

Irene Auvinen, Tapio Haverinen

T579SA, T638SA

IONINVAIHTO- JA
KÄÄNTEISOSMOOSITEKNIIKAN
VERTAILU VESILAITOKSEN
UUSIMISTA VARTEN
Etelä-Savon Energia Oy:lle

Opinnäytetyö
Ympäristötekniikka, Talotekniikka


Huhtikuu 2011




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Opinnäytetyön päivämäärä 18.4.2011
Tekijä(t) Irene Auvinen ja Tapio Haverinen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Ympäristötekniologia, Talotekniikka
Nimeke Ioninvaihto- ja käänteisosmoositekniikan vertailu vesilaitoksen uusimista varten		
Tiivistelmä <p>Tässä insinööriyössä käsitellään Etelä-Savon Energia Oy:lle Pursialan voimalaitoksella tehtyä ioninvaihto- ja käänteisosmoosilaitoksen hintaan, käyttökustannuksiin sekä käyttöturvallisuuteen liittyvää vertailua. Pursialan voimalaitoksella on nykyisin käytössä yli 20 vuotta vanha ioninvaihtolaitos, joka on tarkoitettu uusien lähiainojen.</p> <p>Voimalaitoksilla, korkeista lämpötiloista ja paineista johtuen, vesijohtovesi ei käy suoraan kattilan lisäveikteenä, vaan se on puhdistettava epäpuhtauksista täyssiulanpoistolaitoksilla. Suolat ja epäpuhtaudet aiheuttavat kerrostumia ja syöpymiä kattilan höyry- ja vesiputkiin sekä turbiiniin siivistöille.</p> <p>Tekniikaltaan ioninvaihto perustuu kationi- ja anionihartseissa suoritettaviin ioninvaihtoihin niin, että tuloksena on ultrapuhdas vesi. Käänteisosmoosilaitoksessa vesiliuos paineistetaan pumpuilla siten, että paine suolaisemman veden puolella on suurempi ja puhdas vesi menee puoliläpäisevän kalvon läpi puhtaan veden puolelle. Suolapitoinen vesi, joka jää kalvon suolaisemman veden puolelle, johdetaan viemäriin.</p> <p>Tarjoukset saatiin kahdelta toimittajalta ioninvaihtolaitokseen ja neljältä toimittajalta käänteisosmoosilaitokseen. Tarjousten perusteella laskettiin vuosittaiset kokonais- ja käyttökustannukset molemmille laitos-tyypeille. Käyttökustannukset olivat lähellä toisiaan, joten tärkeimpänä erona ioninvaihtolaitokseen pidettiin käänteisosmoosilaitoksen kemikaalittomuutta ja sitä, että työturvallisuus paranee ja ympäristökuormitus pienenee.</p>		
Asiasanat (avainsanat) suolanpoisto, ioninvaihto, käänteisosmoosi, voimalaitos, vesilaitos		
Sivumäärä 48	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Pia Haapea ja Jukka Räisä		Opinnäytetyön toimeksiantaja Etelä-Savon Energia Oy

DESCRIPTION

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Date of the bachelor's thesis 18.4.2011
Author(s) Irene Auvinen and Tapio Haverinen	Degree programme and option Environmental Engineering Building Services Engineering	
Name of the bachelor's thesis Comparing ion exchange and reverse osmosis technique for the renewal of a demineralisation plant		
Abstract <p>Nowadays Pursiala's power plant in Mikkeli has 20 year-old ion exchange plant which will be renovated in the near future. The purpose of the Bachelor's thesis was to compare ion exchange and reverse osmosis techniques taking into consideration investment costs, operating costs and work safety.</p> <p>We studied both techniques from literature and we interviewed Sales Engineers. Excursions were made to the ion exchange plant and to the reverse osmosis plant. There we interviewed users to get know better both techniques.</p> <p>Offers for ion exchange plant were requested from two companies. Offers for reverse osmosis plant were requested from four companies. On the basis of offers were calculated total and operating costs for both techniques. Operating costs were very close to each other.</p> <p>The most important differences between these plants were minor chemicals, better work safety and lower environmental strain in reverse osmosis plant.</p>		
Subject headings, (keywords) ion exchange, reverse osmosis, demineralisation plant, power plant		
Pages 48	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Pia Haapea and Jukka Räisä	Bachelor's thesis assigned by Etelä-Savon Energia Oy	

ALKUSANAT

Haluamme kiittää Etelä-Savon Energia Oy:tä ja Pursialan voimalaitoksen voimalaitosjohtajaa Timo Leppästä mahdollisuudesta tehdä insinööriyö työelämälähtöisesti voimalaitoksella.

Haluamme kiittää myös insinööriyön työelämän ohjaajaa, esimiestämme ylikonemestari Asko Lintusta työnohjauksesta ja ohjaavia opettajia Pia Haapeaa ja Jukka Räisää Mikkelin ammattikorkeakoulusta.

Mikkelissä 6.4.2011

Irene Auvinen

Tapio Haverinen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	KONSERNIN ESITTELY	2
3	PURSIALAN VOIMALAITOKSEN TOIMINNAN KUVAUS.....	2
3.1	Voimalaitosblokkien käyttöjärjestys	3
3.2	Kattilan toimintaperiaate	4
3.3	Pursialan voimalaitoksen vesi-höyrykierto.....	4
4	VOIMALAITOKSEN VEDENKÄSITTELYJÄRJESTELMÄN VALINTA	6
4.1	Raakaveden epäpuhtaudet	6
4.1.1	Luonnonvesien epäpuhtauksien luokittelu.....	6
4.1.2	Karkeat ja kolloidiset epäpuhtaudet.....	7
4.1.3	Orgaaninen aines.....	8
4.1.4	Liuenneet suolat ja kaasut.....	8
4.2	Raakaveden arvot ennen ioninvaihto- tai käänteisosmoosilaitosta	9
4.3	Lisäveden valmistus.....	10
4.4	Lisäveden laatuvaatimukset.....	11
5	IONINVAIHTO	12
5.1	Ioninvaihdon toimintaperiaate	12
5.2	Ioninvaihtohartsit.....	13
5.2.1	Kationihartsit.....	14
5.2.2	Anionihartsit	15
5.2.3	Sekaioninvaihtimen hartsit.....	16
5.3	Ioninvaihtimen rakenne	16
5.3.1	Myötävirtaan elvytettävä ioninvaihdin	17
5.3.2	Vastavirtaan elvytettävä ioninvaihdin.....	17
5.4	Käyttöjakso	17
5.5	Elvytysjakso.....	18
5.6	Ioninvaihtosarjojen kytkennät	18
5.7	Ioninvaihdon mitoituksesta.....	19
5.8	Toiminnan seuranta	20
6	OSMOOSI, KÄÄNTEISOSMOOSI JA EDI.....	22

6.1	Osmoosi-ilmiö	22
6.2	Käänteisosmoosi eli reverse osmosis (RO)	23
6.3	Käänteisosmoosilaitteiston rakenne.....	24
6.4	Raakaveden esikäsittely ennen käänteisosmoosiyksikköä	24
6.5	Kalvomoduulit ja prosessikytkennät.....	26
6.5.1	Läpivirtauskytkentä.....	26
6.5.2	Rejektin kierrätykseen perustuva kytkentä	27
6.6	Käänteisosmoosikalvot	28
6.7	Spiraalimoduulin rakenne ja toiminta.....	28
6.8	RO-kalvojen likaantumiseriski	30
6.9	Kalvojen pesu	31
6.10	Käänteisosmoosilaitoksen mitoitus	32
6.11	EDI- laitos.....	33
6.11.1	EDI-laitoksen rakenne	33
6.11.2	EDI- kennojen toimintaperiaate	34
6.11.3	EDI-laitoksen syöttövesi.....	35
7	VERTAILUN TOTEUTUS	36
7.1	Tarjouspyynnöt ja toimittajien tapaamiset.....	36
7.2	Tilavaihtoehtojen kartoittaminen.....	36
7.3	Tutustumiskäynnit	38
7.4	Tarjousten käsitteleminen.....	39
8	KUSTANNUKSET.....	39
8.1	Hankintahinta.....	39
8.2	Käyttökustannukset.....	40
8.2.1	Ioninvaihtolaitoksen käyttökustannukset.....	40
8.2.2	RO- ja EDI-laitoksen käyttökustannukset	41
8.3	Tuotetun veden hinta	41
9	KUSTANNUSTEN TARKASTELU MOLEMMILLE LAITOKSILLE.....	43
10	YHTEENVETO	43
11	JOHTOPÄÄTÖKSET	46
	LÄHTEET	47

KÄYTETYT LYHENTEET

A ₁	heikko anionivahdin
A ₂	vahva anionivaihdin
CA	selluloosa-asettaatti
EDI	elektrodeionisaatio
K	vahva kationivaihdin
MB	sekaioninvaihdin
PA	polyamiini
PBI	polybentseenidiatsoli
PVC	polyvinyylikloridi
RO	reverse osmosis
SDI	Silt Density Index
TEA	Total Exchangeable Anions
TOC	Total Organic Carbon

1 JOHDANTO

Voimalaitoksissa käytettävissä kattiloissa ei voida käyttää suoraan raakavettä, vaan se on puhdistettava kunkin voimalaitoksen tarpeisiin. Raakaveden epäpuhtaudet aiheuttavat kattilalaitoksessa lämmönvaihtopinnoille kerrostumia, syöpymiä ja tukoksia. Raakaveden puhdistus voidaan jakaa esikäsitteilyyn, suolanpoistoon ja jälkikäsitteilyyn.

Korkeapaineisessa kattilalaitoksessa vaaditaan täyssuolanpoistettua vettä, jotta prosessiin syötettävä lisävesi olisi tarpeeksi puhdasta voimalaitosprosessin käyttöön. Täyssuolanpoistoon perinteisesti käytetylle ionivaihtolaitoksen rinnalle on tullut uusi tekniikka, käänteisosmoosi, jolla saadaan laadultaan riittävän hyvää voimalaitosprosessin tarpeisiin. Käänteisosmoosilaitos ei sinällään riitä vielä tuottamaan riittävän hyvälaatuista lisävettä, vaan sen jälkeen tarvitaan vielä joko sekaioninvaihdin tai sähköinen ioninvaihdin.

Nykyisin Pursialassa toimii ioninvaihtolaitos, jonka on kapasiteetiltaan 5,5 m³/h. Ioninvaihtolaitos on rakennettu vuonna 1990 tuottamaan Pursiala 1-kattilalle prosessiin lisävettä. Pursiala 2-kattilan valmistuttua vuonna 2005 lisäveden tarve on lisääntynyt varsinkin kattiloiden häiriötilanteissa sekä kattiloiden täyttövaiheessa. Vesilaitoksen ikääntymisen ja lisäveden riittävyyden vuoksi on tullut tarve uusia täyssuolanpoistolaitos.

Tämä insinööri työ on tehty Etelä-Savon Energia Oy:lle Pursialan voimalaitokselle. Voimalaitoksella uusitaan yli kaksikymmentä vuotta vanha yhden voimalaitoksen tarpeisiin rakennettu ioninvaihtolaitos kapasiteetiltaan suurempaan ioninvaihtolaitokseen tai käänteisosmoosilaitokseen.

Tässä työssä vertaillaan kahdella eri tekniikalla toimivan voimalaitostarpeisiin lisävettä tuottavan laitoksen käyttöä ja paremmuutta. Vertailukohteina ovat hankintahinta, käyttökustannukset, tilan käyttö sekä käyttöturvallisuus.

2 KONSERNIN ESITTELY

Etelä-Savon Energia Oy on kokonaan Mikkelin kaupungin omistama yhtiö. Henkilöstöä oli keskimäärin 86 henkilöä ja liikevaihtoa 46,2 miljoonaa euroa vuonna 2009 (Etelä-Savon Energia Oy).

Pursialan voimalaitos tuottaa sähköä ja kaukolämpöä Etelä-Savon Energia Oy:n jakelualueen tarpeisiin. Voimalaitoksen sähköteho on 62 MW ja kaukolämpöteho 120 MW. Voimalaitos tuottaa vuosittain kaiken yhtiön tarvitseman sähkön ja yli 90 % kaukolämmöstä. Loput kymmenen prosenttia kaukolämmön tarpeesta tuotetaan kaukokäyttölaitoksilla. (Pursialan voimalaitos 2007.)

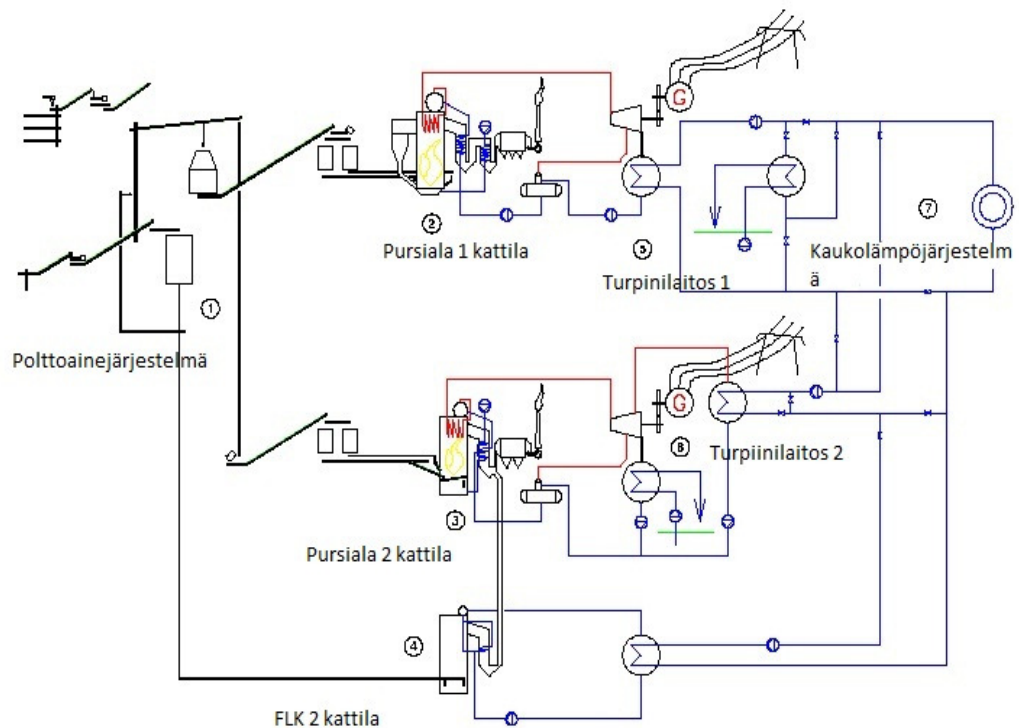
Käytössä oleva 220 MW:n kattilateho on rakennettu kolmessa eri vaiheessa seuraavasti:

- **Leijukerroskattila eli FLK 2** (kaukolämpöteho 27 MW) valmistui vuonna 1984.
- **Pursiala 1** (sähköteho 30 MW/kaukolämpöteho 60 MW) valmistui vuonna 1990.
- **Pursiala 2** (sähköteho 32 MW/kaukolämpöteho 60MW) valmistui vuonna 2005. (Pursialan voimalaitos 2007.)

Vuonna 2009 energiaa tuotettiin 65 % puupolttoaineilla, 32 % turpeella ja 3 % öljyllä sekä kivihiehellä (Etelä-Savon Energia Oy 2010).

