



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Martti Hirvonen

Käänteisosmoosilaitoksen suunnittelu voimalaitokselle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

7.5.2021

Tekijä Otsikko	Martti Hirvonen Käänteisosmoosilaitoksen suunnittelu voimalaitokselle
Sivumäärä Aika	20 sivua + 2 liitettä 7.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	kemiantekniikka
Ohjaajat	lehtori Timo Seuranen toimitusjohtaja Tobias Takko
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli uuden automatisoidun käänteisosmoosi (RO) -laitoksen suunnittelu. Toimeksiantajana toimi Vesi-Pauli Oy, ja työn tilaajana oli Koskinen Oy. Tarkoituksena oli suunnitella automatisoitu käänteisosmoosilaitos ja laatia siihen käyttöohje sekä piirtää PI-kaavio. Työhön kuului myös vedenpehmentimen maksimikapasiteetin laskeminen.</p> <p>Uuden RO-laitoksen tarkoituksena oli kaksinkertaistaa lisäveden tuotanto sekä automatisoida venttiilit ja suunnitella pesuyhteys. Teoriaosuudessa esitellään osmoosi, käänteisosmoosi ja niiden hyötyjä sekä muita vedenkäsittelyprosesseja.</p> <p>Yrityksen kanssa sovitut tavoitteet saavutettiin seuraavasti: Laskettiin uuden vedenpehmentimen teoreettinen maksimikapasiteetti. Piirrettiin uudesta RO-laitoksesta Koskinen Oy:n käyttämien merkintätapojen mukainen kaavio sekä standardien mukainen PI-kaavio. Tämän lisäksi laadittiin uudelle RO-laitokselle yrityksen tarpeita vastaava käyttöohje.</p>	
Avainsanat	osmoosi, käänteisosmoosi, käänteisosmoosilaitos, suunnittelu

Author Title	Martti Hirvonen Designing a Reverse Osmosis Plant for a Power Plant
Number of Pages Date	20 pages + 2 appendices 7 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Chemical Engineering
Instructors	Timo Seuranen, Senior lecturer Tobias Takko, Managing director
<p>The aim of this thesis was to design a new automated reverse osmosis (RO) plant. The client was Vesi-Pauli Oy and the orderer was Koskinen Oy.</p> <p>The purpose was to design an automated reverse osmosis plant and draw an instruction manual and a PI-diagram. The thesis project also included calculating the maximum capacity of the water softener.</p> <p>The purpose of designing the new RO plant was to double the production of extra water as well as to automate the valves and design a washing connection. The theoretical part introduces osmosis, reverse osmosis and their utilization, as well as other water treatment processes.</p> <p>The objectives agreed with the company were achieved as follows: the theoretical maximum capacity of the new water softener was calculated. A diagram following the notation methods used by Koskinen Oy and a standard PI diagram were drawn of the new RO plant. In addition, an instruction manual was prepared for the new RO plant to meet the needs of the company.</p>	
Keywords	osmosis, reverse osmosis, reverse osmosis plant, design

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Osmoosi	1
2.1	Osmoosissa käytettyjä kalvoja	2
2.2	Osmoosin hyödyntäminen	2
3	Käänteisosmoosi	4
3.1	Käänteisosmoosissa käytettyjä kalvoja	6
3.2	Käänteisosmoosin edut	6
3.3	Käytännön sovellukset	7
4	Muita vedenkäsittelyprosesseja	8
4.1	Ioninvaihto	8
4.2	Elektrodialyysi	8
4.3	Elektrodeionisaatio	9
5	Koskinen Oy:n -voimalaitoksen vesihöyrypiiri ja lisävesi	10
5.1	Voimalaitoksen vesihöyrypiirin lisäveden tuotanto	10
5.2	Koskinen Oy vaneritehtaan voimalaitoksen kattilavesi	10
5.3	Voimalaitoksen vedenpehmennys	11
5.4	Koskinen Oy:n vaneritehtaan voimalaitoksen käänteisosmoosi	12
5.5	Voimalaitoksen elektrodeionisaatio	12
6	Työn toteutus	13
6.1	Vedenpehmentimen kapasiteetti	13
6.2	Uuden käänteisosmoosilaitoksen PI-kaavio	15
6.3	Uuden käänteisosmoosilaitoksen käyttöohje	15
7	Tulokset ja pohdinta	16
	Lähteet	17

Liitteet

Liite 1. Uuden RO-laitoksen standardien mukainen PI-kaavio

Liite 2. Uuden RO-laitoksen käyttöohje

Lyhenteet

CEDI = jatkuva elektrodeionisaatio (eng. continuous electrodeionization)

