. Emäspesussa pH-arvon tulisi olla noin 11 ja lämpötila ei saisi ylittää 35 °C.

Suodatuskalvojen peseytyminen tapahtuu tehokkaimmin huuhteluveden ollessa lämmintä. Paras huuhtelutulos saadaan, kun liuoksen lämpötila on mahdollisimman lähellä suodatuskalvojen lämpötilankeston ylärajaa eli TFC-kalvoilla (todennäköisin vaihtoehto suodatuskalvojen tyypille) noin 45 °C. Tätä varten lämmönvaihtimelta lähtevän raakaveden lämpötila tulisi nostaa pesun ajaksi lähelle 45°C:ta.

Mäntän Energia Oy:n dokumenteissa on ennaltaehkäisevässä hapanpesussa esitetty käytettäväksi sitruunahappoa (Toimintaselustus: Teollisuuden vedenkäsittelylaitos Mäntän Energia Oy 2017). Sitruunahappo on suolahappoa vaarattomampaa terveydelle. Suolahappo (37-prosenttinen liuos) on määritelty ihoa syövyttäväksi kemikaaliksi, kun taas sitruunahappo on määritelty ihoa ärsyttäväksi kemikaaliksi (Suolahappo 2010; Sitruunahappo 2010). Suolahapon korvaamisen mahdollisuutta onkin pohdittu enemmän tämän työn pohdintaosiossa.

### 7.1.3 Oheislaitteiden vertailu ja sijoittelu

Kaupungin vesijohtoverkosta otettavan raakaveden lämpötila on noin 5 °C ja sitä tulisi lämmittää 20–25 celsiusasteeseen ennen syöttöä käänteisosmoosilaitteistolle. Raakaveden lämmittäminen parantaa RO-laitteiston permeaatin saantoa. Lämpötila ei saa olla kuitenkaan liian korkea, koska tällöin suolanpoisto vähenee ja kalvot saattavat kärsiä kuumuudesta. Lämmittäminen toteutetaan lauhteella, koska RO+EDI-laitteiston viereisessä huoneessa sijaitsee lauhdesäiliö. Lauhteen lämpötila on yleensä 120–130 °C ja maksimissaan 160 °C.

Toimeksiantaja valitsi lämmönvaihtimeksi Vahteruksen Plate&Shell-tyyppisen vaihtimen. Lämmönvaihdin on mitoitettu lämmittämään 5 °C raakavettä 25 celsiusasteeseen 3,9 kg/s massavirralla, lauhteen lämpötilan ollessa 120 °C ja massavirran 2,2 kg/s. Opinnäytetyön tekijän tehtävänä oli tarkastaa lämmönvaihtimen tiedot. Tarkastuksessa huomioitiin, että lämmönvaihdin oli suunniteltu RO+EDI-laitteiston vaatimalle raakaveden lämpötilalle ja massavirralle. Myös lauhdepuolen mitoituksessa käytetty massavirta ja lämpötila tarkastettiin. Lisäksi tarkastettiin, että lämmönvaihtimen yhteiden koot ja käytetyt materiaalit olivat soveltuvia kyseiseen käyttötarkoitukseen.

Lisävesipumppujen kytkentä toteutetaan rinnan kytkentänä kaksinkertaisella redundanssilla. Eli toisin sanoen toinen pumppu on ajossa ja toinen varalla. Lisävesipumppuiksi toimeksiantaja oli kaavaillut KSB:n korkeapainepumppuja, joiden tilavuusvirta

olisi 12,43 m<sup>3</sup>/h ja nostokorkeus 25,54 m. Opinnäytetyön tekijän tehtävänä oli pohdita, olisivatko näillä mitoitustiedoilla tilattavat pumpput riittävät vai tarvittaisiinko hieman suuremmat.

Toimeksiantajalle päätettiin suositella seuraavan kokoluokan pumppuja kattiloille menevissä lisävesiputkissa olevien haaroitusten ja useiden putkimutkien vuoksi. Nämä tekijät lisäävät putkiston virtausvastusta ja täten vaadittu nostokorkeus kasvaa.

Toimeksiantajalta saatiin AutoCAD-kuva, johon päivitettiin RO+EDI-laitteiston oheislaitteiden sijoituspaikat. Oheislaitteet olivat lämpötilantasaussäiliö, lämmönvaihdin ja lisävesipumput. (ks. liite 12).

#### 7.1.4 Käytettävät kemikaalit ja suodatuskalvojen valinta

Suodatuskalvoja on käytössä yleisesti kolmen tyyppisiä: selluloosa-asetaatti- (CA), polyamidi- (PA) ja komposiittikalvoja (TFC).

Selluloosa-asetaattikalvot kestävät kloorille altistumista hyvin, mutta vaatisivat raakaveden hapon syöttöä pH-arvon laskemiseksi, koska ne kärsivät yli 6,5:n pH-arvosta. Lisäksi CA-kalvojen lämpötilan kesto on huonompaa ja käyttöikä lyhempi kuin TFC-kalvoilla.

Nykyään suosituimpia ovat komposiittikalvot, jotka koostuvat usein polyamideista ja polysulfoneista. Nämä kalvot tarjoavat hyvän suolanpoiston ja kestävät hyvin lämpöä, eivätkä ne ole herkkiä pH:n vaihtelulle. Niiden huonona puolena voidaan pitää heikkoa kloorinkestokykyä. Kloorinpoistoon voidaan käyttää SBS-annostusta tai aktiivihiiisuodatusta. Kumpuniemen Voima Oy:n raakaveden vähäisen kloorin määrän vuoksi kloorin esikäsittelykulujen voidaan olettaa olevan kohtuulliset.

Edellä mainittujen syiden vuoksi TFC-kalvojen valitsemista RO:n suodatuskalvoiksi suositeltiin toimeksiantajalle.

Ennen raakaveden syöttämistä RO:lle, veteen tulisi todennäköisesti syöttää antiskalanttia. Antiskalantin valinnassa tulisi huomioida, mitkä raakaveden komponentit aiheuttavat todennäköisimmin suodatuskalvon tukkeutumista. Antiskalanttien kulutus

on hyvin vähäistä, yleensä alle  $5 \text{ g/m}^3$ . Mäntässä antiskalanttia (Ameroyal 363) syötetään raakaveteen  $2 \text{ g/m}^3$ . Koska Kumpuniemen Voima Oy:n lisäveden kulutus on noin  $100 \text{ m}^3/\text{vrk}$  voidaan tämän perusteella laskea antiskalantin suurpiirteinen vuosikulu-  
tus. RO:n saanto on noin 75%, mikä tarkoittaa, että kuutiosta raakavettä saadaan 0,75 kuutiota permeaattia.

Antiskalantin kulutus vuodessa  $2 \text{ g/m}^3$  annostelulla:

$$\frac{100 \text{ m}^3}{0,75} \cdot 365 \cdot 2 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 97333,3 \text{ g}$$

Eli antiskalantin kulutus olisi vuodessa noin 100 kg.

Auvisen ja Haverisen (2011, 25–26) mukaan antiskalantin syöttö esikäsittelyssä on mahdollista korvata vedenpehmennyksellä voimalaitoksilla, joiden lisävedentarve on alle  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ . Kumpuniemen Voima Oy:llä EDI:n permeaatin tuottokyky on noin  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  ja kattiloiden varsinainen lisäveden tarve vielä huomattavasti pienempi (noin  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Vedenpehmentimen hankkimista kannattaisi tästä syystä harkita. Vedenpehmentimen elvytys ei vaadi terveydelle vaarallisia kemikaaleja, vaan se hoituu tavalliseksi ruokasuolalla (NaCl).