3 PURSIALAN VOIMALAITOKSEN TOIMINNAN KUVAUS

Pursialan voimalaitoksella on käytössä kolme kattilaa ja kaksi turbiinigeneraattoria. Normaalisti käytössä on kaksi höyrykattilaa, joissa molemmissa on höyryturbiinigeneraattori sähkön ja kaukolämmön tuotannossa.(Kuva 1.)



KUVA 1. Porsialan voimalaitoslaitteet (Porsialan voimalaitos 2007).

3.1 Voimalaitosblokkien käyttäjärjestys

Porsiala 1 on vastapainevoimalaitos ja se tuottaa sähköä ja kaukolämpöä. Porsiala 1:llä on myös priimausmahdollisuus. Kun halutaan ajaa suurempaa sähkötehoa kuin mitä kaukolämmön tehontarve edellyttää, voidaan lämpö priimata eli siirtää lämpöä Saimaaseen.

Porsiala 2 tuottaa sähköä ja lauhdelämpöä. Lauhdelämpö ajetaan Saimaaseen. Porsiala 2:n turbiinivälitosta voidaan ottaa höyryä myös kaukolämmönsiirtimeen ja toimittaa lämpö kaukolämpöverkkoon.

FLK 2 kattila on kaukolämpökattila ja se otetaan tuotantoon häiriötilanteissa ja kun ulkolämpötila laskee alle -15°C :een, koska tällöin voimalaitosblokkien kapasiteetti ei riitä kattamaan jakelualan lämmöntarvetta.

3.2 Kattilan toimintaperiaate

Tässä työssä käsitellään Pursiala 1:n kattilaa, koska se on paineeltaan ja lämpötilaluokaltaan vaativin veden puhtauden osalta. Kattila on lieriökattila, joka on luonnonkiertokattila. Pursiala 1:n käyttöarvot ovat tulistetun höyryn lämpötilalle 535 °C ja paineelle 114 bar nimelliskuormalla ajettaessa (Alström).

Veden ja höyryn tiheysero pienenee paineen noustessa. Kriittisessä paineessa 221,29 bar ja lämpötilassa 374,15 °C veden ja vesihöyryn tiheys on yhtä suuri eli 315 kg/m³. Tämän vuoksi luonnonkiertokattiloita ei voida käyttää kovin korkeilla höyrynpaineilla. Käytännössä tulistimesta ulos tulevan höyryn paineen pitää olla alle 170 bar, jotta luonnonkierto toimii. Tällöin veden tiheys on vielä noin viisinkertainen höyryn tiheyteen verrattuna. (Höyrykattilan toimintaperiaate.)

Höyryn erottuessa vedestä lieriössä, jäävät kattilakiveä aiheuttavat syöttöveden mukana tulleet epäpuhtaudet pääosin kattilaveteen. Epäpuhtauksien määrä voidaan pitää halutulla tasolla puhaltamalla osa lieriössä olevasta väkevöityneestä vedestä ulos ja korvaamalla se puhtaammalla syöttövedellä. Näin lieriöllä varustetut kattilat eivät vaadi yhtä täydellistä vedenkäsittelyä kuin läpivirtauskattilat. (Höyrykattilan toimintaperiaate.)

3.3 Pursialan voimalaitoksen vesi-höyrykierto

Pursialan voimalaitoksella täyssuolanpoistolaitokselle syötettävä raakavesi otetaan Mikkelin kaupungin vesijohtoverkostosta. Raakaveden sähkönjohtokyky on noin 250 µS/cm (Mikkelin vesilaitos) ja se puhdistetaan voimalaitoksen ioninvaihtolaitoksella. Sähkönjohtavuutta voidaan pitää veden suolapitoisuuden karkeana mittana. Täyssuolanpoistolla tarkoitetaan prosessia, jossa vedestä poistetaan lähes kaikki siinä olevat ionit niin, että jäljelle jää puhdas vesi. Vedenkäsittelyalalla puhtaalla vedellä tarkoitetaan vettä, jonka sähkönjohtokyky on 0,055–0,1 µS/cm ja pH 6,5–7 (Vuorinen 2008, 60).

Täyssuolanpoiston jälkeen puhdas vesi menee lisävesisäiliöön (160 m³). Lisävesisäiliöstä vesi pumpataan lisävesipumpuilla syöttövesisäiliöön. Syöttövesisäiliö lämmitte-

tään höyryllä niin lämpimäksi, että vedestä häviää liuennut happi pois. Happi aiheuttaa syöttövesilinjan kattilan syöpymistä happikorroosion muodossa. Syöttövesisäiliöön syötetään vielä jäännöshapenpoistoon soveltuvaa kemikaalia esim. Boilex-500 (Ashland 2010), jolla säädetään myös syöttöveden pH oikealle tasolle. Syöttövesisäiliössä pH:n täytyy olla 9,0–9,5 kattilatoimittajan antamien arvojen mukaisesti. (Ahlström 1990.)

Veden ollessa kattilan valmistajan arvojen mukaista, syöttövesi tuodaan syöttövesipumpun avulla syöttövesisäiliöstä. Ensin syöttövesi johdetaan syöttöveden esilämmittimien kautta lieriöön, josta vesi johdetaan laskuputkia pitkin tulipesää ympäröivien höyrystinputkien alapäähän. Höyrystinputkissa osa vedestä höyrystyy. Höyrystinputkista kylläisen veden ja vesihöyryn seos palaa takaisin lieriöön, jossa muodostunut höyry ja vesi erotetaan toisistaan. Lieriössä höyrystymättä jäänyt vesi sekoituu lieriöön syötettävään uuteen syöttöveteen ja se virtaa laskuputkia pitkin höyrystinputkiin. (Ahlström 1990.)

Luonnonkiertokattiloissa veden ja vesihöyryn kierto lieriön ja höyrytimen välillä tapahtuu veden ja höyryn tiheuseroon perustuen. Lieriöstä lähtevä veden laskuputki ja tulipesää ympäröivä höyrystinputkisto muodostavat yhtenäisen putkiston. Höyrystinputkistossa osa vedestä höyrystyy tulipesässä vapautuvan lämmön vaikutuksesta. Tällöin muodostuvan veden ja vesihöyryn seoksen tiheys on pienempi kuin laskuputkessa olevan kylläisen veden. Tiheuseroihin perustuen höyrystinputkessa oleva veden ja höyryn seos alkaa kevyempänä nousta ylöspäin virraten takaisin lieriöön, josta laskuputkea pitkin tilalle virtaa suuremman tiheyden omaavaa kylläistä vettä. (Höyrykattilan toimintaperiaate.)

Lieriössä höyry nousee lieriön yläosaan ja virtaa sieltä tulistimille. Tulistimilla höyry lämmitetään 300 °C:sta 535 °C:een ja se johdetaan turbiinille. Turbiinin jälkeen höyry lauhdutetaan vedeksi kaukolämmönvaihtimessa, josta se pumpataan takaisin syöttövesisäiliöön. (Ahlström 1990.)

Jos haihtumattomien suolojen määrä on kattilassa liian korkea, ne aiheuttavat kattilan kuohuntaa, jolloin suolat siirtyvät vedestä höyryyn ja pääsevät höyryn mukana kattilan tulistimiin ja turbiinin siipiin, aiheuttaen kerrostumia. Natrium, kalium ja silikaatti

voivat aiheuttaa syöpymiä ja saostumia turbiinin siipien pinnoille. Näistä tekijöistä aiheutuu turbiinin siivistön epätasapaino. Turbiinin värinöiden kasvaessa yli annettujen raja-arvojen, joudutaan turbiinilaitos ajamaan alas ja puhdistamaan turbiinin siivet mekaanisesti. (Ahlström 1990.)

4 VOIMALAITOKSEN VEDENKÄSITTELYJÄRJESTELMÄN VALINTA

Voimalaitoksen vedenkäsittelyjärjestelmän valintaan vaikuttavat kattilan käyttötarkoitus, kattilatyypin ja turbiinihöyryä tuottavan kattilan paineluokka sekä käytettävissä oleva raakavesi (Sonninen 2007).

4.1 Raakaveden epäpuhtaudet

Luonnonvesissä on aina jonkin verran mikro-organismeja, veteen liuenneita suoloja, kaasuja, erilaisia orgaanisia yhdisteitä, suspendoituneita kiintoaineita ja kolloidisia epäpuhtauksia. Luonnonvesien soveltuvuus suoraan voimalaitoksissa käytettäväksi lisävedeksi vaatii monenlaisia puhdistusprosesseja ennen kuin saavutetaan voimalaitosprosessin vaatimat vesi-arvot. (Sonninen 2007.)

4.1.1 Luonnonvesien epäpuhtauksien luokittelu

Luonnonvesistä löytyneet epäpuhtaudet voidaan luokitella kolmeen luokkaan: karkeisiin, kolloidisiin ja liuenneisiin epäpuhtauksiin (taulukko 1.) (Binnie & Kimber 2009, 5). Näiden epäpuhtauksien mukaan valitaan puhdistusmenetelmä, jolla kuhunkin käyttökohteeseen saadaan juuri oikeanlaista vettä (Sonninen 2007).

TAULUKKO 1. Luonnonvesien sisältämien epäpuhtauksien luokittelu ja puhdistustoimenpiteet (mukailen Sonninen 2007).

Karkeat epäpuhtaudet, hiukkaskoko $> 10^{-4}$ mm	Kolloidiset epäpuhtaudet, hiukkaskoko $10^{-4} - 10^{-5}$ mm		Liukoiset epäpuhtaudet, hiukkaskoko $10^{-8} - 10^{-16}$ mm		
Orgaaniset epäpuhtaudet: - levät - pieneliöt Epäorgaaniset epäpuhtaudet: - savi - liete - hiekka	Orgaaniset: - humusaine - öljyt - rasvat - jäteliemi	Epäorgaaniset: -kolloidinen silikaatti -kolloidinen rauta -kolloidinen mangaani	Liukoiset suolat: Kationit: Ca ²⁺ Mg ²⁺ Na ⁺ K ⁺ Al ³⁺ H ⁺ NH ⁴⁺	Liukoiset suolat: Anionit: HCO ₃ ⁻ SO ₄ ²⁻ Cl ⁻ NO ₃ ⁻ SiO ₃ ²⁻ OH ⁻	Liukoiset kaasut: Happi (O ₂) Hiilidioksidi (CO ₂) Typpi (N ₂)
Puhdistus tehdään ulkopuolisella vesilaitoksella			Pehmennyssuodatus		Terminen kaasunpoisto
			Suolanpoisto		Kemiallinen kaasunpoisto
			Täyssuolanpoisto		

4.1.2 Karkeat ja kolloidiset epäpuhtaudet

Karkeat epäpuhtaudet ovat veteen suspendoituneita kiinteitä partikkeleita, joiden partikkelikoko on suurempi kuin 1 µm. Ne ovat niin suuria, että ne voidaan havaita paljaalla silmällä ja niiden välillä ei ole sähköisiä voimia, jotka voisivat sitoa niitä toisiinsa. Suspendoituneet kiinteät aineet voidaan erottaa toisistaan tiheyden perusteella. Ne voidaan poistaa vedestä selkeyttämällä tai mekaanisesti suodattamalla. (Sonninen 2007.)

Kolloidiset epäpuhtaudet ovat pieniä ja keveitä, joiden partikkelikoko vaihtelee 0,1–0,01 µm välillä. Kolloidiset epäpuhtaudet eivät laskeudu ja niillä on useasti sama sähkövaraus (negatiivinen), joka estää niitä yhdistymästä suuremmiksi partikkeleiksi. (Sonninen 2007.)

Luonnonvesissä keskeisimmät epäpuhtaudet kuten humus, kolloidinen silikaatti ja raudan ja mangaanin kolloidiset yhdisteet, ovat merkittäviä veden laadun kannalta. Niiden poistaminen vedestä vaatii kemiallisen saostamisen, nanosuodatuksen tai käänteisosmoosin. (Binnie & Kimber 2009, 5-6.)(Sonninen 2007.)

4.1.3 Orgaaninen aines

Suomen pintavesissä oleva orgaaninen aines on peräisin maaperästä ja soilta järviin huuhtoutunutta kolloidista humusta, jonka kemiallinen koostumus ja molekyyli rakenne on erittäin moninainen. Vedessä olevan orgaanisen aineksen pitoisuuden mittana pidetään kaliumpermanganaattikulutusta eli KMnO_4 -kulutusta. Suomen pintavesien kaliumpermanganaatti-kulutus on varsin korkea vuodenaikojen vaihdellessa, jolloin se on noin 20–40 mg/l. Keväällä tulvien ja rankkasateiden aikaan, KMnO_4 -kulutus voi olla jopa 200 mg/l. Vesi-höyrykierrossa humus aiheuttaa tukkeutumia ja huonosti lämpöä johtavia kerrostumia sekä kattilan kuohumista. (Sonninen 2007.)

4.1.4 Liuenneet suolat ja kaasut

Maaperästä liukenee veteen suoloja, jotka ovat vesifaasissa jakautuneet positiivisesti varautuneiksi kationeiksi tai negatiivisesti varautuneiksi anioneiksi. Tavallisimpia luonnon vesien sisältämiä kationeita ovat alumiini (Al^{3+}), kalsium (Ca^{2+}), natrium (Na^{2+}), kalium (K^+), rauta (Fe^{2+}) ja magnesium (Mg^{2+}). Yleisimmät anionit ovat vetykarbonaatti (HCO_3^-), kloridi (Cl^-), sulfaatti (SO_4^{2-}), ja nitraatti (NO_3^-). (Binnie & Kimber 2009, 6.)

Kovuussuolat, kalsium ja magnesium, muodostavat vesi-höyrykierrossa kattilakiveä, joka saostuu lämpöpinnoille. Silikaatti muodostaa yhdessä kovuussuolojen ja alumiiniyhdisteiden kanssa vaikeasti poistettavia kerrostumia lämpöpinnoille. Sen liukeminen höyryyn kasvaa paineen kasvaessa, jolloin se saostuu turbiinin siivilille. (Sonninen 2007.)

Luonnonvesissä on myös liuenneita kaasuja kuten hiilidioksidia (CO_2), happea (O_2) ja typpeä (N_2). Hiilidioksidi ja happi ovat erittäin reaktiivisia kaasuja. Niillä on suuri merkitys raudan ja muiden vesihöyrykierron rakennemateriaalien korroosiossa. Ilman

sisältämä hiilidioksidi liukenee helposti veteen ja tekee vedestä hapanta. Mitä enemmän vedessä on hiilidioksidia, sitä enemmän siihen voi liueta kalkkia. Kalkki vuorostaan aiheuttaa lämpöpinnoille vaikeasti poistettavia lämpöä eristäviä kerrostumia. Typpi taas on inertti kaasu eikä näin ollen aiheuta korroosio-ongelmia vesiprosesseissa. (Sonninen 2007.)

4.2 Raakaveden arvot ennen ioninvaihto- tai käänteisosmoosilaitosta

Yleisesti raakavedellä tarkoitetaan käsittelemätöntä luonnonvettä, jonka käsittelytarve määräytyy kunkin käyttökohteen mukaisesti. Raakaveden epäpuhtaudet aiheuttavat vaativissa prosessiolosuhteissa vakavia ongelmia voimalaitoksen toiminnalle. (Sonninen 2007.) Tässä työssä raakavedellä tarkoitetaan Pursialan voimalaitokselle tulevaa Mikkelin kaupungin talousvettä, joka on pohjavettä. Raakaveden jatkopuhdistus suoritetaan Etelä-Savon Energia Oy:n Pursialan voimalaitoksen täyssuolanpoistolaitoksella.