ED = elektrodialyysi

EDI = elektrodeionisaatio

FO = suoraosmoosi (eng. forward osmosis)

IEM = ioninvaihtokalvo (eng. ion-exchange membrane)

PRO = paineen hidastama osmoosi (eng. pressure retarded osmosis)

RED = käänteinen elektrodialyysi (eng. reverse electro-dialysis)

RO = käänteisosmoosi (eng. reverse osmosis)

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on käänteisosmoosi (RO) -laitoksen suunnittelu Koskinen Oy:n vaneritehtaan voimalaitokselle kattilaveden suolanpoistoon ja sen käyttöön tarvittavan käyttöohjeen laatiminen sekä PI-kaavion piirtäminen. Työhön kuului myös vedenpehmentimen maksimikapasiteetin laskeminen.

Uusi RO-laitos tulee vanhan laitoksen rinnalle, koska tarve oli kaksinkertaistaa lisäveden tuotanto ja saada myös uusi automatisoitu RO-laitos. Vanhasta laitoksesta ei ole tarkoitus luopua – lisäveden tuotannossa voidaan käyttää molempia laitoksia samanaikaisesti. On mahdollista myös käyttää vain toista laitosta esimerkiksi huollon ja/tai pesun aikana.

Työn toteutuksen ja tulosten esittelyn lisäksi työssä sivutaan osmoosia ja käänteisosmoosia teoriapohjalta sekä niiden toimintaperiaatteita ja sovelluksia. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Vesi Pauli Oy Koskinen Oy:n tilauspyynnöstä.

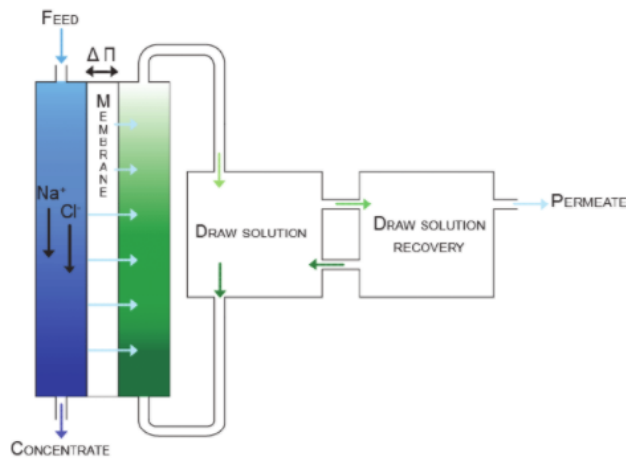
Suunnittelussa hyödynnettiin jo olemassa olevaa RO-laitosta. Uudesta laitoksesta pyrittiin tekemään samanlainen sillä erolla, että tarvittavat käsiventtiilit olisivat automatisoituja. Putkimateriaalit ja venttiilit valikoituivat putki- ja venttiililuettelon perusteella.

2 Osmoosi

Osmoosi on liuottimen (yleensä veden) valikoivaa kulkeutumista puoliläpäisevän kalvon läpi korkeammasta kemiallisesta potentiaalista matalampaan. Tämä voi olla seurausta joko hydrostaattisten paineen ja/tai liuennneiden aineiden pitoisuuksien erosta. Muun muassa suolanpoistoon hyödynnettävästä osmoosista käytetään usein nimitystä *forward osmosis* (FO) eli suoraosmoosi erotuksena käänteisosmoosista, joka on prosessina päinvastainen. (Galama 2015: 34.)

FO:ssa liikkeellepanevana voimana käytetään liuosta, jonka pitoisuus on korkeampi kuin syöttöliuoksen. Nämä kaksi virtaa erotetaan puoliläpäisevällä kalvolla, jolloin niiden pitoisuusero johtaa osmoottiseen paine-eroon kalvon yli (kuva 1). Vesi siirtyy laimeammasta syöttöliuoksesta kohti väkevämpää liuosta johtuen siitä, ettei kalvon yli ole lämpötila- tai paine-eroa. Tämän jälkeen väkevampi liuos laimennetaan ja syöttöliuos

väkevöidään. Lopulta kalvojen molempia puolia vastaa sama osmoottinen paine, jolloin veden siirtyminen lakkaa. (Galama 2015: 35.)



Kuva 1. Suoran osmoosin periaate (Galama 2015: 35).