Kuten aiemmin on jo mainittu TFC-kalvot ovat hyvin herkkiä kloorille. Mäntän Energia Oy:n käänteisosmoosilaitteistossa käytetään komposiittikalvoja ja siellä klooria poistetaan raakavedestä SBS:n avulla. Kloorin desinfioivan vaikutuksen vuoksi klooria on pieniä määriä myös vesijohtovedessä. Mahdollisia vaihtoehtoja kloorin poistamiseen olisivat pieni SBS-annostelu tai aktiivihillisuodattimen asennus ennen RO-laitteistoa.

Mäntässä raakaveteen syötetään antiskalantin ja SBS:n lisäksi myös biosidia sekä natriumhydroksidia. Biosidin annostelu Kumpuniemen Voimalla on tuskin tarpeellista, koska vesijohtovesi on desinfioitu valmiiksi hygienian vuoksi.

Natriumhydroksidia syötetään Mäntässä raakaveden pH-arvon nostamiseksi, jotta saataisiin parempi suolanpoisto. Mäntän raakaveden pH-arvo (6,8) on kuitenkin matalampi kuin Kumpuniemen Voima Oy:n käyttämän raakaveden pH (7,7–7,9). Kumpuniemen Voima Oy:n olisi mahdollista kokeilla natriumhydroksidin syötön vaikutusta suolanpoistokykyyn helposti, koska 50-prosenttista natriumhydroksidia käytetään ennestään ioninvaihtosarjojen elvyttämiseen.

Taulukossa 5 on esitetty kolme ehdotusta RO:n syöttöveden esikäsittelyyn. Vaihtoehto 1:ssä syötettäisiin antiskalanttia suodatuskalvojen tukkeutumisen estämiseksi, kloorin poistaminen tapahtuisi aktiivihiiisuodattimella ja natriumhydroksidin avulla voitaisiin kokeilla pH:n nostamisen vaikutusta suolanpoistoon. Vaihtoehto 2 on kemikaaliton vaihtoehto, jossa antiskalantti on korvattu vedenpehmennyksellä ja kloori poistettaisiin vaihtoehtoon 1 tapaan aktiivihiiisuodatuksella. Vaihtoehto 3 on muuten samanlainen kuin vaihtoehto 1, mutta kloorin poistaminen hoidettaisiin natriumve-tysulfiitin (SBS) avulla.

Taulukko 5. RO:n syöttöveden esikäsittelyn vaihtoehdot

Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3
Antiskalantti	Vedenpehmennin	Antiskalantti
Aktiivihiiisuodatus	Aktiivihiiisuodatus	SBS
(NaOH)	-	(NaOH)

## 7.2 Ioninvaihdon ja käänteisosmoosin ominaisuuksien vertailu

Käänteisosmoosilla ja ioninvaihdolla on molemmilla sekä hyvät että huonot puolensa. Käänteisosmoosin käyttökustannukset muodostuvat lähinnä veden ostosta kaupungin vesijohtoverkostosta, korkeapainepumpun sähkönkulutuksesta ja suodatuskalvojen pesemisestä ja vaihdosta. Korkeapainepumpun sähkönkulutus on yleensä noin 1–2 kWh tuotettua vesikuutiota kohden (Puustinen n.d.). Raakaveden lämmittämisestä ei käytännössä aiheudu kustannuksia, koska lämmittäminen tapahtuu lauhteen lämpöenergian avulla. Ioninvaihdossa vesi- ja sähkökustannukset ovat pienemmät verrattuna käänteisosmoosiin. Vettä kulutetaan vain huuhtelun ja elvytyksen aikana eikä ioninvaihdon toiminta vaadi erillistä paineenkorotuspumppua vaan se toimii vesijohtoverkoston paineella. (Puustinen n.d.)

RO:n suurimpana etuna ioninvaihtoon verrattuna voidaan pitää sen huomattavasti pienempää kemikaalien kulutusta. Kemikaaleja tarvitaan lähinnä suodatuskalvojen pesuun, joka tapahtuu yleensä joitakin kertoja vuodessa. Pesussa kemikaaleja kuluu muutamia kymmeniä litroja, joten voidaan puhua lähes merkityksettömistä määristä. Lisäksi RO-laitteiston syöttöveden esikäsittely saattaa vaatia joidenkin kemikaalien,

esimerkiksi antiskalantin syöttöä. Nämä määrät ovat kuitenkin hyvin vähäisiä, joitakin satoja kilogrammoja vuodessa verrattuna ioninvaihdon tarvitsemiin kemikaalimääriin. Ioninvaihdossa kemikaaleja tarvitaan sarjojen elvyttämiseen ja huuhteluun, joten niiden kulutus on huomattavasti suurempaa. 50-prosenttisen natriumhydroksidin vuosikulutus ennen RO-laitteiston käyttöönottoa Kumpuniemen Voima Oy:llä on ollut noin 12 500 kg ja 32-prosenttisen suolahapon vuosikulutus noin 22 000 kg (Kumpuniemen Voima Oy:n ympäristölupapäätös, 2005).

Kemikaalien kulutuksen vähenemisellä on työturvallisuutta parantava vaikutus ja lisäksi ympäristön kuormitus vähenee. Kemikaalit ovat myös huomattava taloudellinen kustannus. Ioninvaihtoa käytettäessä raakaveden puhdistukseen, muodostuukin suuri osa vuosittaisista käyttökustannuksista elvytyskemikaalien osto- ja rahtikuluista.

## 8 Tulosten analysointi

AutoCAD Plant 3D:llä piirretyn putkistokuvan ja AutoCADilla piirretyn lisävesisäiliön kuvan avulla saatiin koottua kattava lista putkiosista tilausta varten. Osalistassa suositellut osat olivat muuten PSK 4240 -standardin mukaiset, mutta koneistettujen laippojen tilalle suositeltiin puristettuja laippoja. Tähän ratkaisuun päädyttiin putkiosien hintavertailun (ks. liite 4) ja putkistossa virtaavan aineen vaarattomuuden vuoksi. Toimeksiantajan edustajan kanssa arvioitiin vielä paikan päällä tilattavan putken määrä ja DN 15 -kokoluokan nippojen määrä, minkä jälkeen toimeksiantaja sai tehtyä tarjouskyselyn. Toimeksiantaja teki tarjouskyselyn tulososiossa esitettyjen putkiosien ja putkistomateriaalin mukaan. Tämän perusteella osalistan tekemistä voidaan pitää onnistuneena.

RO-laitteiston suodatuskalvojen pesuun luotiin ohjeet ja kemikaalitaulukot käänteis-osmoosilaitteiston käyttöohjekirjan perusteella. Seuraavaksi niiden luotettavuutta tarkasteltiin vertaamalla niitä Mäntän Energia Oy:n dokumentteihin ja tämän työn tietoperustaan. RO-laitteiston käyttöohjekirjan ja Fraynen (2002, 372) mukaan suodatuskalvojen säilönnässä voidaan käyttää 1-prosenttista natriumvetysulfiitti-liuosta.

Frayne (2002, 372) suosittelee emäspesussa käytettäväksi natriumhydroksidi-pohjaista liuosta, jossa on lisäksi EDTA:ta ja natriumlauryylisulfaattia. Käyttöohjekirjan liuos on muuten samanlainen, mutta se ei sisällä EDTA:ta.