Täyssuolanpoistolaitoksen mitoitusta varten tarvitaan raakaveden laadusta analyysiarvot, joiden perusteella voidaan määrittää kulloinkin tarvittavan veden puhdistuksen tarve. (Taulukko 2.) Kemiallisilta ominaisuuksiltaan pohjavesi on erilaista kuin pintavesi. Pohjavesi sisältää vähemmän humusta kuin pintavesi, mutta pohjavedessä on useammin enemmän liuennutta rautaa ja liuenneita kaasuja kuten hiilidioksidia ja metaania. Haitallisia komponentteja täyssuolanpoistolaitoksen mitoituksessa ovat rauta, alumiini, orgaaninen aines sekä hapettimet. (Sonninen 2007.)

TAULUKKO 2. Kooste Mikkelin vesilaitoksen talousvesianalyyseistä vuodelta 2009 (Mikkelin vesilaitos 2009).

Analyysi	Raja-arvot	Pursialan verkostovesi/ keskiarvo	Pursialan verkostovesi/ maksimi	Analyysien määrä
Pesäkkeiden lukumäärä pmy/1 ml (20°C)	100 pmy/1 ml	43	146	13
Koliformiset bakteerit kpl/100 ml	0 pmy/100 ml	0	0	12
pH	6,5-9,5	8,2	8,3	13
Sähkönjohtavuus $\mu\text{S}/\text{cm}$	< 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	286	286	11
Rauta $\mu\text{g}/\text{l}$	200 $\mu\text{S}/\text{l}$	69	110	13
Kloridi mg/l	250 mg/l	22	26	6
Nitraatti (NO_3^-) mg/l	50 mg/l	< 1	1,6	13
Nitriitti (NO_2^-) mg/l	0,5 mg/l	< 0,01		
Hapettavuus (KMnO_4) mg/l	20 mg/l	4,4	5,8	7
Kokonaiskovuus mmol/l	mmol/l	0,9	1,03	7
Alkaliniteetti mmol/l	mmol/l	0,98	1,15	
Permanganaattiluku mg/l	mg/l	6,45	9,4	-
Vapaa hiilihappo CO_2 mg/l	CO_2 mg/l	< 2	<2	7
SiO_2^*	mg/l	6,21	6,45	2

* SiO_2 analysoitu Pursialan voimalaitoksen vesilaboratoriossa 2010

Raakaveden analyysiarvojen lisäksi mitoituksessa olennaista on molempien voimalaitoksien lisäveden tarve. Häiriötilanteessa lisäveden tarve voi olla moninkertainen normaaliin kulutukseen nähden. Normaalisissa ajotilanteissa veden kulutus molemmille kattiloille on noin 1,0 kg/s. Molempien voimalaitoskattiloiden lisävedenkulutus oli 33012 m³ (v. 2010), josta lisäveden tarpeeksi tulee 90 m³/vrk.

4.3 Lisäveden valmistus

Lisävedellä tarkoitetaan lauhde- ja ulospuhallushäviöiden korvaamiseksi vesihöyrykiertoon tuotavaa vettä, joka valmistetaan tapauskohtaisesti joko kemiallisesti esikäsitellystä luonnonvedestä kuten pintavedestä, pohjavedestä tai mekaanisesti suodatetusta vesijohtovedestä. Tämän jälkeen suoritetaan veden suolanpoisto pehmenyysuodatuksella.

sella, suolanpoistolla tai täyssuolanpoistolla. (Sonninen 2007.) Pursialan voimalaitoksella täyssuolanpoistoon käytetään ionivaihtotekniikkaa.

4.4 Lisäveden laatuvaatimukset

Lisäveden tulee olla siinä määrin puhdasta, että se ei muodosta kerrostumia eikä aiheuta korroosiota höyryvoimalaitosten vesihöyrykierron eri osissa. Sen laatu ja käsittelytarve määräytyvät aina kattilan käyttötarkoituksen, rakenteen ja lieriön paineluokan vaatimusten mukaisesti. (Sonninen 2007.) Ohjeavot kattilalle antaa laitostoimittaja, jonka antamat lisäveden laatuvaatimukset Pursiala 1-kattilalle on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Kattilan toimittajan lisävesiarvot (25°C) (Ahlström 1990).

<i>pH</i>	<i>> 6</i>
<i>Kovuus mval/ kg</i>	<i>< 0,05</i>
<i>KMnO₄- kulutus mg/kg</i>	<i>< 3</i>
<i>SiO₂ mg/kg</i>	<i>< 0,02</i>
<i>Na + K mg/kg</i>	<i>< 0,02</i>
<i>Konduktiivisuus Y₂₅ mS/m</i>	<i>0,05</i>

Pursiala 1:llä, jonka höyrinpaine on 114 bar, lisäveden tulee olla täyssuolanpoistettua vettä. Täyssuolanpoistoon voidaan käyttää ioninvaihtotekniikkaa tai käänteisosmoositekniikkaa, jota täydennetään joko sekaionivaihtimella (MB) tai sähköisellä ionivaihtimella (EDI). Täyssuolanpoistettua vettä voidaan valmistaa kuvassa 2 esitetyillä vedenkäsittelytekniikoilla. (Sonninen 2007.)

1. sukupolvi: ioninvaihtotekniikka



2. sukupolvi: käänteisosmoosi + ioninvaihto



3. sukupolvi: käänteisosmoosi + EDI



- kationi + anioni = sarjan kytketty kationivaihdin ja anionivaihdin
- MB = sekaionivaihdin
- RO = käänteisosmoosikoneikko
- EDI = elektrodeionisaatio eli sähkökemiallinen ioninvaihtosovellus

KUVA 2. Kaaviokuva täyssuolanpoistovedenkäsittelytekniikoista (mukailten Sonninen 2007).

5 IONINVAIHTO

Ioninvaihtoa on käytetty perinteisesti voimalaitosten suolanpoistoon. Puhdas vesi sisältää aina erisuuruisia määriä ioneja, jotka on saatava vedestä pois, jotta vesi täyttäisi lisävedelle annetut tiukat laatuvaatimukset.

5.1 Ioninvaihdon toimintaperiaate

Ioninvaihto perustuu jatkuvaan ionien vaihtoon kiinteän faasin eli ioninvaihtohartsin ja nestefaasin välillä. Ioninvaihto tapahtuu ioninvaihtohartsissa. (Viiala 2005, 5.)

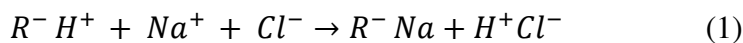
Ioninvaihtimissa eli suodatinsäiliössä käytetään kationi- ja anionihartsia, joilla ioninvaihto raakavedestä suoritetaan. Raakavedestä vaihdetaan eri ionit takaisin vetyioneiksi (H^+) ja hydroksyyli-ioneiksi (OH^-), jolloin saadaan ultrapuhdasta vettä (H_2O). (Kuva 3.)



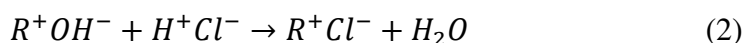
KUVA 3. Pursialan voimalaitoksen ioninvaihtolaitos (Pursialan voimalaitos).

Ioninvaihtosykli koostuu käyttöjaksosta ja regeneroinnista eli elvytyksestä. Käyttöjaksen aikana raakavedessä olevat ionit ajetaan hartsipatjaan, joka ioninvaihtoreaktioiden tuloksena luovuttaa veteen elvytyskemikaalin mukaisen ionin. Täyssuolanpoistossa kationinvaihtohartsi elvytetään joko suolahapolla (HCl) tai rikkihapolla (H₂SO₄). Anioninvaihtohartsi elvytetään natriumhydroksidilla (NaOH). Tuloksena on kationinvaihtohartsi H⁺-muodossa ja anioninvaihtohartsi OH⁻-muodossa. Ioninvaihtoreaktiot vahvoissa hartseissa tapahtuvat kaavojen 1 ja 2 mukaisesti. (Vuorinen 2008, 61.)

Kationinvaihtohartsi (R⁻):



Anioninvaihtohartsi (R⁺):



5.2 Ioninvaihtohartsit

Nykyisin käytettävät hartsit ovat styreenidivinyylibentseenipolymeerejä, mutta myös muita esim. akryylipohjaisia hartseja on markkinoilla. Ionivaihto-ominaisuuksiensa mukaan hartsit luokitellaan heikkoon ja vahvaan kationi- tai anionihartsiin. Ioninvaih-

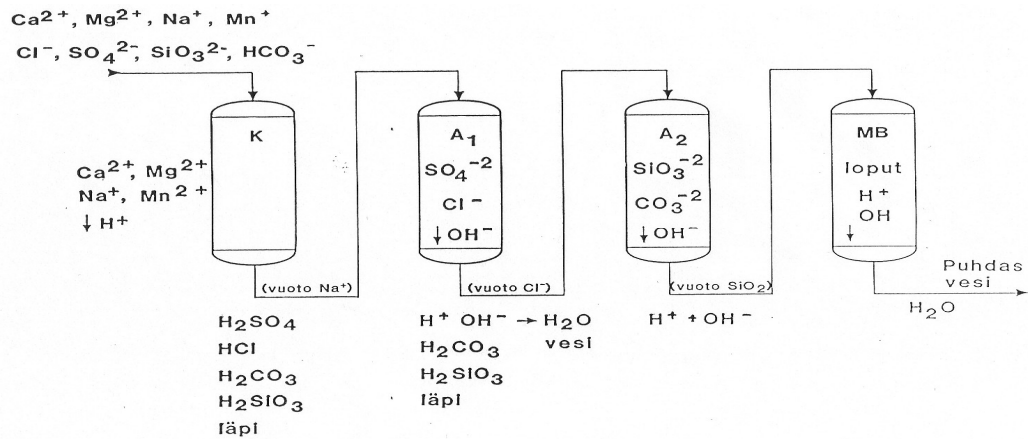
tohartseissa on reaktiivisia atomiryhmiä, jotka vetävät puoleensa kationeja ja anioneja. Reaktiivisia ryhmiä on noin kymmenen prosenttia hartsipallon pinnalla ja noin yhdeksänkymmentä prosenttia hartsipallon huokosissa. (Oja 2009.)

5.2.1 Kationihartsit

Kationivaihtimessa käytetään joko heikkoa tai vahvaa kationihartsia. Kationihartsi elvytetään joko suola- tai rikkihapolla.

Heikko kationihartsi poistaa kemiallisesti käsitellystä vedestä ainoastaan vetykarbonaattiin sitoutuneet kationit. Suomen olosuhteissa luonnonvesi sisältää yleensä niin vähän vetykarbonaatteja, että kemiallisesti käsiteltyä vettä ei yleensä käsitellä heikolla kationivaihtimella. Yleisesti käytetään vain vahvaa kationivaihdinta, joka poistaa kaikki kationit. (Sonninen 2007.)

Vahva kationihartsi poistaa esikäsitellystä vedestä kaikki kationit ja kationivaihdettu vesi sisältää kationivaihtimessa veteen liuenneista suoloista muodostuneita vastaavia happoja (Kuva 4.). Tämän takia kationivaihtimen poistuva vesi jälkeen käsitellään heikolla ja vahvalla anionivaihtimella sekä sekaionivaihtimella tai vahvalla kationivaihtimella. (Sonninen 2007.)



- K = vahva kationivaihdin
 A₁ = heikko anionivaihdin
 A₂ = vahva anionivaihdin
 MB = sekaionivaihdin

KUVA 4. Tyypillinen Suomessa käytettävä suolanpoistosarja ja sen toiminta (Sonninen 2007).

5.2.2 Anionihartsit

Anionivaihtimissa käytetään heikkoa ja vahvaa anionihartsia. Anionihartsit elvytetään lipeällä eli natriumhydroksidilla.

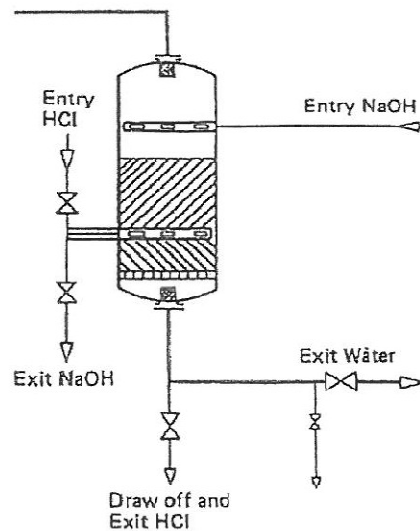
Heikko anionihartsit poistaa vedestä ainoastaan vahvojen happojen anionit eli sulfaatti-, kloridi- ja nitraatti-ionit. Se ei pysty sitomaan heikkojen happojen anioneja kuten silikaattia, karbonaatti-ioneja ja hiilidioksidia. (Sonninen 2007.)

Vahva anionihartsit sitoo kaikki anionit, myös silikaatin ja hiilidioksidin. Taloudellisuuden takia poistetaan heikolla anionivaihtimella ensin kaikki vahvat anionit kuten sulfaatti, kloridi ja nitraatti ja tämän jälkeen vesi johdetaan vahvaan anionivaihtimeen, jossa poistetaan silikaatti ja hiilidioksidi. (Sonninen 2007.)

5.2.3 Sekaioninvaihtimen hartsit

Tavallisesti anionivaihtimien jälkeen vesi on puhdasta. Kuitenkin mahdollisten suola-
vuotojen, lähinnä natriumvuodon ja siitä aiheutuvan silikaattivuodon, vuoksi käytetään monesti viimeisenä yksikkönä sekaioninvaihdinta eli MB-vaihdinta. MB-
vaihtimessa käytetään sekä vahvaa anioni- että kationihartsia sekaisin. (Sonninen
2007.)

Ennen elvytystä anioni- ja kationihartsit erotetaan toisistaan vastavirtahuuhtelulla
ominaispainoeron perusteella. Kevyempi anionihartsit kerrostuu ioninvaihtimen ylä-
osaan ja painavampi kationihartsit jää vaihtimen alaosaan. Joissakin vaihtimissa käytetään inerttiä hartsia näiden lisäksi, jotta anioni- ja kationihartsit saadaan pysymään erillään elvytyksen ajan ja etteivät elvytykskemikaalit sekoitu toisiinsa (Kuva 5.). (Sonninen 2007.)



KUVA 5. Sekaioninvaihtimen rakenne (Sonninen 2007).

5.3 Ioninvaihtimen rakenne

Ioninvaihtimet luokitellaan rakenteen sekä suodatus- ja elvytysvaiheensa virtaussuunnan perusteella. Suodatinsäiliö voidaan valmistaa siten, että hartsipatjan päälle jätetään vapaa tila, jota käytetään hyödyksi vastavirtahuuhtelussa. Tällöin saadaan poistettua epäpuhtauksia ja rikkoutuneita hartsipalasia. Toinen vaihtoehto on ns. pakattu peti,

jossa hartsipatja sijoitetaan suutinpohjien väliin siten, että tyhjää tilaa ei jää hartsipatjan päälle. Pakatussa pedissä on tiivis hartsipatja, jonka etuna on elvytyskemikaalien tasainen levittäytyminen hartsin joukkoon. (Viiala 2005, 6.)

5.3.1 Myötävirtaan elvytettävä ioninvaihdin

Vanhoissa täyssuolanpoistolaitoksissa ioninvaihtimet ovat myötävirtaan elvytettäviä ioninvaihtimia, joissa hartsipatja on suuttimilla varustetun välipohjan päällä. Suolanpoistoon tuleva vesi, elvytysliuos sekä huuhteluvesi kulkevat hartsipatjan läpi samansuuntaisesti ylhäältä alaspäin. Tässä menetelmässä merkittävä haitta on hartsipatjan elvytyksen puutteellisuus. Elvytyksessä hartsipatjan alaosa jää huonommin elvytettyä, elvytysaika on pitkä ja elvytyskemikaalien kulutus suuri. Suolanpoistoprosessia on myös vaikea automatisoida. (Sonninen 2007.)

5.3.2 Vastavirtaan elvytettävä ioninvaihdin

Uusimmissa täyssuolanpoistolaitoksissa käytetään yksinomaan vastavirtaan elvytettäviä ioninvaihtimia. Näissä elvytysliuos ja huuhteluvesi kulkevat hartsipatjan läpi ylhäältä alaspäin ja suolanpoistoon tuleva raakavesi tulee alhaalta ylöspäin. (Sonninen 2007.)

Vastavirtaan elvytettävän laitoksen etuja ovat hartsipatjan paikallaan pysyminen ja se ettei hartsi kulu hankautumalla. Elvytysaika lyhenee ja elvytyskemikaalien kulutus pienenee. Elvytyskemikaalien tarve on noin puolet myötävirtaelvytteiseen vaihtimeen verrattuna. Pienempi kemikaalimäärä vähentää myös huuhteluun tarvittavan veden määrää, jolloin neutralointia tarvitsevan veden määrä myös pienenee. Tuoteveden laatu on myös parempaa, koska hartsipatjan puutteellisesti elvytetty hartsi on vaihtimen yläosassa ja puhdistettu vesi poistuu vaihtimen alaosasta, jossa on täysin elvytetty hartsi. (Sonninen 2007.)

5.4 Käyttöjakso

Käyttöjakson alussa ioninvaihtohartsi on varautunut korvaavilla ioneilla. Ionivaihtimen käyttöjakson aikana vesi virtaa vaihtimen läpi, kunnes hartsi on kyllästynyt vedessä

olleilla ioneilla ja se tulee elvyttää. Elvytystarve määritetään laskennallisesti hartsin kapasiteetista ja vedessä olevista ionien määrästä. (Viiala 2005, 8.)

5.5 Elvytysjakso

Hartsien kapasiteetin ehtyessä ne elvytetään takaisin käyttökuntoon. Kationivaihtimet elvytetään joko suola- tai rikkihapolla ja anionivaihtimet natriumhydroksidilla eli lipeällä.

Elvytys aloitetaan suorittamalla hartsipedille vastavirtahuuhtelu. Tämän tarkoituksena on poistaa veden mukana tulleet likahiukkaset ja mahdollisesti hartsista irronneet pienemmät palaset. Seuraavaksi käännetään käytössä tapahtunut reaktio päinvastaiseen suuntaan lisäämällä hartsipetiiniin, kationinvaihtimeen H^+ -ioneja rikki- tai suolahapon avulla ja anioninvaihtimeen OH^- -ioneja lipeän avulla. Tarvittava määrä on tuhansia kertoja suurempi kuin veden normaali anioni- tai kationipitoisuus. Elvytystä jatketaan ajamalla likaantunut happo ja lipeä neutralointisäiliöön. Seuraavaksi tulee ns. syrjäytysvaihe, jossa puhtaalla vedellä, samalla nopeudella kuin elvytyksessä, syrjäytetään happo ja lipeä hartsimassan seasta. Lopuksi suoritetaan loppuhuuhdelu nopeammalla virtauksella, kunnes sähkönjohtokyvyn avulla todetaan hapon ja lipeän poistuneen massoista. (Oja 2009.)

Vaihdinten huuhteluviedet johdetaan neutralointisäiliöön, jossa pH säädetään 6–8 välille, jotta se voidaan laskea viemäröintiverkkoon. Neutralointi suoritetaan lisäämällä neutralointisäiliöön happoa tai emästä tai neutralointiin soveltuvaa kaupallista kemikaalia esim. Hydrolit Mg (Hyxo 2005). Neutralointisäiliössä huuhteluvettä kierrätetään joko sekoittimella tai kierrätyspumulla, jotta kemikaalien sekoittuminen tehostuu. (Viiala 2005, 9.)

5.6 Ioninvaihtosarjojen kytkennät

Ioninvaihtosarjoja on yleensä kaksi rinnan kytkettyä ioninvaihtosarjaa, joista toinen on käytössä ja toinen on elvytyksessä tai odottaa käyttöä. Käyttämällä yhtä kationinvaihdinta ja sen perässä anioninvaihdinta päästään noin 99 prosentin hyötysuhteeseen. (Oja 2009.) Tämä riittää matalapainekattiloilla, joiden lieriöpaine on alle 40 bar. Näiden

kattiloiden veden puhtauden laatuvaatimus ei ole korkea. Korkeapaineisille kattiloille, joiden lieriöpaine on yli 67 bar, kationi- ja anionivaihdin ei riitä vaan on käytettävä täyssiulanpoistosarjaa, joka koostuu vahvasta kationivaihtimesta (K), heikosta anionivaihtimesta (A₁), vahvasta anionivaihtimesta (A₂) ja sekaionivaihtimesta (MB) tai poliisisuodattimena toimivasta vahvasta kationivaihtimesta (K). Heikko anionivaihdin vaihtaa kaikki vedessä olevat vahvojen happojen anionit (SO₄²⁻, Cl⁻ ja NO₃⁻), joten vahvan anionivaihtimen kapasiteetti voidaan käyttää kokonaisuudessaan silikaatin ja hiilidioksidin poistamiseen. (Sonninen 2007.)

Uusissa ioninvaihtolaitoksissa laitetaan useasti kustannussyistä heikko ja vahva anionihartsi samaan paineastiaan, joka erotetaan toisistaan suutinvälipohjalla. Tällöin heikko anionihartsi on alemmassa paineastian osassa ja vahva ylemmässä osassa. Ioninvaihtosarjan kytkentä on tällöin K-A₁/A₂-MB tai K-A₁/A₂-K. (Sonninen 2007.)

5.7 Ioninvaihdon mitoituksesta

Laitoksen suunnittelussa kaikki lähtee vesianalyysistä, jonka on oltava edustava ja kattava sekä laadullisesti että määrällisesti. Mitoitusanalyysissä tulee olla eriteltyinä kationit ja anionit sekä muut vedessä olevat epäpuhtaudet, jotka ovat likaavia ja haitallisia komponentteja, kuten rauta, alumiini, orgaaninen aines ja hapettimet. (Taulukko 4.). (Sonninen 2007.)

TAULUKKO 4. Mitoituksessa analysoitavat suureet (Sonninen 2007).

<i>Kationit</i>	<i>Ca, Mg, Na, K</i>
<i>Anionit</i>	<i>SO₄, Cl, NO₃, HCO₃</i>
<i>Muut analyysitiedot</i>	<i>Kiintoaine</i> <i>Sameus</i> <i>TOC (total organic carbon)</i> <i>KMnO₄</i> <i>Al</i> <i>Fe</i> <i>Kolloidinen silikaatti</i> <i>m-luku</i> <i>-(m)-luku (kationivaihdettu m-luku)</i> <i>p-luku = CO₂-pitoisuus</i>

Täyssuolanpoistoa mitoittaessa silikaatti on ollut perinteisesti tarkkailluin komponentti, johtuen sen alhaisesta selektiivisyydestä sekä haihtuvuudesta vesi-höyrykierrossa. (Vuorinen 2010).

Raakaveden laadun lisäksi tarvitaan mitoituksen lähtötiedoiksi vaaditun käsitellyn veden laatu ja tarve. Näiden lähtötietojen perusteella valitaan prosessi, hartsityypit ja elvytysasteet. Lähtötietojen avulla saadaan myös tarvittavan hartsin määrät, käyttökapasiteetti ja edelleen vaihtimien koko ja lukumäärä. Hartsintoimittajilta on saatavissa ioninvaihdon eri prosessien mitoitukseen tarkoitettuja laskenta- ja suunnitteluohjelmia. (Vuorinen 2010.)

5.8 Toiminnan seuranta

Ioninvaihtolaitoksen käyttövalvonta jaetaan kolmeen ryhmään: raakaveden valvontaan, ajojakson ja sen päättymisen valvontaan ja pitkän aikavälin valvontaan (Vuorinen 2010).

Verkostovedessä raakaveden vaihtelut ovat hitaampia kuin luonnonvedestä valmistetussa vedessä. Pohjavesialueella on kuitenkin havaittavissa luonnonkierrosta johtuvaa vaihtelua, joka vaikuttaa ioninvaihtosarjojen toimintaan. Raakavesiarvoja onkin syytä seurata voimalaitoksella vähintään sähkönsäilytysmittauksella (Vuorinen 2010).

Ajojakson aikana tärkeimmät mittaukset ovat sähkönsäilytys- ja silikaattimittaukset jatkuvatoimisinä. Natriummittaus on hyvä vuotojen havaitsemisessa, koska natrium tulee ensimmäisen ioninvaihtimilta läpi, tosin myös sähkönsäilytysmittaus reagoi natriumin nousuun. Natriummittaus on pakollinen jos kationivaihdin on mitoitettu ehtymään ensimmäisenä. (Vuorinen 2010.)

Pitkän aikavälin seurantaan kuuluvat ioninvaihtolaitoksen toiminnan seuranta ja ioninvaihtohartsien kunnan seuranta. Toiminnan seurannassa kiinnitetään huomio painerojen kasvuun vaihtimien yli, elvytysten jälkeiseen pesu- ja käynnistysaikoihin ja ajojakson pituuden seurantaan. Hartsien likaantumisen seurauksena käyntijaksot lyhenevät ja elvytysvälit tihenevät ja tuoteveden laatu heikkenee. (Vuorinen 2010.)

Ioninvaihtomassat ovat kulutustavaraa. Ne menettävät kapasiteettiaan, jolloin ajojaksot lyhenevät ja näin ollen myös elvytysmäärät kasvavat. Normaalit käyttöiät vaihtelevat hartsityypeittäin. Kestävämpiä ovat kationihartsit, joiden kestoikä voi olla jopa 10 vuotta. Anionihartsien kestoikä on lyhyempiä noin neljästä seitsemään vuoteen. Likaantuminen, hapettavat olosuhteet ja korkeat lämpötilat lyhentävät hartsien käyttöikää. Hartseille voidaan suorittaa kapasiteettikokeita, jolloin hartsien kunto voidaan arvioida ja hartseilla voidaan ajaa mahdollisimman pitkään. (Vuorinen 2010.)

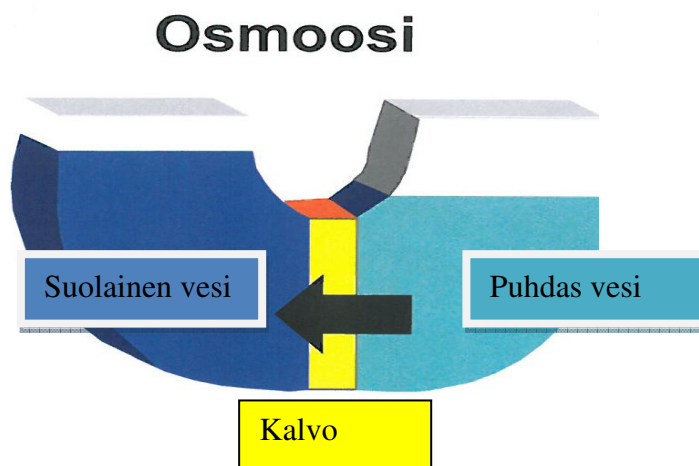
Nykyisin Pursialassa käytössä olevien ioninvaihtosarjojen ajojaksot (60 m³) ja elvytysjaksot toimivat automaation ohjaamana. Häiriötilanteista tulee valvomoon yhteishälytys, joka kuitataan vesilaitoksella. Ajojaksojen ja elvytyksien onnistumista mittaavat sähkönsäilytys-, silikaatti- ja natriumanalysointilaitokset. Hartsien elinikä nykyisellä veden kulutusmäärällä on noin 4–5 vuotta.

6 OSMOOSI, KÄÄNTEISOSMOOSI JA EDI

Osmoosi on luonnossa tapahtuva ilmiö, jossa puhdas vesi virtaa puoliläpäisevän kalvon läpi suolaisemman liuoksen puolelle. Käänteisosmoosi on käänteinen ilmiö luonnossa tapahtuvalle osmoosi-ilmiölle. Käänteisosmoosissa kohdistetaan paine suolaisemman veden puolelle ja näin virtauksen suunta kääntyy ja vettä alkaa virrata puhtaan veden puolelle. Käänteisosmoosi on tehokkain fysikaalinen suodatusmenetelmä. Sen avulla saadaan raakavedestä pois 95–99 % veteen liuenneista suoloista. Loput suolat voidaan poistaa EDI- tekniikalla, jossa käytetään yhdistettyä ioninvaihto-, kalvonerotus- ja elektrodialyysitekniikkaa. (Sonninen 2007.)

6.1 Osmoosi-ilmiö

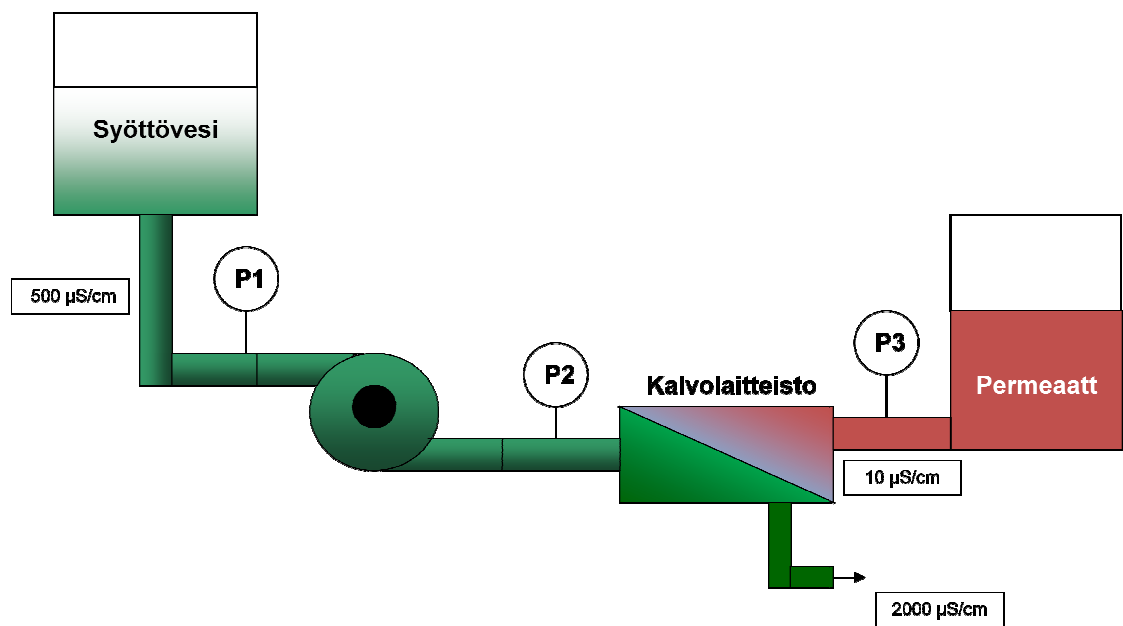
Osmoosi -ilmiö tapahtuu, kun laimeammasta vesiliuoksesta siirtyy puhdasta vettä kalvon läpi suolaisemman veden puolelle laimentaan sitä. Tällöin puhtaan veden puolella ja suolaisemman veden puolella olevat vesimolekyylit törmäilevät puoliläpäisevään kalvoon ja siirtyvät törmäysten vaikutuksesta kalvon läpi molempiin suuntiin. Osmoositapahtuman jatkuessa, puhtaan veden puolella veden pinta laskee ja suolaisen veden puolella vastaavasti nousee, lisäten veden hydrostaattista painetta sekä vesimolekyylien ja kalvojen välisiä törmäyksiä suolaisen veden puolella. Lopulta saavutetaan tasapainotila, jossa kalvon molemmilla puolilla tapahtuu yhtä paljon vesimolekyylien ja kalvon välisiä törmäyksiä. Tällöin vettä siirtyy kalvon läpi yhtä paljon molempiin suuntiin ja osmoosiin perustuva aineensiirto loppuu (Kuva 6). (Sonninen 2007.)