Mäntän Energia Oy:n dokumenteissa ennaltaehkäisevään RO:n suodatuskalvojen puhdistukseen on esitetty myös erilaisista kemikaaleista koostuva vaihtoehto. Puhdistus koostuu kahdesta vaiheesta: Ensimmäiseen eli emäspuhdistukseen suositellaan käytettäväksi vesiliuosta, jonka pääkomponenttina on natriumtrifosfaattia veden laimennettuna. Toinen vaihe eli hapan pesu koostuu sitruunahappo-vesiliuoksesta. Manivasakam (2011, 275) suosittelee kalsiumsulfaatin aiheuttaman kalvon tukkeutumisen poistoon käytettäväksi natriumtrifosfaattipohjaista liuosta ja happamassa pesussa sitruunahappopohjaista liuosta. Tämän työn tietoperustaa kirjoitettaessa huomattiinkin, että useimmiten happopesuissa suositellaan käytettäväksi sitruunahappo-pohjaista liuosta. Tämän vuoksi seuraavassa osiossa 9 onkin pohdittu mahdollisuutta korvata suolahappo sitruunahapolla.

Käänteisosmoosin raakaveden esikäsittelyyn luotiin toimeksiantajalle kolme erilaista vaihtoehtoa. Vaihtoehdot luotiin Mäntän Energia Oy:n dokumenttien, Vilppulan sahan vierailun ja tämän työn tietoperustan pohjalta. Reverse Osmosis and Nanofiltrationin (2007, 34–35) mukaan antiskalanttien käyttö on nykyään eniten käytetty tapa RO:n suodatuskalvojen saostumisen estämiseen. Myös Mäntän Energia Oy:llä käytetään antiskalantin syöttöä. Toisaalta Auvisen ja Haverisen (2011, 25–26) mukaan antiskalantin syöttö on mahdollista korvata myös vedenpehmenyysuodattimella. Lisäksi Vilppulan sahan voimalaitoksella oli käytössä vedenpehmennys antiskalantin syötön sijaan. Kloorinpoisto on Manivasakamin (2011, 270) mukaan mahdollista toteuttaa käyttämällä aktiivihiilisuodatinta tai SBS-annostelua. Mäntän Energia Oy:llä kloorin poistaminen hoidetaan SBS:n avulla. Aktiivihiilisuodatusta päätettiin kuitenkin suositella kahteen vaihtoehtoon sen kemikaalittomuuden vuoksi. Natriumhydroksidin annostelua ehdotettiin kokeiltavaksi kahteen vaihtoehtoon, koska Mäntässä sitä käytetään raakaveden pH-arvon nostamiseen ja Kumpuniemen Voima Oy:llä olisi helppo kokeilla sen vaikutusta suolanpoistoon.

## 9 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön yleistavoitteena oli käänteisosmoosijärjestelmän käyttöönoton tehostaminen. Alatavoitteita olivat seuraavat: Hankitaan tietoa laitteiston käyttöönotosta ja siihen mahdollisesti liittyvistä ongelmista. Vertaillaan RO+EDI-laitteiston yhteyteen sijoitettavia oheislaitteivaihtoehtoja. Pohditaan laitteiston, putkilinjojen ja oheislaitteiden sijoittelua. Tutkitaan RO+EDI-laitteistolle tulevan raakaveden lämmitystapaa. Vertaillaan RO+EDI-laitteiston ominaisuuksia ioninvaihtojärjestelmän kanssa.

Järjestelmän käyttöönotto kuitenkin viivästyi joidenkin laitetoimitusten myöhästymisen ja kovan pakkastalven vuoksi. Tämän vuoksi opinnäytetyön tavoitteita päätettiinkin rajata toimeksiantajan kanssa. Näin ollen sovittiin tärkeimmiksi alatavoitteiksi laitteiston, putkilinjojen ja oheislaitteiden sijoittelu sekä tiedon hankinta laitteiston käyttöönotosta.

Ensimmäinen alatavoite eli tiedon hankkiminen RO+EDI-laitteiston käyttöönotosta toteutui niin, että laadittiin ohjeistus suodatuskalvojen pesuprosessista RO-laitteiston käyttöohjekirjan pohjalta. Tämän lisäksi päivitettiin pesuprosessissa käytettävät kemikaalitaulukot vastaamaan Kumpuniemen Voima Oy:n RO-laitteistoa. Raakaveden esikäsittelyyn laadittiin myös toimeksiantajalle kolme vaihtoehtoa.

Suodatuskalvojen pesussa voisi mahdollisesti korvata suolahapon sitruunahapolla. Suolahappo on sitruunahappoa vaarallisempaa terveydelle. Toisaalta RO-laitteiston suodatuskalvojen pesu tapahtuu yleensä vain muutamia kertoja vuodessa ja kemikaaleja käsiteltäessä tulee suojautua ihonpeittävin varustein, joten kemikaaleille altistumisen todennäköisyys ei ole kovin suuri. Yhdenkin mahdollisen työtapaturman välttäminen on kuitenkin merkittävä asia. Vaihtoehtoisten kemikaalien puhdistustehokkuutta kannattaisi verrata käyttöohjekirjassa mainittuihin kemikaaleihin. Kemikaalien hintaerot eivät muodosta suurta kustannuseroa niiden vähäisen vuosittaisen käytön vuoksi. Myös Mäntän Energia Oy:ltä voisi kysyä kokemuksia suodatuskalvojen pesusta ja verrata kokemuksia heidän kanssaan.

Jos käänteisosmoosille tulevan raakaveden esikäsittely halutaan kemikaalittomaksi, tulisi esikäsittely toteuttaa tulososiossa esitetyn vaihtoehdon 2 mukaan eli veden



pehmennyksen ja aktiivihilisuodatuksen avulla. Käänteisosmoosijärjestelmän esikäsittelyn kemikaalittomuus helpottaisi todennäköisesti ympäristölupaprosessia RO:n rejektivedelle. Jos raakaveteen joudutaan syöttämään kemikaaleja, rejektivesi saat-  
taa vaatia käsittelyä ennen sen laskemista järveen tai viemäriin, vaikka esikäsittelyssä käytettävät kemikaalimäärät olisivat muutamia milligrammoja litraa kohden.

Toinen alatavoite oli RO+EDI-laitteiston yhteyteen sijoitettavien oheislaitteivaihtoehtojen vertailu. RO+EDI-laitteiston yhteyteen sijoitettavien lisävesipumppujen tietoja tarkasteltiin ja päädyttiin suosittelemaan toimeksiantajalle suuremman nostokorkeuden pumppuja putkiston mutkien ja liityntöjen vuoksi. Lämpötilantasaussäiliön tietoihin paneuduttiin lisävesiputkiston suunnittelun yhteydessä.

Kolmas alatavoite oli laitteiston, putkilinjojen ja oheislaitteiden sijoittelun pohdinta. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi luotiin osalista tarvittavista putkiosista RO+EDI-laitteiston liittämiseksi lisävesikiertoon. Toimeksiantajalle päivitettiin lisäksi AutoCAD-kuvaan uusien oheislaitteiden paikat. Tähän liittyen opinnäytetyön tekijä oli avustamassa RO+EDI-laitteiston asentamisessa paikalleen voimalaitoksella. Osalistan tekemisessä osoittautui hyödylliseksi tutkimuksen yhteydessä AutoCAD Plant 3D:llä piirretty kuva oheislaitteista ja niiden välille suunnitelluista putkilinjoista.