KUVA 6. Osmoosi-ilmiö (Vidqvist 2006).

6.2 Käänteisosmoosi eli reverse osmosis (RO)

Käänteisosmoosi on käänteinen ilmiö edellä kuvatulle osmoosi-ilmiölle. Käänteisosmoosisa syöttöliuos eli suolaisempi vesiliuos paineistetaan pumpulla siten, että paine on suurempi kuin järjestelmässä vallitseva osmoottinen paine ja kalvon virtausvastus. Tällöin syöttövesi virtaa suolaisemman veden puolelta puoliläpäisevän kalvon läpi puhtaan veden puolelle. Tätä puhtaan veden puolelle tulevaa vettä kutsutaan permeaatiksi. Koska veteen liuenneet suolat ja muut epäpuhtaudet eivät läpäise puoliläpäisevää kalvoa, syöttövesi virtaa jatkuvana virtauksena suolaisemman veden puolelta puhtaan veden puolelle. Samanaikaisesti veteen liuenneet suolat väkevöityvät suolaisemman veden puolelta, josta ne poistetaan konsentraattina eli rejektinä viemäriin (Kuva 7.). (Sonninen 2007.)



P1= paine ennen pumppua

P2= paine pumpun jälkeen suolaisemman veden puolella

P3= paine puhtasvesipuolella

KUVA 7. Kalvosuodatuksen periaate (Oja 2009).

Suolojen lisäksi käänteisosmoosilaitteisto poistaa myös orgaaniset aineet, kiintopartikelit, proteiinit ja bakteerit sekä suuri molekyyliset yhdisteet, joiden molekyylikoko on yli 150–250 atomiyksikköä. Tavanomaisissa käänteisosmoosikoneikoissa tulevan veden virtaus, permeaatin tulovirtaus sekä rejektin poistovirtaus säädetään siten, että

järjestelmässä vallitsee tasapaino. Teollisissa sovelluksissa permeaatin osuus on käsiteltävän veden suolapitoisuudesta riippuen noin 75–80% käänteisosmoosiin tulevasta syöttövedestä (Sonninen 2007.)

6.3 Käänteisosmoosilaitteiston rakenne

Käänteisosmoosilaitteisto koostuu veden esikäsittelylaitteista, paineenkorotuspumpusta, paineputkista, käänteisosmoosikalvoista, putkistosta ja tarvittavasta instrumentoinnista (kuva 8).



KUVA 8. Käänteisosmoosilaitteisto (Prominent).

6.4 Raakaveden esikäsittely ennen käänteisosmoosiyksikköä

Suomessa RO-kalvojen likaantumista aiheuttavat raakaveden sisältämät humus ja orgaaninen aine, rauta, alumiini, mangaani, kovuussuolojen aiheuttamat kerrostumat, kiintoaines sekä erilaiset bakteerikasvustot (Sonninen 2007).

Kemiallisesti esikäsittelyn veden sisältämät kolloidiset epäpuhtaudet kuten kolloidiset humus, rauta, mangaani ja silikaatti poistetaan kemiallisella saostuksella, jossa koagu-

lointikemikaalina voidaan käyttää joko rautasuoloja (ferrikloridia ja ferrisulfaattia) tai alumiinisuoloja (alumiinisulfaattia tai polyalumiinikloridia). Saostuksen jälkeen vesi voidaan selkeyttää pintasaostuksella, erityyppisillä jatkuvatoimisilla hiekkasuodattimilla tai painehiekkasuodattimilla. Menetelmät valitaan raakaveden laadun perusteella. Tarvittaessa vedestä poistetaan raakaveden kemiallisessa esikäsittelyprosessissa veteen jääneet koagulointikemikaalien jäämät (jäännösrauta ja jäännösalumiini) yhdistetyllä hapetuksella ja hiekkasuodatuksella. (Sonninen 2007.)

Pintavettä käytettäessä vesi yleensä kloorataan biologisen kasvuston estämiseksi. RO-kalvot eivät kestä vapaata klooria ja tämän takia jäännöskloori tulee poistaa joko aktiivihiilisuodatuksella tai natriumbisulfaatilla ennen RO-koneikkoa (Sonninen 2007).

Käänteisosmoosikalvojen likaantumisen estämiseksi käänteisosmoosikoneikolle tuleva vesi vaatii tehokkaan kemiallisen esikäsittelyn. Tavallisesti raakaveden kemiallinen esikäsittely koostuu mekaanisesta suoduksesta, jolla poistetaan raakavedestä kiintoaineet, hiekka ja putkiston korroosiotuotteet. RO-kalvot eivät kestä kiinteitä epäpuhtauksia ja tämän takia ne tulee poistaa kemiallisesti esikäsitelystä vedestä asentamalla tehokkaat patruunasuodattimet RO-koneikon eteen. Patruunasuodatin tulee valita siten, että suodatuksen jälkeen veden hienojakoisten kiintoaineen pitoisuus eli SDI-indeksi on alle 5. (Sonninen 2007.)

Mekaanisen suodatuksen jälkeen tuleva vesi esilämmitetään 15–25 °C. Yleisesti veden lämmittäminen 15 °C riittää. Lämmittämällä vettä voidaan parantaa saantoa. Kun veden lämpötilaa nostetaan, veden viskositeetti pienenee. Vastaavasti syöttöpainetta voidaan pienentää, jolloin saadaan sama määrä permeaattia, tosin tällöin permeaatin laatu huononee. (Hentschel & Puustinen 2011.)

Kovuussuolojen saostumisen ehkäisemiseksi esikäsitelty vesi pehmennetään pehmenyysuodattimilla tai annostellaan antiskalantti-kemikaalia. Pehmenyysuodatin nimensä mukaisesti pehmentää vettä eli vaihtaa vedessä olevat kovuutta aiheuttavat kalsium- ja magnesiumsuolat natriumsuoloihin. (Sonninen 2007.) Pehmenyysuodatus on taloudellista kun laitoksen tuotto on 10 m³/h tai sen alle. Pehmennettävän veden määrän kasvaessa yli 10 m³/h pehmenyysuodattimien säiliöiden koko ja suolan kulutus elvytyksiin kasvaa. Pehmenyysuodatettavan veden määrän kasvaessa yli 10 m³/h on ta-

loudellisempaa käyttää antiskalantti-kemikaalia, jolla estetään kovuussuolojen saostuminen kalvojen pinnalle. (Hentschel & Puustinen 2011.)

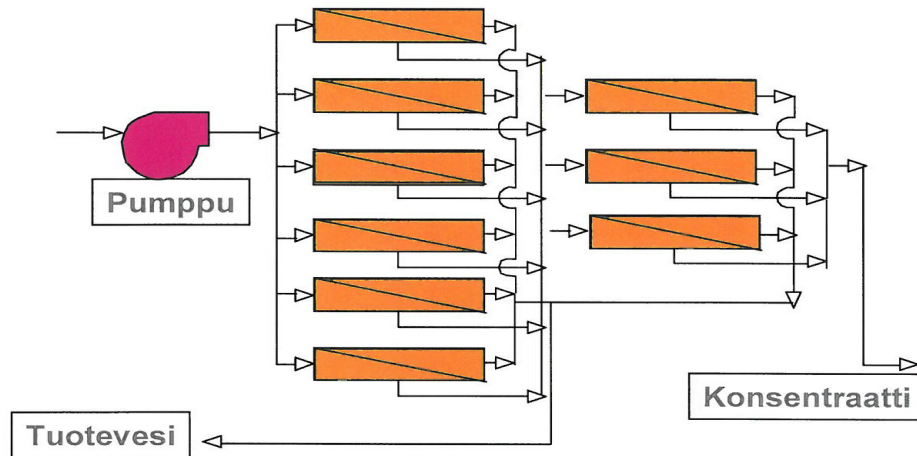
Antiskalantti-kemikaalin sisältämät aineet hidastavat tai estävät saostumien muodostumista. Näitä kerrostuman estoon olevia antiskalantti-kemikaaleja on useita. Pääsääntöisesti ne ovat fosfonaatteja ja polymeerejä. Kemikaalien toimittajilla on laskentaohjelmia, joilla valitaan kemikaalin tyyppi ja syöttömäärä, joka tyypillisesti on 1–10 mg/l. (Vidqvist 2005, 45.)

6.5 Kalvomoduulit ja prosessikytkennät

Käänteisosmoosilaitoksen perusyksikkö on kalvomoduuli, jossa varsinainen suolanpoisto tapahtuu. Kalvomoduulit ovat tietyn pinta-alayksikön suuruisia kalvorakenteita, joita voidaan koota suuremmiksi laitteistoiksi kytkemällä niitä joko rinnan tai sarjaan. Voimalaitoksiin soveltuvissa käänteisosmoosimoduuleissa käytetään yleisimmin kahta eri prosessikytkentää. Joko läpivirtauskytkentää ”once through” tai rejektin kierrätykseen perustuvaa kaksivaiheista kytkentää. (Sonninen 2007.)

6.5.1 Läpivirtauskytkentä

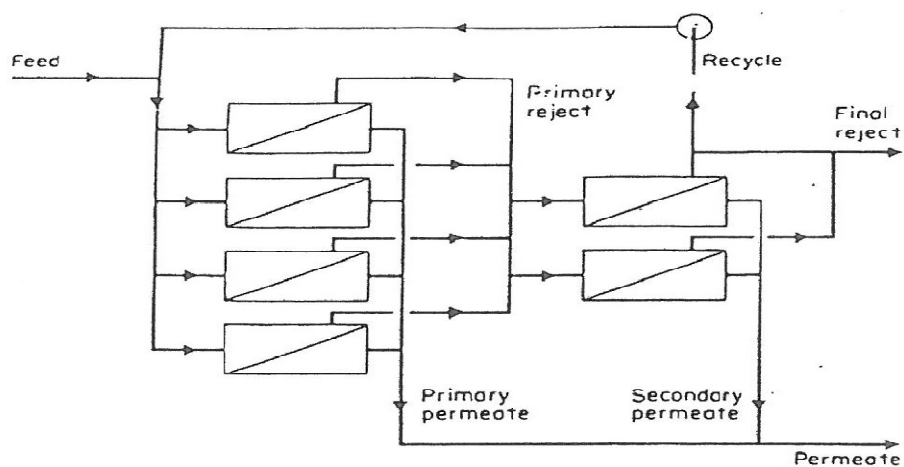
Läpivirtauskytkennässä syöttövesi menee ensin kuuteen paineputkeen. Toisessa vaiheessa edellisen vaiheen konsentraatti syötetään kolmeen paineputkeen. Kun kalvoja asennetaan virtaussuunnassa useampia peräkkäin, aina seuraavan kalvon syöttöveden määrä pienenee puhtaan veden siirtyessä edellisessä kalvossa permeaatiksi. Niinpä rinnakkain asennettujen kalvojen määrän pitää vähentyä virtauksen edetessä, jotta virtausolosuhteet jokaisen kalvon kohdalla saadaan pidettyä optimissa (Kuva 9.).(Vidqvist 2006.)



KUVA 9. Kaaviokuva käänteisosmoosimoduulien läpivirtauskytkennästä (Vidqvist 2006).

6.5.2 Rejektin kierrätykseen perustuva kytkentä

Kuvassa 10 kaksivaiheisella kierrätyksellä varustetulla RO-koneikolla ensimmäisessä vaiheessa koko syöttövesivirtaus johdetaan neljän rinnan kytketyn RO-moduulin läpi. Ensimmäisen vaiheen permeaatti (primary permeate) johdetaan kulutukseen ja rejekti (primary reject) johdetaan toisessa suodatusvaiheessa olevien kahden rinnan kytketyn RO-moduulin läpi. Toisen RO-vaiheen permeaatti (secondary permeate) johdetaan kulutukseen. Osa rejektistä (recycled reject) kierrätetään takaisin syöttövesivirtaukseen ja loppuosa rejektistä (final reject) lasketaan viemäriin. (Sonninen 2007.)



KUVA 10. Kaaviokuva rejektin kierrätykseen perustuvasta käänteisosmoosimoduulilista (Sonninen 2007).

6.6 Käänteisosmoosikalvot

Selluloosa-asetaattia (CA) käytettiin alun perin ensimmäisinä käänteisosmoosikalvomateriaaleina. Sen hyviä puolia oli edullisuus ja kloorin kesto. Toisaalta sillä oli huono pH:n ja lämpötilan kesto sekä tarvittava paine oli suurempi, joka johti suurempaan energian kulutukseen. Lisäksi kalvojen kokoonpuristuvuus pitkäaikaisessa käytössä aiheutti ongelmia. Edellä mainitusta asioista johtuen niitä jouduttiin vaihtamaan usein. Suolanpoistoprosentti oli vain kohtuullinen noin 70–90 % NaCl. (Sonninen 2007.)

Nykyiset täysin synteettiset kalvot ovat syrjäyttäneet CA-kalvojen valta-aseman. Tällaisia kalvomateriaaleja ovat mm. aromaattiset polyamiinit (PA) ja polybentseenidiatsooli (PBI). Kalvomateriaalien paranemisen myötä on kehitetty myös uusia kalvotyyppjä, joita ovat epäsymmetriset kalvot ja monikerroksiset kalvot eli komposiittikalvot. Epäsymmetriset kalvot valmistetaan yhdestä materiaalista siten, että kalvolle tulee epäsymmetrinen rakenne. Kalvon uloimmalla pinnalla on erittäin ohut tiivis kerros ns. nahka, joka määrää kalvon erotuskyvyn. Tiiviin pintakerroksen alla on samasta materiaalista valmistettu huokoinen kerros, joka toimii tukirakenteena ja se ei vaikuta kalvon erotusominaisuuksiin. (Sonninen 2007.)

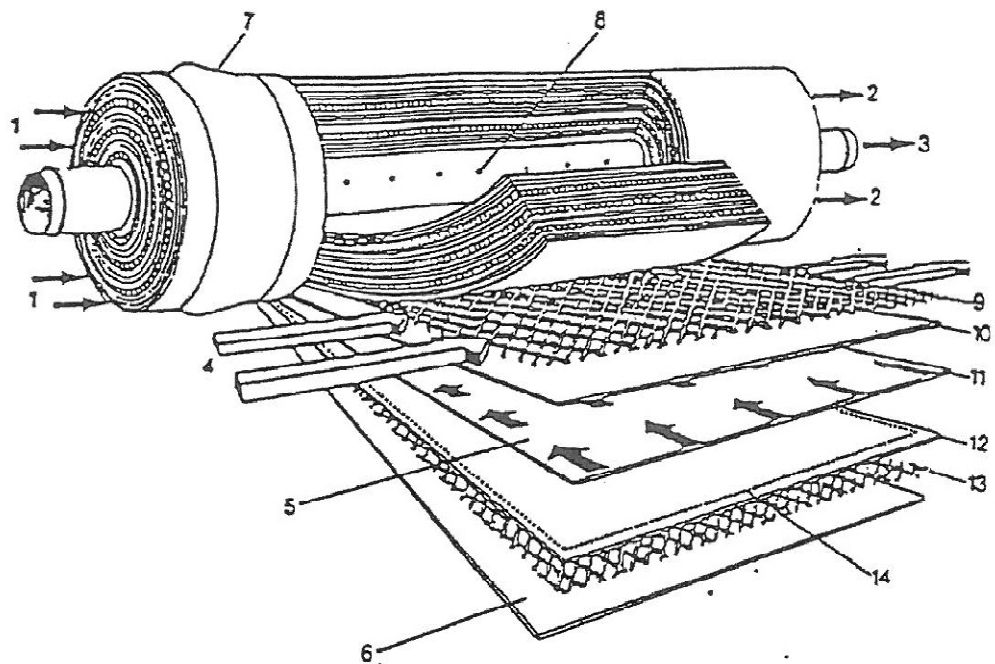
Komposiittikalvoissa huokoisen tukirakenteen päälle polymeroidaan erittäin ohut selektiivinen kerros, jonka paksuus on 20–25 nm. Ohut pintakerros on yleensä polyamidia ja runko-osa lähes aina polysulfonia. Molemmat kerrokset kiinnitetään tukevan kankaan pinnalle. Kalvotyypin etuna on hyvä veden läpäisevyys sekä hyvä liuenneiden aineiden pidätyskyky. (Sonninen 2007.)

Edellä mainitut kalvotyypit ovat sekä mekaanisesti ja kemiallisesti kestävämpiä kuin CA- kalvot ja tämän takia niiden vaihtokustannukset ovat kohtuullisia. (Sonninen 2007.)

6.7 Spiraalimoduulin rakenne ja toiminta

Kaupallisessa käytössä olevat kalvomoduulit luokitellaan neljään pääryhmään: levy-, onttokuitu-, putki-, ja spiraalimoduuleihin. Suomessa höyryvoimalaitosten RO-laitoksilla käytetään yksinomaan spiraalimoduuleja (kuva 11). (Sonninen 2007.)

Kuvan 11 spiraalimoduulissa kahden peräkkäisen RO-kalvon väliin asennetaan vettä läpäisemätön permeaatin keräyskalvo (11), joka ohjaa kalvon läpäisseen permeaatin RO-moduulin keskellä olevaan permeaatin keräysputkeen (3). Kaksi vierekkäistä RO-kalvoa liitetään ulkoreunoiltaan tiiviiksi toisiinsa kirjekuorta muistuttavaksi kalvopaketiiksi siten, että permeaatin vettä läpäisemätön keräyskalvo (11) jää vierekkäisten RO-kalvojen muodostaman kalvopakettin sisään ja on siellä täysin suljetussa tilassa. Edellä kuvattuja yhteen liitettyjä kalvopaketteja ladotaan päällekkäin siten, että kahden päällekkäisen kalvopakettin väliin asennetaan verkkomainen välilevy (9 ja 13). Tämän jälkeen kalvopaketeista ja verkkomaisista välilevyistä rakentuva kalvopino kierretään kääretorttua muistuttavaksi spiraaliksi ja kalvomoduulin keskellä olevan permeaatin keräysputken ympärille. Kääretorttua muistuttava spiraali työnnetään veden virtaussuuntaan nähden peräkkäin paineputken sisään. Spiraalimoduulien halkaisijoiksi on vakiintunut kolme standardihalkaisijaa, jotka ovat 2,5", 4" ja 8" kaikilla halkaisijoilla spiraalimoduulien pituus on 40". (Sonninen 2007.)



1. Käsiteltävä raakavesi sisään
2. Rejekti ulos
3. Permeaatin keräysputki (permeaatin poisto)
4. Käsiteltävän raakaveden virtaussuunta
5. Permeaatin virtaussuunta
6. Suojakalvo
7. Moduulin ja suojakuoren välinen tiiviste

8. Permeaatin kokoojaputki
9. Verkkomainen välilevy, joka ylläpitää tulevan veden turbulenttista virtausta
10. Käänteisosmoosikalvo
11. Vettä läpäisemätön permeaatin keräyskalvo
12. Käänteisosmoosikalvo
13. Verkkomainen välilevy, joka ylläpitää tulevan raakaveden turbulenttista virtausta
14. Kahta vierekkäistä käänteisosmoosikalvoa yhteen liittävä sauma

KUVA 11. Spiraalimoduulin rakenne (Sonninen 2007).

Kuvassa 11 RO- moduuliin tuleva vesi pumpataan RO- kalvopakettien väliseen tilaan (1), jossa veden virtaus saadaan verkkomaisen välilevyn avulla pyörteiseksi. Turbulenttivirtauksen vaikutuksesta epäpuhtaudet eivät tartu kalvojen pinnalle vaan poistuvat moduulista rejektin mukana (2). Paineistettu vesi kulkee paineen vaikutuksesta kahden ulkoreunoiltaan yhteen liitetyn RO- kalvon läpi vettä läpäisemättömän permeaatin keräyskalvon pinnalle. Vesi virtaa permeaatin keräyskalvoa pitkin tulovirtaukseen nähden kohtisuoraan RO- moduulin keskellä olevaan permeaatin keräysputkeen, josta se johdetaan kulutuksen. RO- kalvoja läpäisemätön rejekti poistetaan järjestelmästä kahden vierekkäisen RO- kalvopakettien välisestä tilan poistopäästä (2). (Sonninen 2007.)

6.8 RO-kalvojen likaantumiseriski

RO- laitoksilla likaantumista aiheuttavat rauta, alumiini, humus ja orgaaniset aineet, kovuussuolojen saostumiset, kiintoaine sekä erilaiset bakteerikasvustot. RO- laitoksen syöttöveden esikäsitteilyyn Suomessa käytetyimmät vaihtoehdot ovat pohjavettä käytettäessä patruuna- tai pussisuodatin hyvälaatuiselle vedelle, jonka SDI-arvo on alle 3 tai maksimissaan 6,67. SDI-indeksillä kuvataan veden kolloidipitoisuutta eli hienojakoisen kiintoainepitoisuutta vedessä. (Vidqvist 2005, 43.)

SDI-testi tehdään suodattamalla vakioaineessa (2,05 bar, 30 psi) 500 ml:n näyte puhtaalla 0,45µm:n suodattimella. Näytteen suodattamiseen kulunut aika mitataan (T_i). Suodatusta jatketaan ja 15 minuutin kuluttua 500 ml:n näyte suodatetaan uudelleen. (Vidqvist 2005, 43.)

Tällöin mitataan aika (T_{15}) uudelleen. SDI-indeksi lasketaan kaavan 3 mukaisesti.

$$SDI_{15} = \frac{\left(1 - \frac{T_i}{T_{15}}\right) \times 100}{15} \quad (3)$$

SDI_{15} on suodatuskokeiden perusteella laskettu suure, jota käytetään usein kuvaamaan RO-kalvojen likaantumiseriskiä. (Vidqvist 2005, 43.) Taulukossa 5 on yksi näkemys SDI- arvosta ja muista RO- koneikolle tulevasta veden arvoista Vidqvistin mukaan.

TAULUKKO 5. RO-laitteistolle tulevan veden laatu (Vidqvist 2005, 43).

<i>SDI</i>	< 5
<i>Fe mg/l</i>	< 0,2
<i>Mn mg/l</i>	< 0,05
<i>Al mg/l</i>	< 0,2
<i>KMnO₂-luku mg/l</i>	< 12
<i>Kloori</i>	<i>ei havaittavissa</i>

6.9 Kalvojen pesu

Kalvojen pesu tulee ajankohtaiseksi, kun normalisoitu virtaus on pudonnut 10–15% tai painehäviö konsentraattipuolella on noussut 10–15% referenssitilan vastaavasta. Käänteisosmoosilaitteilla pesuvälinä pidetään muutamaa kuukautta, mutta riippuen raakaveden laadusta ja esikäsittelystä pesu voi olla jopa vuoden mittainen. (Vidqvist 2005, 45.)

Karbonaattisaostumille käytetään happopesua, jossa pH:n on oltava alle 3, mutta pH ei saa olla alle 2. Happopesu tehoaa epäorgaanisten suolojen aiheuttamaan likaantumiseen. Orgaanisen ja erilaisten kiintoaineiden pesuun käytetään lipeäpesua, jolla on myös desinfioiva vaikutus. Pesussa pH on yli 10,5 ja enimmillään 11,5. (Vidqvist 2006.)

Pesuliuokset lämmitetään pesun tehostamiseksi. Pesun aikana seurataan pH:ta ja tarvittaessa lisätään pesukemikaalia. Pesun jälkeen kalvot huuhdellaan hyvin, käynnistetään laitos ja ajoarvot otetaan ylös. (Vidqvist 2005, 45.) Pesuliuokset otetaan talteen erilliseen astiaan ja neutraloidaan ennen viemäriin laskemista. Kymmenen kuution

käänteisosmoosilaitoksen pesuliuosten määrä on noin 400 litraa pesukertaa kohti. (Hentschel & Puustinen 2011.)

Pesukemikaalien lisäksi tarvitaan desinfiointikemikaaleja ja säilöntäajan kemikaaleja. Desinfiointiin voidaan käyttää laimeaa vetyperoksidiliuosta tai kaupallisia liuoksia. Jos RO-laitetta ei käytetä muutamaan viikkoon tai kuukauteen, on se säilöittävä kierättämällä natriummetabisulfiittiliuosta. (Vidqvist 2005, 45.)

6.10 Käänteisosmoosilaitoksen mitoitus

Käänteisosmoosilaitoksen mitoituksessa määräviä tekijöitä ovat tarvittava puhtaan veden tuotto ja laatuvaatimukset sekä käsiteltävän veden koostumus. Tarvittavan kalvojen lukumäärän voi arvioida seuraavan nyrkkisäännön perustella niin, että yksi 8":n kalvo tuottaa noin 1 m³/h:ssa ja yksi 4":n kalvo tuottaa noin 0,25 m³/h ja yksi 2,5".n kalvo tuottaa noin 0,1 m³/h vettä. (Vidqvist 2005, 42.)

Kalvoilla täytyy säilyttää tietyt virtausolosuhteet kalvon yli koko ajan. Kalvon tyypin määrittelee se, kuinka puhdasta käsiteltävästä vedestä halutaan. Kun kalvo on valittu, mennään varsinaiseen mitoitukseen, kuten ajopaineisiin, virtauksiin sekä kierrätyksen määrään. Käytössä on kalvon valmistajilla laskentaohjelmia, joihin syötetään mm. raakaveden tiedot, kalvojen määrä ja niiden sijainti eri vaiheissa. Näin saadaan lasketun suunnitteluarvot kyseiselle RO-moduulille. Lisäksi ohjelmat arvioivat tarkasti saatavan puhtaan veden koostumuksen, pH:n ja suolat (mg/l). Mittaustuloksia voidaan verrata vastaaviin muille laitoksille toimitettuihin arvoihin. (Vidqvist 2005, 42.)

Käänteisosmoosikalvot toimitetaan standardielementteinä ja laitteet ovat rakenteeltaan modulaarisia. Modulaarisen rakenteen johdosta laitteistojen mitoitus on joustavaa ja kapasiteetti on muutettavissa myös myöhemmin, jos tarpeet muuttuvat käytön myötä. Käytännössä käänteisosmoosilaitteet toimitetaan valmiiksi koottuina koneikkoina, joissa on tarvittava määrä paineputkia, putkistot, pumput, mittauslaitteet ja elektronikka ja ohjausjärjestelmät. Automaatio voi olla laitoksen paikallisautomaatio tai se voidaan toteuttaa myös voimalaitoksen pääautomaatiojärjestelmään liitettynä. (Hilden 2005, 74)

6.11 EDI- laitos

Käänteisosmoosilaitteistolla ei voi saavuttaa 100 %:sta suolanpoistoa. Tämän takia käänteisosmoosin voimalaitossovelluksissa suolanpoistettu vesi täytyy käsitellä jollakin suolanpoistomenetelmällä kuten sekaioninvaihtimilla tai sähkökemiallisella suolanpoistoyksiköllä eli elektrodeionisaatioyksiköllä (EDI). EDI-laitoksessa ioninvaihto tapahtuu perinteisen ioninvaihtohartsin avulla, mutta hartsien elvytys tapahtuu sähkövirralla jatkuvatoimisesti. Elvytyksessä ei käytetä kemikaaleja. (Viiala 2005.)

6.11.1 EDI-laitoksen rakenne

EDI-laitos koostuu rinnankytketyistä kennomoduuleista eli EDI-kennoista, joissa varsinainen ioninvaihto tapahtuu. Kennojen määrä vaihtelee tarvittavan lisävesikapasiteetin mukaisesti (Kuva 12.).



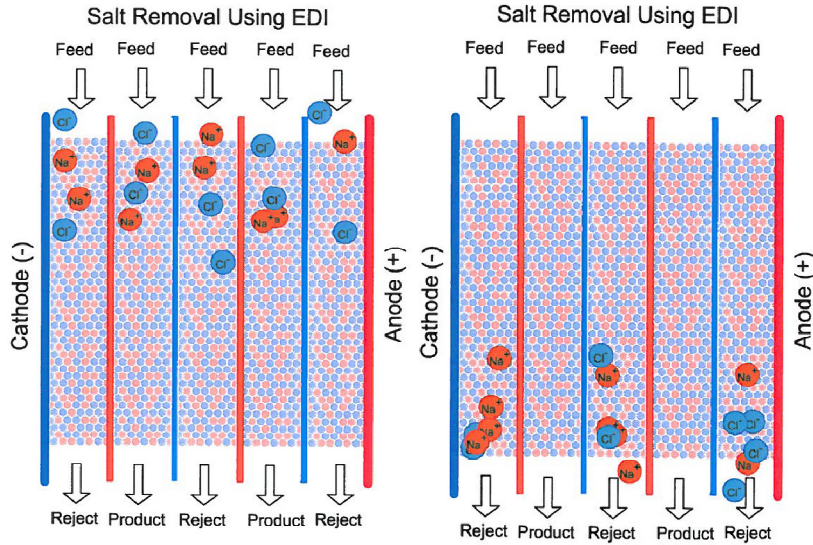
KUVA 12. EDI-laitos kolmella kennomoduulilla (HOH Separtec).