Neljäs alatavoite oli RO+EDI-laitteistolle tulevan raakaveden lämmitystavan pohdinta. Lauhteella lämmitys valikoitui hyvin nopeastiärkevimmäksi toteutustavaksi. Voimalaitoksen lauhdesäiliö sijaitsee RO+EDI-laitteiston viereisessä huoneessa, joten lauhdeveden ottaminen lämmönvaihtimelle onnistuu helposti. Toimeksiantajan valitseman lämmönvaihtimen tiedot tarkastettiin, ja ne osoittautuivat soveltuviksi.

Viidentenä alatavoitteena oli RO-laitteiston ominaisuuksien vertailu ioninvaihdon kanssa. Tässä opinnäytetyössä vertailu suoritettiin vain yleisellä tasolla. Laitteistojen vuosittaisia käyttökustannuksia olisi ollut mielenkiintoista vertailla oikeilla veden, sähkön ja kemikaalien hintatiedoilla samaan tapaan kuin Irene Auvinen ja Tapio Haverinen tekivät opinnäytetyössään Ioninvaihto- ja käänteisosmoositekniikan vertailu vesilaitoksen uusimista varten (Auvinen & Haverinen 2011). Näin tarkan vertailun suorittaminen ei tässä opinnäytetyössä kuitenkaan ollut mahdollista.

Haastetta aiheuttivat kemiallisten yhdisteiden nimien yksiselitteinen kääntäminen englannin kielestä suomen kieleen. Kääntämistä helpotti, jos kemiallinen kaava oli

saatavilla. Lisäksi lisäveden valmistusta ei ole käsitelty kovin laajasti JAMKin kursseilla. Vesikemia ja lisäveden valmistaminen ovat kuitenkin tärkeitä asioita voimalaitosten toiminnassa, joten aiheen laajempi käsittely olisi perusteltua energiatekniikan opetussuunnitelmassa. Työn tekemisessä auttoi huomattavasti aikaisempi työskentely Kumpuniemen Voima Oy:llä. Tätä kautta prosessin ymmärtäminen ja kartoittaminen helpottui huomattavasti.

Opinnäytetyöhön saatiin kirjoitettua laaja tietoperusta, jota esimerkiksi vastaavalaista investointia suunnitteleva yritys voisi käyttää vedenkäsittelyvaihtoehtoihin perehtymisen apuna. Tietoperustassa käytetyt lähteet olivat pääosin suomen- ja englanninkielisiä kirjallaisia lähteitä ja niiden luotettavuutta voidaan pitää hyvänä. Lähteiden luotettavuutta varmennettiin käyttämällä useita eri lähteitä ja vertaamalla tietoperustaa Kumpuniemen Voima Oy:n ja Mäntän Energia Oy:n käänteisosmoosilaitteistojen valmistajan dokumentteihin. Opinnäytetyön tietoperustassa olisi voinut keskittyä enemmän suodatuskalvojen pesuprosessiin. Näin oltaisiin saatu enemmän tietoperustaa tarvittavista kemikaaleista mahdollisimman tehokkaan puhdistusliuoksen valitsemiseksi.

Opinnäytetyön edetessä heräsi huoli EDI-laitteiston heikosta toimintakunnosta. Jos EDI-laitteiston suolanpoistokyky osoittautuu heikoksi, olisi RO-laitteistolta tulevan veden jälkikäsittely mahdollista hoitaa tätä nykyä Pyroflow-kattilan ioninvaihtosarjan yhteydessä sijaitsevalla sekavaihtimella. Sekavaihdin ja EDI ovat toisiaan korvaavia tekniikoita. Tässä tapauksessa sekavaihdin siirrettäisiin EDI-laitteiston paikalle RO-laitteiston viereen.

Tulevaisuudessa tutkimisen arvoinen asia olisi käänteisosmoosilaitteiston rejektin hyödyntäminen. Toimeksiantaja pohti voisiko rejektin mahdollisesti puhdistaa nykyisellä ioninvaihtosarjalla. Lisäksi rejektin käyttäminen esimerkiksi jäähdytysvetenä voisi olla mahdollista. Näiden vaihtoehtojen pohtiminen olisi järkevää energiatehokkuuden ja ympäristöystävällisyyden kannalta.

Opinnäytetyötä tehtäessä kävi ilmi, että useassa paikassa käytetty käänteisosmoosilaitteiston markkinointi kemikaalittomana vedenpuhdistusvaihtoehtona ei pidä aivan paikkaansa. Varsinkin puhdistettaessa vettä järvi- tai merivedestä käänteisosmoosilaitteistolle tuleva raakavesi vaatii esikäsittelyssä useiden kemikaalien käyttöä.

Lisäksi suodatuskalvojen puhdistus vaatii kemikaalien käyttämistä pesuliuoksessa. Käytettävien kemikaalien määrät ovat kuitenkin huomattavasti pienempiä kuin ioninvaihdossa, joten voidaan puhua lähes kemikaalittomasta vedenpuhdistuksesta – erityisesti näin on Kumpuniemen Voima Oy:llä, jossa käytetään raakavetenä vesijohtovettä.

## Lähteet

- Auvinen, I. & Haverinen, T. 2011. Ioninvaihto- ja käänteisosmoositekniikan vertailu vesilaitoksen uusimista varten. Opinnäytetyö, AMK. Mikkelin ammattikorkeakoulu, ympäristötekniikka ja talotekniikka. Viitattu 17.1.2018. [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27138/Auvinen %20Haverinen.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27138/Auvinen_%20Haverinen.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Boles, M. & Cengel, Y. 2005. Thermodynamics an engineering Approach: Property tables and charts (SI units). Veden entalpia-arvotaulukko paineen mukaan. Physics Forums -sivusto. Viitattu 3.5.2018. [https://www.physicsforums.com/attachments/thermodynamic\\_tables\\_si-pdf.88587/](https://www.physicsforums.com/attachments/thermodynamic_tables_si-pdf.88587/)
- Branan, C. & Hall, S. 2012. Rules of Thumb for Chemical Engineers. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Frayne, C. 2002. Boiler Water Treatment - Principles and Practice, Volumes I-II. New York: Chemical Publishing Company Inc.
- Gröhn, J. 2009. Käänteisosmoosin konsentraatin hyödyntäminen Suomenojan voimalaitoksella. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu, konetekniikan koulutusohjelma. Viitattu 17.1.2018. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/3927/inssityokoulu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2004. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Edita Publishing.
- Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus.
- Johansson, T. 2013. Käänteisosmoosin esikäsittelymenetelmät. Kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, kemiantekniikan koulutusohjelma. Viitattu 16.1.2018. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94215/K%C3%A4%C3%A4nteisosmoosin%20esik%C3%A4sittelymenetelm%C3%A4t.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Kaasalainen, J. 2007. Voimalaitoksen vedenkäsittelyn uudet menetelmät. Kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, energia- ja ympäristötekniikan osasto. Viitattu 25.1.2018. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/30957/TMP.objres.718.pdf?sequence>
- Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Kananen, J. 2008. Kvali – Kvalitatiivisen tutkimuksen teorian ja käytänteet. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Kesti, M. 1992. Teollisuusputkistot. Helsinki: VAPK-kustannus.
- Korroosiokäsikirja. 2004. 3. painos. Kunnossapitoyhdistys ry. Rajamäki: KP-media Oy.
- Kucera, J. 2015. Reverse Osmosis - Industrial Processes and Applications 2nd Edition. Hoboken: John Wiley & Sons.