6.11.2 EDI- kennojen toimintaperiaate

EDI-kennot rakentuvat kahdesta tasavirtaan kytketystä elektrodista. Toinen elektrodi on katodi, joka on negatiivisesti varattu ja toinen on anodi, joka on positiivisesti varattu. Elektrodien väliin on asennettu vuorotellen kationi- ja anioniselektiivisiä kalvoja. Kationiselektiiviset kalvot läpäisevät ainoastaan kationeja ja anioniselektiiviset kalvot ainoastaan anioneja. Puhtaan veden kammiossa on tasarakeista kationi- ja anionivaihtohartsia, jotka poistavat puhtaanveden kammion läpi virtaavasta vedestä ionimuotoiset epäpuhtaudet. (Sonninen 2007.)

Kuvassa 13 EDI-laitokselle syötettävä RO:lla puhdistettu vesi (feed) johdetaan puhtasvesikammioon, jossa veden sisältämät kationit ja anionit sitoutuvat kemiallisesti tasarakenteiseen ioninvaihtohartsipatjaan. Puhdas vesi johdetaan puhtasvesikammiossa kulutukseen (product). (Sonninen 2007.)

Tasavirtaan kytketyn katodin sähköinen vetovoima vetää kationeja Na^+ - ja H^+ -ioneja puhtasvesikammioista kationiselektiivisen kalvon läpi viereiseen konsentraattikammioon (reject). Vastaavasti anodin sähköinen vetovoima vetää anioneja Cl^- - ja OH^- -ioneja puhtasvesikammioista anioniselektiivisen kalvon läpi viereiseen konsentraattikammioon. Ionien kulkeuduttua konsentraattikammioon kationit ja anionit eivät pääse palaamaan elektrodien sähköisten vetovoimien vaikutuksesta konsentraattikammioista takaisin puhtasvesikammioon vaan jäävät puhtasvesikammion molemmilla puolilla oleviin konsentraattikammioihin. Puhdasvesikammioiden hartsipatjassa kationien ja anionien sitoutuminen hartsipatjaan sekä hartsipatjassa olevien kationinvaihtohartsin ja anioninvaihtohartsin elvytys tapahtuvat samanaikaisesti jatkuvatoimisena prosessina ilman erillisiä elvytyskemikaaleja. (Sonninen 2007.)



KUVA 13. EDI- laitteiston toimintaperiaate (Eurowater).

6.11.3 EDI-laitoksen syöttövesi

EDI- laitoksen syöttövedelle on annettu tiukat laatuvaatimukset, syöttöveden tulee olla RO-permeaattia tai parempaa vettä, josta sähköisellä ionivaihdolla suodatetaan edelleen puhtaampaa suolavapaata vettä. (Taulukko 6.)

TAULUKKO 6. EDI-laitokselle syötettävän veden laatuvaatimukset (HOH Se-partec).

<i>Johtokyky $\mu S/cm$</i>	<i>< 20</i>
<i>pH</i>	<i>4,0 - 11,0</i>
<i>Kovuus ($CaCO_3$) mg/l</i>	<i>< 1,0</i>
<i>Silikaatit mg/l</i>	<i>< 1,0</i>
<i>TOC mg/l</i>	<i>< 0,5</i>
<i>Vapaa kloori mg/l</i>	<i>< 0,05</i>
<i>Fe, Mn, H_2S mg/l</i>	<i>< 0,01</i>
<i>*TEA sis. CO_2 mg/l</i>	<i>< 25</i>

*TEA = syöttövedessä olevien vaihdettavien anionien kokonaismäärä

Syöttöveden kovuussuolojen määrä vaikuttaa EDI-laitoksen saantoprosenttiin. Jos kovuussuolojen määrä on 1,0 mg/l, laitteiston saantoprosentti laskee 80:een. Silikaatti saattaa aiheuttaa kammioiden kalvopinnoille saostumia, joiden poistaminen on lähes mahdotonta. Tästä seuraa kennojen vaihtaminen. (Viiala 2005.)

EDI-laitos poistaa tehokkaasti syöttövedessä olevan hiilidioksidin. Hiilidioksidi kuormittaa anionihartsia ja heikentää muiden anionien poistamista. Toimittajien laskeoajelmilla tehdään suorituskykylaskennat vaihdettavien anionien kokonaismäärästä (TEA), joka sisältää hiilidioksidin määrän. (Viiala 2005.)

7 VERTAILUN TOTEUTUS

7.1 Tarjouspyynnöt ja toimittajien tapaamiset

Molemmista laitostyypeistä pyydettiin tarjouksia viideltä eri yritykseltä marraskuussa 2010. Tarjouskyselyyn vastasi neljä yritystä. Ioninvaihtolaitoksesta saatiin kaksi ja käänteisosmoosilaitoksesta neljä tarjousta.

Tarjouspyynnöissä laitoksen tuottovaatimus oli 10 m³/h ja molemmat laitostyypit haluttiin kaksilinjaisena. Käänteisosmoosilaitoksen kaksilinjaisuus takaa veden tuoton myös vikatilanteissa. Tarjouksissa pyydettiin myös ottamaan huomioon laitoksen vaatimat vuosittaiset käyttökulut ja laitoksen huoltotoimet ao. yrityksen suorittamana.

Laitostoimittajien kanssa tavattiin Pursialan voimalaitoksella. Tapaamisien yhteydessä käytiin laitostyyppin sisältöä ja tilasuunnittelua läpi. Tapaamisien yhteydessä käytiin läpi myös voimalaitoksien tarvitseman lisävesikapasiteetin mitoittamista nykyiselle lisävesisäiliölle.

7.2 Tilavaihtoehtojen kartoittaminen

Uuden vesilaitoksen suunnittelun lähtökohtana oli, että se mahtuisi nykyisen ioninvaihtolaitoksen tiloihin (kuva 14.). Tila todettiin ahtaaksi, kun laitospinta-alaa lähdetään suurentamaan. Osittaisella järjestelyllä, siirtämällä mm. kemikaalinsyöttöjärjestelmä pois nykyiseltä paikaltaan, saataisiin lattiapinta-alaa niin, että kaikki laitoksen osat mahtuisivat ko. tilaan. Ioninvaihtolaitoksen elvytyskemikaalien neutralointisäiliön rakentaminen tulisi tehdä nykyisen vesilaitoksen ulkopuolelle.



KUVA 14. Uusi täyssuolanpoistolaitos nykyisen ioninvaihtolaitoksen paikalle (Pursialan voimalaitos).

Toinen ehdotus uuden vesilaitoksen rakentamiselle oli Pursiala 2:n turbiinisalin alakerta (kuva 15.). Nostoaukon takana oleva tila, ennen lauhdesäiliötä, riittäisi sekä korkeudeltaan että lattiapinta-alaltaan laitoksen rakentamiseen.

7.4 Tarjousten käsitteleminen

Tarjouksien perusteella laskettiin eri laitoksille vuosittaiset käyttökulut. Kokonaiskustannuksissa huomioitiin hankintahinta ja käyttökustannukset.

Henkilötyön osuudet laitosten normaaliin käyttö- ja huoltotöihin jätettiin huomioimatta, koska käyttökokemuksia käänteisosmoosin osalta ei ollut käytettävissä. Tutustumiskäynneillä saadun tiedon perusteella voisi arvioida kuitenkin, että ioninvaihtolaitos työllistää käyttöhenkilöstöä enemmän kuin käänteisosmoosilaitos. Normaalikäyttötilanteessa ilman häiriötilanteita molemmat laitokset toimivat automaation perässä. Käyttötarkkailu suoritetaan automaatiolla ja analysaattoreilla ja niistä tulevilla hälytyksillä. Jatkuvat toimiset analysaattorit mittaavat vedenlaatua ympäri vuorokauden, mutta niiden käyttökustannuksia ei tässä työssä ole otettu huomioon.

8 KUSTANNUKSET

Laitoksien kustannuksissa tarkasteltiin hankintahintaa ja vuosittaisia käyttökustannuksia. Tuotetulle vesikuutiolle laskettiin hinta ottamalla huomioon sekä laitoksen hankintahinta että käyttökustannukset. Laitoksen elinkaareksi arvioitiin 20 vuotta.

8.1 Hankintahinta

Tarjouksia pyydettyä molemmille laitostyypeille suunnittelun lähtöarvot olivat samat. Molempiin laitostyyppihin pyydettiin yrityksiltä tarjouslaskelmat sekä laitokseen, joka toimisi laitoksen omalla logiikalla että logiikalla, joka yhdistetään voimalaitoksen pääautomaatioon. Ioninvaihtolaitoksista ei saatu tarjouksia kuin laitoksen omalla logiikalla.

Hankintahinta tekniikasta riippumatta jäi noin kahden ja kolmensadan tuhannen välille. Kaikissa tarjouksissa sisältö kattoi suunnittelun, asennuksen tai asennustarkastuksen ja käyttökoulutuksen henkilökunnalle.

8.2 Käyttökustannukset

Käyttökustannuksissa otettiin huomioon kustannukset, jotka muodostuvat käyttöönoton jälkeen normaalin käytön yhteydessä. Käyttökustannuksista suurimpia olivat raakaveden osto ja sen lämmitys. Laskennassa käytettiin veden ostohintana 1,18 €/ m³ ja veden lämmitykselle Etelä-Savon Energia Oy:n sisäistä lämmön myyntihintaa 0,02 € kilowattitunti.

8.2.1 Ioninvaihtolaitoksen käyttökustannukset

Käyttökustannuksiin ioninvaihtolaitoksessa kuuluvat veden kulutus ja lämmitys (5 °C → 25 °C), elvytyskemikaalien hankinta, hartsien vaihto sekä venttiileille ja putkistoille tehtävät huoltotyöt.

Ioninvaihtolaitoksen käyttämästä vedestä saadaan tuottona ionivaihdetta lisävettä 95 %. Ajojaksojen pituudet vaikuttavat elvytystiheyteen, kemikaalien ja veden kulutukseen. Elvytyksiin käytetyn ionivaihdetun veden osuus on otettu huomioon tuotetun veden saannossa. Elvytyskemikaaleille on laskettu hinta nykyisen kemikaalitoimittajan tarjouksen mukaisesti (Taulukko 7.).

TAULUKKO 7. Vuosittaiset ioninvaihtolaitosten käyttökustannukset

<i>Käyttökustannus / a</i>	<i>Yritys A (€/a)</i>	<i>Yritys B (€/a)</i>
<i>Ostettu vesi</i>	<i>42134</i>	<i>40803</i>
<i>Veden lämmitys</i>	<i>16707</i>	<i>16137</i>
<i>Elvytyskemikaalit</i>	<i>4712</i>	<i>3436</i>
<i>Hartsit</i>	<i>2025</i>	<i>2000</i>
<i>YHTEENSÄ</i>	<i>65578</i>	<i>62376</i>

Putkistojen ja venttiileiden korjauskustannukset ovat satunnaisia ja laitoksen eliniästä riippumattomia. Nämä kustannukset ovat normaaleja huoltokustannuksia vesilaitoksilla ja niitä ei ole huomioitu käyttökustannuksia laskettaessa.

8.2.2 RO- ja EDI-laitoksen käyttökustannukset

Käänteisosmoosilaitoksen käyttökustannuksia ovat veden kulutus ja lämmitys (5 °C → 15 °C), pumppaus, RO-kalvojen vaihto ja pesu, EDI-laitteen pesu, patruunasuodattimien tai pussisuodattimien vaihto ja vedenpehmentimen suolankulutus.

Käänteisosmoosin tuottona saadaan noin 75–80 % syötetystä raakavedestä. Paineen korottamiseen käytettävien pumppujen sähkönkulutukseen on laskettu 1,0 kWh tuotevesikuutiolle. Kulutetun sähkön kilowattitunnin hintana on käytetty pörssisähkön hintaa 0,0466 €/kWh (Nasdaq).

Patruunasuodattimille tai pussisuodattimille, RO-kalvoille sekä RO-kalvojen ja EDI:n pesulle on käytetty yritysten antamia hintoja tarjousten mukaisesti. Esisuodattimien hinta vaihtelee käytetyn tekniikan mukaisesti. RO-kalvojen hinta muodostuu siitä kuinka monta kalvoa koneikko sisältää. Kalvojen määrä tarjouksissa oli 6–10 kappaletta linjastoa kohden.

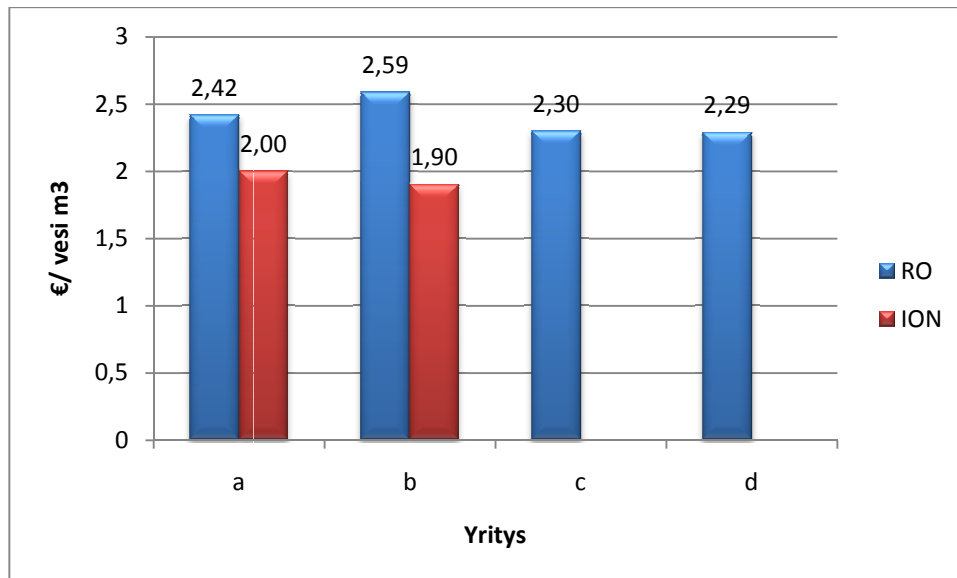
Vedenpehmentimelle käytettävän suolankulutus on laskettu kunkin laitoksen kulutuksen ja nykyisen suolan toimittajan sekä yritysten tarjouksen mukaisesti (Taulukko 8.).