- Kukkonen, V. 2015. Höyryvoimalaitoksen lisäveden valmistus. Kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, energiatekniikan koulutusohjelma. Viitattu 16.1.2018. [http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/117693/Kandi\\_valmis.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/117693/Kandi_valmis.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Kumpuniemen Voima Oy:n ympäristölupapäätös. 2005. Keski-Suomen Ympäristökeskus. Viitattu 22.4.2018. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BEB1F38A7-9565-4BD1-B248-A3B54538742B%7D/82665>
- Kurki, M. N.d. Painelaitesuunnittelu TTEX1500, putkistot. Painelaitesuunnittelukursin luentomateriaali, Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Optima-oppimisympäristö. Viitattu 9.4.2018.
- Kyröläinen, A. & Lukkari, J. 2002. Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus. Helsinki: Metalliteollisuuden Keskusliitto.
- Manivasakam, N. 2011. Practical Boiler Water Treatment Handbook. Danvers: Chemical Publishing Company Inc.
- Manninen T., Kyröläinen A. & Taulavuori T. 2012. Ruostumattomat teräkset. Vaasa: Teknologiateollisuus ry.
- Mikä on ruostumaton teräs? N.d. Artikkelin World Stainless -sivulta. Viitattu 3.4.2018. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/What is Stainless Steel FI.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/What%20is%20Stainless%20Steel%20FI.pdf)
- Miten tulkita yleisimpien vesitutkimuksien tuloksia? N.d. Artikkelin Pumpulohjan sivulta. Viitattu 11.1.2018. [http://pumpulohja.com/wp-content/uploads/Vesianalyy-sien Tulkinta A.pdf](http://pumpulohja.com/wp-content/uploads/Vesianalyy-sien_Tulkinta_A.pdf)
- Mobley, K. 2001. Plant Engineer's Handbook. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Perälä, T. 2017. Putkiston materiaalinhallinta prosessiteollisuuden investointiprojektissa. Insinöörityö, AMK. Metropolia ammattikorkeakoulua, kemiantekniikan koulutusohjelma. Viitattu 6.4.2018. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/137812/perala\\_tapio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/137812/perala_tapio.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- PSK 4201. 2017. Putkiluokat. Määrittely. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry. Vahvistettu 22.3.2017. Viitattu 9.4.2018. <https://janet.finna.fi>, PSK Standardit.
- PSK 4240. 2017. Putkiluokka E16H2A painelaitteeseen. Austeniittinen ruostumaton CrNiMo-teräs. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry. Vahvistettu 22.3.2017. Viitattu 9.4.2018. <https://janet.finna.fi>, PSK Standardit.
- Puustinen, H. N.d. Kattilan lisäveden valmistuslaitteisto: Mäntän Energia Oy 2 x 36m<sup>3</sup>/h. Mäntän Energia Oy:n dokumentti.
- Reverse Osmosis and Nanofiltration. 2007. Manual of Water Supply Practices, M46. American Water Works Association (AWWA).
- RST & HST Putket ja osat. 2018. Putkiston ja putkiosien hintatietoja Evaraston www-sivulta. Viitattu 11.4.2018. <https://www.evarasto.fi/epages/CronvallShop.sf/fi/FI/?ObjectPath=/Shops/CronvallShop/Categories/%22RST%20%26%20HST%20Putket%20ja%20osat%22>

Ruostumattomat ja haponkestävät putket ja putkiosat. N.d. Katalogi Cronvallin sivuilta. Viitattu 6.4.2018. [http://www.cronvall.fi/sites/cronvall.fi/files/tuotteet/putket\\_esite\\_typistetty\\_270514\\_web.pdf](http://www.cronvall.fi/sites/cronvall.fi/files/tuotteet/putket_esite_typistetty_270514_web.pdf)

SFS-EN/EEC 10200:2000. Teräslajien määritelmät ja luokittelu. Tuoteryhmät: Metallurgia (sanastot), teräkset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 2.10.2000. Viitattu 3.4.2018. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN/EEC 1088:2014. Ruostumattomat teräkset. Osa 1. Ruostumattomien teräksien luettelo. Tuoteryhmät: Ruostumattomat teräkset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 24.11.2014. Viitattu 3.4.2018. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Sitruunahappo, käyttöturvallisuustiedote. 2010. Dokumentti IS-VET:n www-sivuilta. Viitattu 24.4.2018. <http://www.isvet.fi/tiedotteet/sitruunahappo.pdf>

Suolahappo, käyttöturvallisuustiedote. 2010. Dokumentti IS-VET:n www-sivuilta. Viitattu 24.4.2018. <http://www.isvet.fi/tiedotteet/suolahappo.pdf>

Toimintaselostus: Teollisuuden vedenkäsittelylaitos Mäntän Energia Oy. 2017. Mäntän Energia Oy:n dokumentti.

Torvinen, T. 2016. Laippaliitosasentajan pätevyyden varmistaminen öljynjalostamolla. Insinööri työ, AMK. Metropolia ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 6.4.2018. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/121942/Torvinen\\_Tero.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/121942/Torvinen_Tero.pdf?sequence=1)

Vakkilainen, E. 2017. Steam generation from biomass. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Vedenlaadun testausseloste. 2017. Äänekosken Energia Oy:n dokumentti.

Voimalaitoksen vesianalyysit. 1999. Kumpuniemen Voima Oy:n dokumentti 25.8.1999.

# Liitteet

Liite 1. Appendix Veden entalpia-arvo taulukko paineen mukaan (Appendix 1  
Property tables and charts (SI units) N.d.)

Appendix 1 | 893

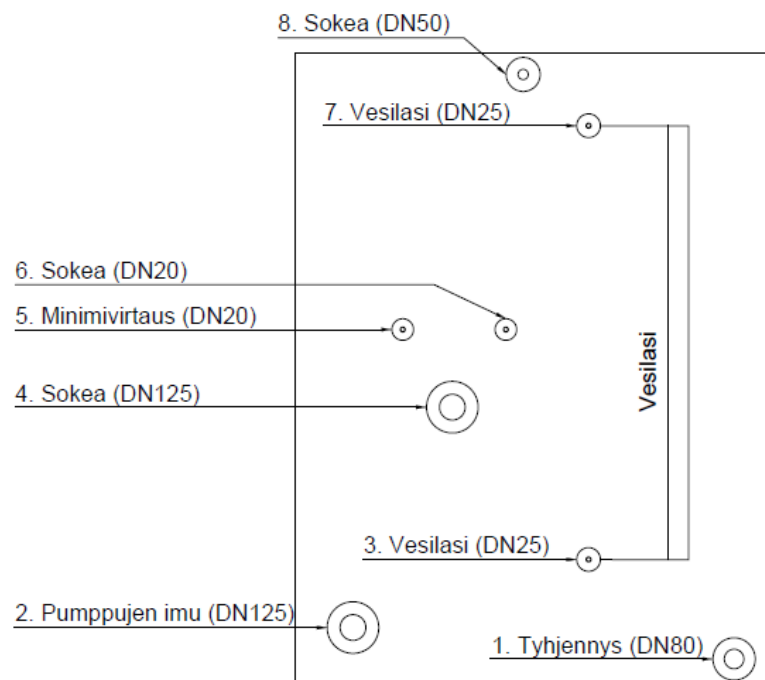
TABLE A-5

Saturated water—Pressure table (Continued)

Press., <i>P</i> kPa	Sat. temp., <i>T</i> <sub>sat</sub> °C	Specific volume, m <sup>3</sup> /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, <i>v</i> <sub>f</sub>	Sat. vapor, <i>v</i> <sub>g</sub>	Sat. liquid, <i>u</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>u</i> <sub>fg</sub>	Sat. vapor, <i>u</i> <sub>g</sub>	Sat. liquid, <i>h</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>h</i> <sub>fg</sub>	Sat. vapor, <i>h</i> <sub>g</sub>	Sat. liquid, <i>s</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>s</i> <sub>fg</sub>	Sat. vapor, <i>s</i> <sub>g</sub>
800	170.41	0.001115	0.24035	719.97	1856.1	2576.0	720.87	2047.5	2768.3	2.0457	4.6160	6.6616
850	172.94	0.001118	0.22690	731.00	1846.9	2577.9	731.95	2038.8	2770.8	2.0705	4.5705	6.6409
900	175.35	0.001121	0.21489	741.55	1838.1	2579.6	742.56	2030.5	2773.0	2.0941	4.5273	6.6213
950	177.66	0.001124	0.20411	751.67	1829.6	2581.3	752.74	2022.4	2775.2	2.1166	4.4862	6.6027
1000	179.88	0.001127	0.19436	761.39	1821.4	2582.8	762.51	2014.6	2777.1	2.1381	4.4470	6.5850
1100	184.06	0.001133	0.17745	779.78	1805.7	2585.5	781.03	1999.6	2780.7	2.1785	4.3735	6.5520
1200	187.96	0.001138	0.16326	796.96	1790.9	2587.8	798.33	1985.4	2783.8	2.2159	4.3058	6.5217
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.82	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430
1750	205.72	0.001166	0.11344	876.12	1720.6	2596.7	878.16	1917.1	2795.2	2.3844	4.0033	6.3877
2000	212.38	0.001177	0.099587	906.12	1693.0	2599.1	908.47	1889.8	2798.3	2.4467	3.8923	6.3390
2250	218.41	0.001187	0.088717	933.54	1667.3	2600.9	936.21	1864.3	2800.5	2.5029	3.7926	6.2954
2500	223.95	0.001197	0.079952	958.87	1643.2	2602.1	961.87	1840.1	2801.9	2.5542	3.7016	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066667	1004.6	1598.5	2603.2	1008.3	1794.9	2803.2	2.6454	3.5402	6.1856
3500	242.56	0.001235	0.057061	1045.4	1557.6	2603.0	1049.7	1753.0	2802.7	2.7253	3.3991	6.1244
4000	250.35	0.001252	0.049779	1082.4	1519.3	2601.7	1087.4	1713.5	2800.8	2.7966	3.2731	6.0696
5000	263.94	0.001286	0.039448	1148.1	1448.9	2597.0	1154.5	1639.7	2794.2	2.9207	3.0530	5.9737
6000	275.59	0.001319	0.032449	1205.8	1384.1	2589.9	1213.8	1570.9	2784.6	3.0275	2.8627	5.8902
7000	285.83	0.001352	0.027378	1258.0	1323.0	2581.0	1267.5	1505.2	2772.6	3.1220	2.6927	5.8148
8000	295.01	0.001384	0.023525	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2077	2.5373	5.7450
9000	303.35	0.001418	0.020489	1350.9	1207.6	2558.5	1363.7	1379.3	2742.9	3.2866	2.3925	5.6791
10,000	311.00	0.001452	0.018028	1393.3	1151.8	2545.2	1407.8	1317.6	2725.5	3.3603	2.2556	5.6159
11,000	318.08	0.001488	0.015988	1433.9	1096.6	2530.4	1450.2	1256.1	2706.3	3.4299	2.1245	5.5544
12,000	324.68	0.001526	0.014264	1473.0	1041.3	2514.3	1491.3	1194.1	2685.4	3.4964	1.9975	5.4939
13,000	330.85	0.001566	0.012781	1511.0	985.5	2496.6	1531.4	1131.3	2662.7	3.5606	1.8730	5.4336
14,000	336.67	0.001610	0.011487	1548.4	928.7	2477.1	1571.0	1067.0	2637.9	3.6232	1.7497	5.3728
15,000	342.16	0.001657	0.010341	1585.5	870.3	2455.7	1610.3	1000.5	2610.8	3.6848	1.6261	5.3108
16,000	347.36	0.001710	0.009312	1622.6	809.4	2432.0	1649.9	931.1	2581.0	3.7461	1.5005	5.2466
17,000	352.29	0.001770	0.008374	1660.2	745.1	2405.4	1690.3	857.4	2547.7	3.8082	1.3709	5.1791
18,000	356.99	0.001840	0.007504	1699.1	675.9	2375.0	1732.2	777.8	2510.0	3.8720	1.2343	5.1064
19,000	361.47	0.001926	0.006677	1740.3	598.9	2339.2	1776.8	689.2	2466.0	3.9396	1.0860	5.0256
20,000	365.75	0.002038	0.005862	1785.8	509.0	2294.8	1826.6	585.5	2412.1	4.0146	0.9164	4.9310
21,000	369.83	0.002207	0.004994	1841.6	391.9	2233.5	1888.0	450.4	2338.4	4.1071	0.7005	4.8076
22,000	373.71	0.002703	0.003644	1951.7	140.8	2092.4	2011.1	161.5	2172.6	4.2942	0.2496	4.5439
22,064	373.95	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070

Liite 2. Live-säiliön yhteen

Uusi live-säiliö - näkymä lauhdesäiliöhuoneen puolelta



Yhteiden mitat				
Yhde	DN-koko	DO	DI	K
1. Tyhjennys	DN80	205	95	160
2. Pumppujen imu	DN125	250	125	210
3. Vesilasi	DN25	115	25	85
4. Sokea	DN125	250	125	210
5. Minimivirtaus	DN20	105	25	75
6. Sokea	DN20	105	25	75
7. Vesilasi	DN25	115	25	-
8. Sokea	DN50	165	50	-
DO= Ulkohalkaisija, DI=Sisähalkaisija, K=Puttikehän halkaisija				



## Liite 3. Osaluettelo

Tyyppi	Nimelliskoko (DN)	Ulkohalkaisija (mm)	Seinämän paksuus (mm)	Paineluokka (PN)	Määrä (kpl/m)
<b>Putket</b>					
HST-putki (316L)	DN25	60,3	2		6
HST-putki (316L)	DN50	60,3	2		80
<b>Laipat</b>					
Irtolaippa	DN125	139,7		PN16	1
Irtolaippa	DN80	88,9		PN16	1
Irtolaippa	DN50	60,3		PN16	7
Irtolaippa	DN32	42,4		PN16	2
Irtolaippa	DN25	33,7		PN16	4
Irtolaippa	DN20	26,9		PN16	1
<b>Kaulukset</b>					
Puristettu kaulus	DN125	139,7		PN16	1
Puristettu kaulus	DN80	88,9		PN16	1
Puristettu kaulus	DN50	60,3		PN16	7
Puristettu kaulus	DN32	42,4		PN16	2
Puristettu kaulus	DN25	33,7		PN16	4
Puristettu kaulus	DN20	26,9		PN16	1
<b>Supistuskartiot</b>					
Supistuskartio	DN125	139,7x88,9	2		1
Supistuskartio	DN80	88,9x60,3	2		2
Supistuskartio	DN50	60,3x48,3	2		1
Supistuskartio	DN50	60,3x42,4	2		2
Supistuskartio	DN50	60,3x33,7	2		2
<b>T-haarat</b>					
T-haara	DN50	60,3	2		3
<b>Putkikäyrät</b>					
Putkikäyrä 90°	DN50	60,3	2		49
<b>Putkinipat</b>					
Hitsimuhvi	DN15	26,5			10