TAULUKKO 8. Vuosittaiset RO- ja EDI- laitteistojen käyttökustannukset

<i>Käyttökustannus / a</i>	<i>Yritys A (€/a)</i>	<i>Yritys B (€/a)</i>	<i>Yritys C (€/a)</i>	<i>Yritys D (€/a)</i>
<i>Ostettu vesi</i>	51684	51684	51684	51684
<i>Veden lämmitys</i>	10228	10228	10228	10228
<i>Sähkön kulutus</i>	1 701	1701	1276	1701
<i>Suolan kulutus</i>	9431	4921	3121	3000
<i>RO kalvot</i>	3720	8000	6600	6 300
<i>RO kalvojen pesu</i>	2400	6000	1500	1200
<i>EDI laitteen pesu</i>			60	
<i>Esisuodattimet</i>				
<i>RO:lle</i>	240	2400	1000	1000
YHTEENSÄ	79404	84934	75468	75113

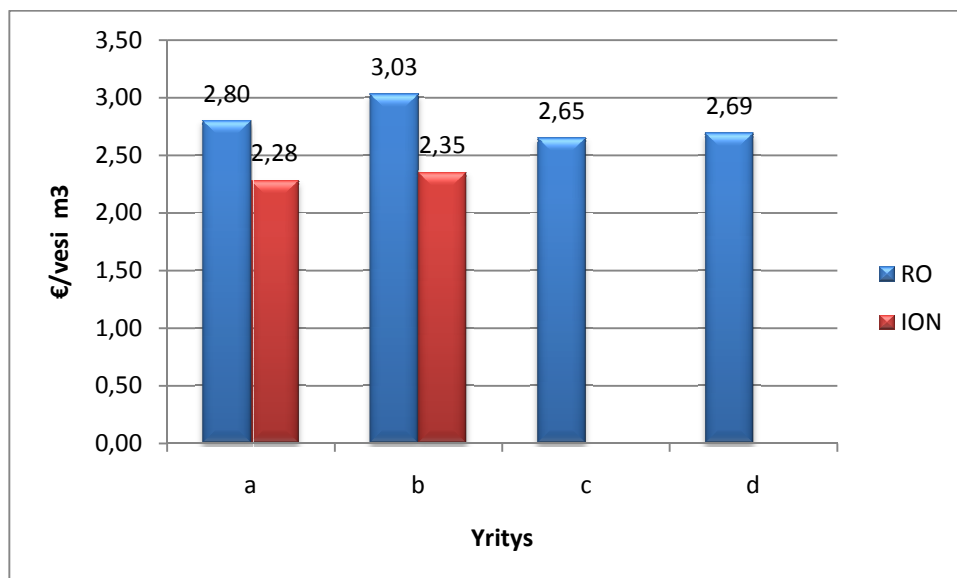
8.3 Tuotetun veden hinta

Kuvassa 16 on huomioitu molempien laitostyyppien vuosittaiset käyttökustannukset tuotetulle vesikuutiolle.



KUVA 16. Tuotetun veden hinta/ käyttökustannukset

Kuvassa 17 on otettu huomioon kunkin laitoksen hankintahinta ja käyttökustannukset 20 vuoden elinkaaren aikana, kun on laskettu hintaa tuotetulle vesikuutiolle. Laskennassa on käytetty tämänhetkistä veden hintaa, yrityksen sisäistä lämmön myyntihintaa ja pörssisähkön hintaa. Laskennassa ei ole otettu huomioon hintojen muutoksia tulevaisuudessa.



KUVA 17. Tuotetun veden hinta/ hankinta- ja käyttökustannukset

9 KUSTANNUSTEN TARKASTELU MOLEMMILLE LAITOKSILLE

Ioninvaihtolaitoksien hankintahinnan huomattavaan hintaeroon vaikuttavat käytettävät putkistomateriaalit. Kun elvytyskemikaalina käytetään suolahappoa, putkistomateriaalina käytetään polyvinyylidikloridia (PVC). Rikkihapolla elvytettäessä putkistot rakennetaan haponkestävästä teräksestä. Rikkihapon neutralointi vaatii huomattavasti suuremman neutralointisäiliön (16 m^3) kuin suolahapon neutraloinnissa (5 m^3). Hankintakustannuksia nostaa myös se, että neutralointisäiliö on rakennettava nykyisen vesilaitoksen ulkopuolelle erilliseen tilaan, jota ei ole otettu huomioon hankintakustannuksissa. Neutralointisäiliöille rakennettavan tilan suunnitteleminen ja rakentaminen on tehtävä erikseen.

Ioninvaihtolaitoksen käyttökustannuksissa suurimmat kustannukset veden oston ja lämmityksen jälkeen muodostuvat elvytyskemikaalien kulutuksesta ja ioninvaihtohartsien vaihtamisesta. Kun otetaan kahden toimittajan kaikki kustannukset huomioon, ioninvaihdolla tuotetun veden hinnan eroksi tulee $0,07 \text{ €/m}^3$.

Käänteisosmoosilaitoksilla suurimmat käyttökustannukset muodostuvat veden ostosta ja lämmityksestä sekä pumppauksesta. Kokonaiskustannuksien perusteella tuotetun veden hinnan eroksi eri toimittajien laitosten välillä tulee $0,38 \text{ €/m}^3$.

Kun verrataan kokonaiskustannuksia kahden eri tekniikalla toimivan täyssuolapoistolaitoksen kesken, saadaan tuotetun veden kuutiohinnaksi halvimmillaan $2,28 \text{ €/m}^3$ ja kalleimmillaan $3,03 \text{ €/m}^3$.

10 YHTEENVETO

Nykyisessä ioninvaihtolaitoksessa kemikaalien käyttömäärät vuonna 2010 olivat natronlipeää 19,6 t ja suolahappoa 27,6 t. Uuden ioninvaihtolaitoksen etuna on kemikaalikulutuksen väheneminen. Suolahapon kulutus vähenisi n. 6 t/a ja natronlipeän n. 8 t/a. Rikkihappoa käytettäessä kemikaalien käyttökulutus on samaa luokkaa.

Käänteisosmoosilaitosta verrattaessa ioninvaihtoon suurin etu on kemikaalittomuus. Käänteisosmoosilaitoksen kemikaalin kulutus liittyy pesutapahtumiin, joissa vuosittaiset kemikaalien käyttömäärät eivät ole merkittäviä. Kemikaalien käyttöä voidaan minimoida tekemällä huoltosopimus laitoksen toimittaneen yrityksen kanssa.

Erona ioninvaihtoon käänteisosmoosi ja EDI vaativat syöttövedelle hyvän esikäsittelyn. Käänteisosmoosi poistaa parhaimmillaankin vain 95–99 % liukoista suoloista, joten se vaatii aina joko sekaioninvaihtimen tai EDI-laitoksen perään, jotta lisäveden laatuvaatimukset täyttyisivät.

Ennen veden syöttämistä EDI- yksikköön tarvitaan raakaveden mekaaninen ja kemiallinen esikäsittely, pehmennyssuodatus ja käänteisosmoosi. Käsiteltävän veden tulee olla tasalaatuista. Permeaatin osuus on yleensä 75–80 % käänteisosmoosikoneikolle tulevasta syöttövedestä ja loppuosa tuhlautuu rejektinä viemäriin.

Ioninvaihtolaitoksen syöttöveden esikäsittelyksi riittää karkea mekaaninen suodatin syöttövesilinjaan. Ioninvaihtolaitos vaatii korkeamman syöttöveden lämpötilan, jolla parannetaan ioninvaihtotapahtuman onnistumista ja varmistetaan elvytyskemikaalina käytetyn lipeän huuhtoutuminen pois anionihartseista.

Käänteisosmoosia voidaan käyttää alhaisemmillä lämpötiloilla, mutta tällöin käytettävä paine kasvaa. Paineen noustessa yli 16 bar, joudutaan putkiston materiaali vaihtamaan PVC:stä haponkestävään teräkseen. (Hentschel & Puustinen 2011.)

Molempien laitostyyppien käyttötoiminta on täysin automatisoitu. Laitoksen käyttötilaa valvotaan muun voimalaitosprosessin valvonnan yhteydessä. Käyttötoimenpiteet normaalissa ajotilanteessa kattavat tilatietojen ja laitteiden toimivuuden tarkistamisen. Huoltotoimenpiteet kuten ioninvaihtohartsien tai RO- kalvojen vaihto voidaan sopia huoltoyrityksen hoidettaviksi.

Käänteisosmoosi ja EDI- laitteistot ovat helppoja asentaa, koska ne tulevat valmiina paketteina. Niitä on myös helppo laajentaa tarvittaessa. Prosessi on jatkuvatoiminen eikä vaadi elvytyksiä. Näin päästään myös jätepäästöistä eroon.

Huomioitavaa on kuitenkin se, että nykyinen 160 m³:n lisävesisäiliö on liian pieni molempien voimalaitoksien lisäveden tarpeisiin. Täyssuolanpoistolaitoksen uusimisen jälkeen lisävesisäiliön koko ei riitä, jotta uutta vesilaitosta voitaisiin käyttää koko kapasiteetilla. Käänteisosmoosia käytettäessä laitos tuottaa vettä täydellä kapasiteetilla tai se on pysäytettynä. Lisävesisäiliön pinnan ohjaus säättää käänteisosmoosin käyntitilaa. Uuden lisävesisäiliön (esim. 300 m³) rakentamisella entisen rinnalle voitaisiin lisävettä tuottaa kapasiteetiltaan pienemmällä vesilaitoksella. Toisaalta suurempi lisävesisäiliö mahdollistaisi pidemmän toiminta-ajan vesilaitoksen korjaustoimenpiteille häiriötilanteissa.

Käytettäessä ionivaihtotekniikkaa vedenpuhdistuksessa, kemikaalien käsittely tulee olemaan yksi suurimmista turvallisuusriskeistä. Voimalaitosten vedenkäsittelyosastolla tapahtuvia vakavampia työtapaturmia sattuu kemiallisia aineita käsiteltäessä. Tyypillisiä riskejä ovat liukastumisen aiheuttamat tapaturmat, joissa lipeä, ioninvaihtohartsit ja kemikaalit voivat tehdä työtason tai lattian erittäin liukkaiksi sekä väkevän rikkihapon, suolahapon, lipeän ja muiden kattilakemikaalien aiheuttamat palovammatyypiset vauriot ihokudokselle. Vaurioita voi aiheuttaa myös kemikaalihöyryjen hengittäminen esimerkiksi kloorikaasu, klooridioksidi, ammoniakki ja muut kemikaalit, jotka ärsyttävät voimakkaasti hengitysteitä ja suurina pitoisuuksina voivat aiheuttaa myös myrkytysoireita. Suolahappoa käytettäessä ongelmaksi muodostuvatkin suolahappohöyryt, jotka aiheuttavat muille tilassa oleville laitteille ja materiaaleille syöpymistä (Kemira 2010). Ilmastoinnin toimivuus on suolahappoa käsiteltäessä oltava hyvin suunniteltu, jotta suolahappohöyryt eivät jäisi tuotantotilaan.

Vesilaitoksella mahdollisesti tapahtuviin työtapaturmiin varaudutaan riskien arvioinnilla ja vesilaitoksen turvallisuusohjeella. Turvallisuusohjeessa ohjeistetaan eri työvaiheet ja siitä löytyvät myös käytettävien kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteet.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vanhan ioninvaihtolaitoksen käyttöikä ja sen tuotantokapasiteetti ei riitä nykyisellään korvaamaan lisäveden tarvetta voimalaitoksilla. Täyssuolanpoistolaitoksen uusiminen joko uuteen ioninvaihto- tai käänteisosmoosilaitokseen on välttämätöntä, nykyisen vesilaitoksen putkistojen ym. laitteiden haurastumisen ja kulumisen vuoksi.

Molemmat tarkastelussa olleet laitostyyppit täyttävät voimalaitoksen lisäveden laatuvaatimukset. Voimalaitoksien lisäveden tarpeen ollessa noin 100 m³/vrk, ei kummankaan laitostyyppin kokonaiskustannuksissa ollut merkittävää eroa. Laitteistoja vertailtaessa huomio kiinnittyykin käyttökäytännön työturvallisuuteen, jolle on vaikea laskea vertailukelpoista hintaa.

Tilaratkaisuja mietittäessä tulisi ottaa huomioon, että uuden laitoksen tulee mahtua nykyisiin tiloihin. Ioninvaihtolaitosten neutralointisäiliöt eivät mahdu nykyiseen vesilaitostilaan vaan niille on rakennettava erillinen tila. Käänteisosmoosilaitoksen asentaminen vaatii myös nykyiselle vesilaitostilalle uuden tilajärjestelyn. Uuden lisävesisäiliön rakentaminen antaisi varmuutta lisäveden riittämisestä voimalaitoksien käyttöön niin häiriötilanteissa kuin täyttötilanteissakin.

Tärkein ero laitostyyppien välillä on käänteisosmoosilaitoksen kemikaalittomuus, jolloin työturvallisuuskohdat paranevat ja ympäristövaikutukset pienenevät.

LÄHTEET

Ahlström 1990. Käyttöohje HO70594.

Ashland 2010. Käyttöturvallisuustiedote. Boilex-500 korroosionestoaine. Kansio. Päivitetty 4.5.2010.

Binnie, Chris & Kimber, Martin 2009. Basic water treatment. Fourth edition.

Etelä- Savon Energia Oy 2010. Vuosikertomus. Sepeteus Oy. Mikkeli:Teroprint.

Eurowater – description of the EDI process. WWW –dokumentti. <http://www.eurowater.com>. Ei päivitystietoja. Luettu 15.3.2011.

Hentschel, Oliver & Puustinen, Hannu 2011. Haastattelu 31.3.2011. Sales Manager International & Tuotepäällikkö. ProMaqua GmbH & ProMinent Finland Oy.

Hilden, Jouko. 2005. Kunnossapito 6, 74.

HOH Separtec. WWW-dokumentti. <http://www.hoh.fi>. Ei päivitystietoja. Luettu 20.3.2011.

Kemira 2010. Käyttöturvallisuustiedote. Suolahappo. Kansio. Päivitetty 20.5.2010.

Hyxo Oy 2005. Käyttöturvallisuustiedote. Hydrolit Mg. Kansio. Päivitetty 10.5.2005.

Höyrykattilan toimintaperiaate. WWW-dokumentti. <http://www.knowenergy.net/>. Ei päivitystietoja. Luettu 10.1.2011.

Mikkelin vesilaitos 2009. Käyttötarkkailu 2009 ja vesitutkimus 24.6.2009. Sähköposti. Laboratorio. Mikkelin vesilaitos.

Nasdaq omx. <http://www.nasdaqomxcommodities.com/trading/marketprices>. Päivitetty 9.2.2011 klo 14.34.24. Luettu 9.2.2011.

Prominent Oy 2010. PDF-dokumentti. <http://www.prominent.fi>. Kalvoteknologiaesite. 2.11.2010.

Pursialan voimalaitos 2007. Esite. Sepeteus Oy. AO-Paino 4.

Pursialan voimalaitos. Sähköinen arkisto.

Oja, Timo 2009. Korkeapainekattiloiden vesikemiakurssi. Mikkeli 15.- 16.1.2009. Luentomateriaali.

Sonninen, Risto 2007. Syöttöveden valmistus. Tampere 15.3.2007. Luentomateriaali.

Vidqvist, Maija 2005. Kunnossapito 5, 42- 45.

Vidqvist, Maija 2006. Voimalaitosten vesienkäsittely, vesikemia, vesien valmistus. Imatra 15.- 16.3.2006. Luentomateriaali.

Vidqvist, Maija 2010. Teollisuuden vesipäivä. Tampere 26.10.2010. Luentomateriaali.

Viiala, Harto 2005. Käänteisosmoosi- ja sähköisen ioninvaihtotekniikan taloudellisuus voimalaitosten syöttöveden käsittelyssä verrattuna perinteiseen ioninvaihtotekniikkaan. Teknillinen korkeakoulu, Espoo. Automaatio- ja systeemitekniikan osasto. Diplomityö.

Vuorinen, Jani 2008. Ioninvaihto täyssuolanpoistossa. Promaint 7, 60-62.

Vuorinen, Jani 2010. Teollisuuden vesipäivä. Tampere 26.10.2010. Luentomateriaali.