## Liite 4. Materiaalien hintavertailu (RST &amp; HST Putket ja osat)

<b>Materiaalin hinta - (Alv. 0%)</b>				
AISI	EN	Koko	Hinta	Yksikkö
304	1.4301/1.4307	60,3x1,6mm	10,52	€/m
316L	1.4044	60,3x1,6mm	14,71	€/m
304	1.4301/1.4307	60,3x2,0mm	12,36	€/m
316L	1.4044	60,3x2,0mm	18,02	€/m
<b>Putkiosien hinnat - (Alv. 0%)</b>				
<b>Putkikäyrä 90 ° DN50</b>				
AISI	EN	Koko	Hinta	Yksikkö
316L	1.4044	60,3x2,0mm	22,40	€/kpl
<b>T-haara DN50</b>				
AISI	EN	Koko	Hinta	Yksikkö
316L	1.4044	60,3x2,0mm	27,23	€/kpl
<b>Supistuskartio DN50-DN32</b>				
AISI	EN	Koko	Hinta	Yksikkö
316L	1.4044	60,3x42,4x2,0mm	24,80	€/kpl
<b>Supistuskartio DN50-DN40</b>				
AISI	EN	Koko	Hinta	Yksikkö
316L	1.4044	60,3x48,3x2,0mm	22,20	€/kpl
<b>Puristettu kaulus DN50</b>				
AISI	EN	Koko	Hinta	Yksikkö
316L	1.4044	60,3x3,0mm	5,91	€/kpl
<b>Koneistettu kaulus DN50</b>				
AISI	EN	Koko	Hinta	Yksikkö
316L	1.4044	60,3mm	35,84	€/kpl

## Liite 5. Hapanpesu

Hapanpesu		
Pesuliuos		Neutralointi
Suolapoistettu vesi (l)	30% suolahappo (l)	50% natriumhydroksidi (l)
500	3,0	1,5

## Liite 6. Emäspesu

Emäspesu			
Pesuliuos			Neutralointi
Suolapoistettu vesi (l)	50% natriumhydroksidi (l)	100% natriumdodesylsulfaatti (kg)	30% suolahappo (l)
500	2,8	2,5	6,5

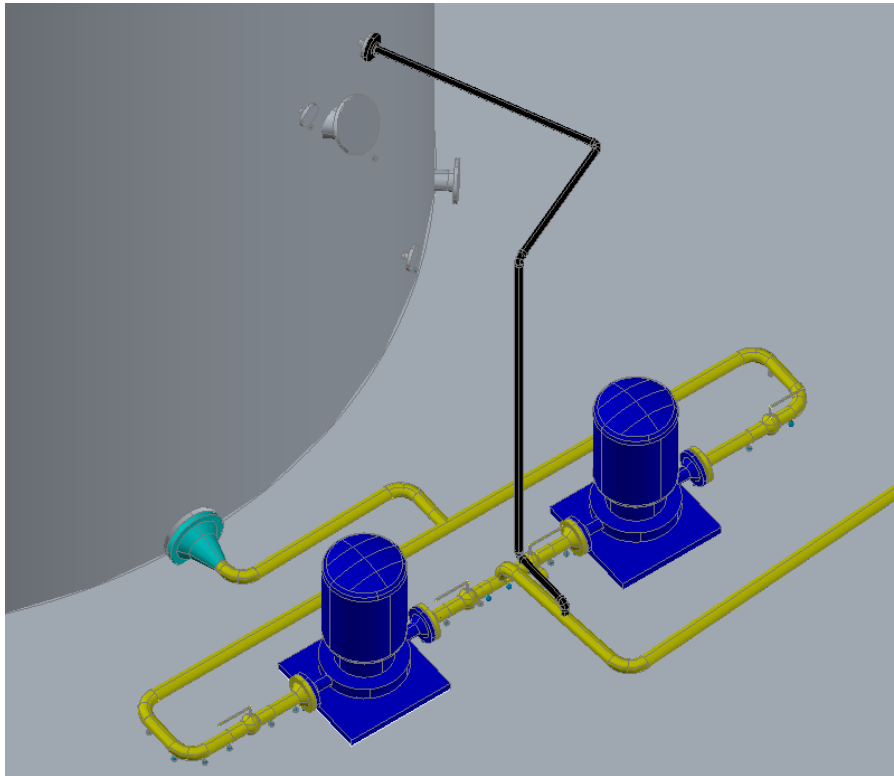
## Liite 7. Säilöntäliuos

Säilöntä	
Suolapoistettu vesi (l)	39% natriumvetysulfiitti (l)
500	12,5

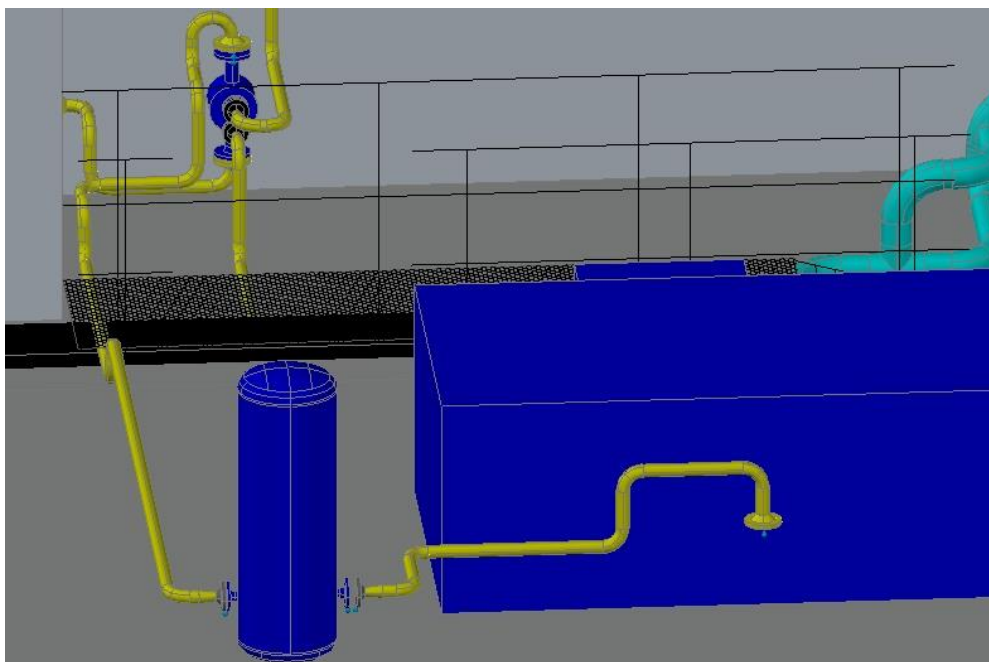
## Liite 8. Desinfiointiliuos

Desinfiointi	
Suolapoistettu vesi (l)	15% peretikkahappo (l)
500	6,7

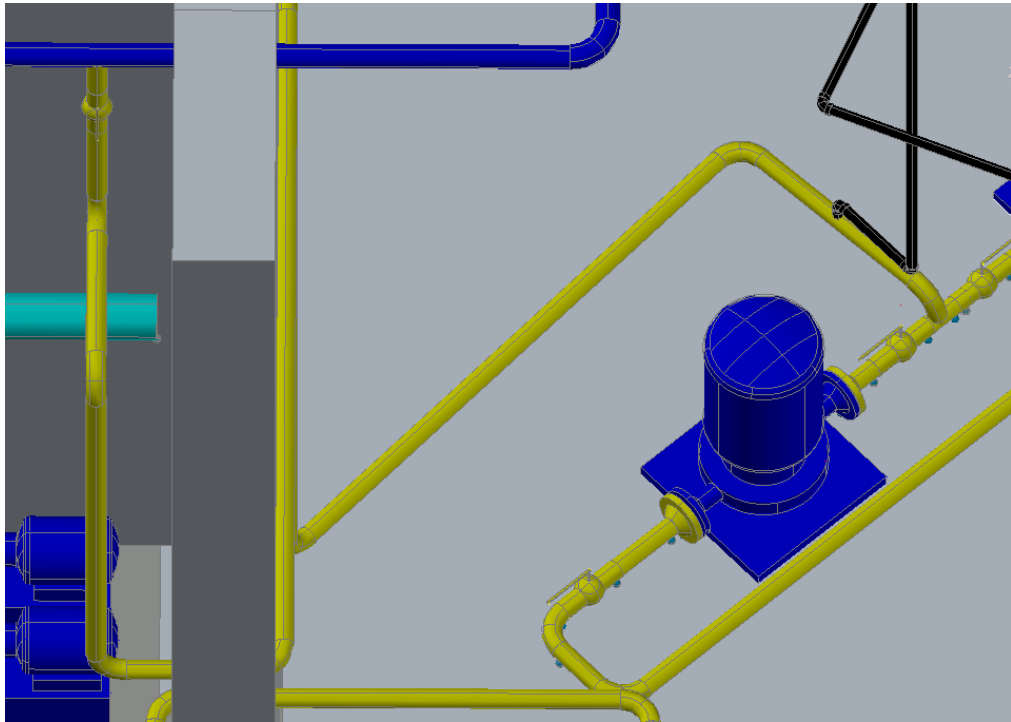
Liite 9. Lisävesipumppujen kytkentä lisävesisäiliöön



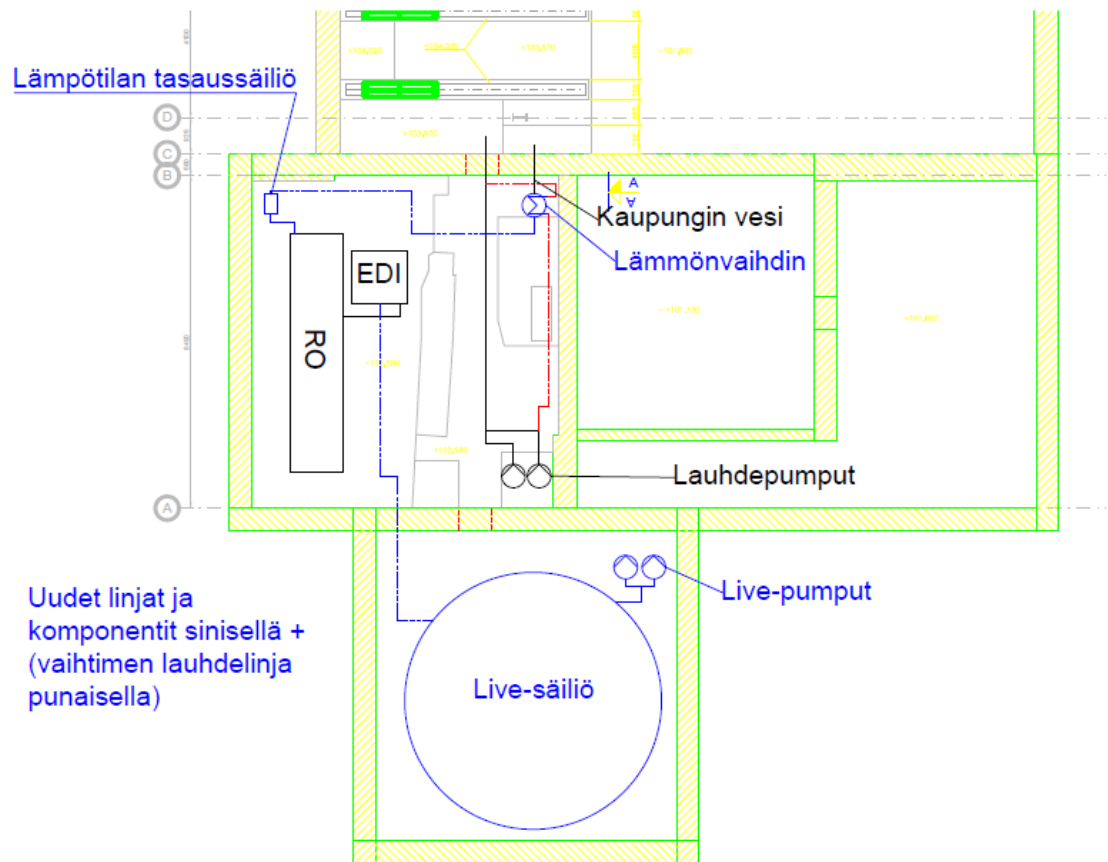
Liite 10. Lämpötilan tasaussäiliön kytkennät



Liite 11. Liityntä lisävesiputkistoon



## Liite 12. Oheislaitteiden sijoitus



Liite 13. RO-laitteiston suodatuskalvojen happaman pesun ohjeet

1. Täytä pesusäiliö puhtaan veden 3-suuntaisen venttiilin (nro 1.) avulla.
2. Sulje kaupungin veden venttiili. Laitteiston pitäisi nyt kytkeytyä pois päältä.
3. Lisää 30-prosenttista suolahappoa pesusäiliöön hapanpesun taulukon mukaan ja sekoita.
4. Käännä konsentraatin 3-suuntainen venttiili (nro. 2) asentoon "säiliö".
5. Aseta tämän jälkeen käyttökytkin asentoon "huuhtelu".
6. Avaa konsentraatin sulkuventtiili (nro. 3).
7. Sulje konsentraatin kierrätyksen sulkuventtiili (nro. 4) ja kierrätä liuosta 30-60 min.



8. Jos pH-arvo nousee ja liuos värjäytyy huomattavasti, hylkää osa puhdistusliuoksesta ja lisää liuosta. **Tarkasta, ettei 45 celsiusasteen lämpötila ylity ja pyri pitämään pH-arvo noin 2:ssa. Häätötilanteessa liuos on tyhjennettävä ja lisättävä tilalle kaupungin vettä ja hieman suolahappoa.**
9. Kytke laitteisto huuhtelun jälkeen pois päältä.
10. Lisää pesusäiliöön 50-prosenttista natriumhydroksidia eli lipeää hapanpesun taulukon neutralointikohdan mukaan, sekoita ja tarkasta, että pH-arvo on noin 7 (oltava 6,5-9,5).
11. Avaa pesusäiliön tyhjennys (katso alla oleva kuva). Kun säiliö on tyhjentynyt, sammuta pesupumppu.





12. Avaa kaupungin veden venttiili.
13. Kytke laitteisto päälle.
14. Avaa konsentraatin kierrätyksen sulkuventtiili (nro 4.)
15. Huuhtelee laitteistoa vielä vähintään 15 min.
16. Sääda laitteisto normaaleilla käyttötiedoilla.
17. Aseta puhtaan veden 3-suuntainen venttiili (nro. 1) asentoon "live-säiliö" ja konsentraatin 3-suuntainen venttiili (nro. 2) asentoon "kanava".
18. Sulje pesusäiliön tyhjennys.
19. Täytä tarkastuslistat 1 ja 2.