Puoliläpäisevä kalvo läpäisee vain pienempiä liuotinsuolamolekyylejä, ei suurempia liuosmolekyylejä tai -ioneita. Osmoottinen paine-ero (potentiaaliero) kalvon poikki toimii liikkeellepanevana voimana. (Nelson 2017: 1; Jaio ym. 2015: 1–2.)

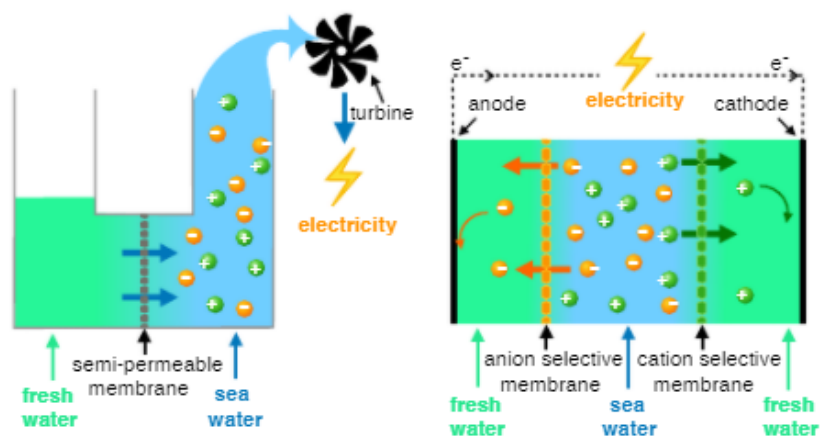
2.1 Osmoosissa käytettyjä kalvoja

Yleisesti käytetty puoliläpäisevä kalvo osmoottisten pumppujen valmistamiseksi biologisissa järjestelmissä on selluloosa-asetaattia. Puoliläpäisevissä kalvoissa voidaan käyttää myös seuraavia polymeerejä: agarsetaatti, β -glukaaniasetaatti, amyloositriasetaatti, poly (ortoesterit), poly (vinyylimetyyli) eetterikopolymeerit, polyasetaalit, poly (maitohappo) sekä poly (glykolihappo) johdannaiset. (Gaur ym. 2014: 45.)

2.2 Osmoosin hyödyntäminen

Yksi kasvavista kalvoteknologioista on FO- eli suoraosmoosi, eli niin kutsuttu suunniteltu/manipuloitu osmoosi. Siihen sisältyy erilaisia edullisia energiaprosesseja, ja sen tarjoamiin mahdollisuuksiin kuuluu kyky poistaa suolaa murto- ja merivedestä luonnollisin keinoin. (Gaur ym. 2014: 45.)

Suolapitoisuuden eroista kerättyä energiaa kutsutaan siniseksi energiaksi. Tällaista voi olla esimerkiksi meri- ja makean jokiveden keskenään sekoittaminen. Sinisen energian kerääminen on perustunut olennaisesti kahteen tekniikkaan. Ensimmäisessä tekniikassa meri- ja jokiveden erottamiseen käytetään puoliläpäisevää kalvoa, jolloin ”paineen hidastama osmoosi” tai PRO kerää luonnollisen osmoottisen voiman meri- ja jokiveden välillä siten, että turbiini alkaa tuottaa sähköä. Toisessa tekniikassa käänteinen elektrodialyysi eli RED käyttää meri- ja jokiveden suolojen diffuusiogradientteja suoraan ionisten sähkövirtojen tuottamiseksi. Siinä erotetaan vastaavat ionivirrat monipinoisia kationi- ja anioniselektiivisiä kalvoja käyttämällä. Meri- ja jokiveden sekoittamisella kerätty entropinen enimmäisenergia on tyypillisesti 0,8 kWh/m³. Kun lasketaan luonnon potentiaaliset resurssit, eli missä joet virtaavat valtameriin, voitaisiin saada yhteensä noin 1 TW energiaa. Vuodessa se tekisi 8 500 TWh. Tuotto on huomattava verrattuna muihin uusiutuviin energioihin. Esimerkiksi vuonna 2015 aurinko- ja tuulivoimatuotanto oli yhteensä 1 100 TWh, ydinenergiatuotanto noin 2 600 TWh, ja hydraulinen energiantuotanto noin 4 000 TWh. Näiden lukujen valossa voidaan siis todeta, että sinisellä energialla on suuri potentiaali energian tuotossa. (Marbach & Bocquet 2019: 32–33.) Kuvassa 2 esitetään sinisen energian keräysperiaatteita; vasemmalla PRO ja oikealla RED.

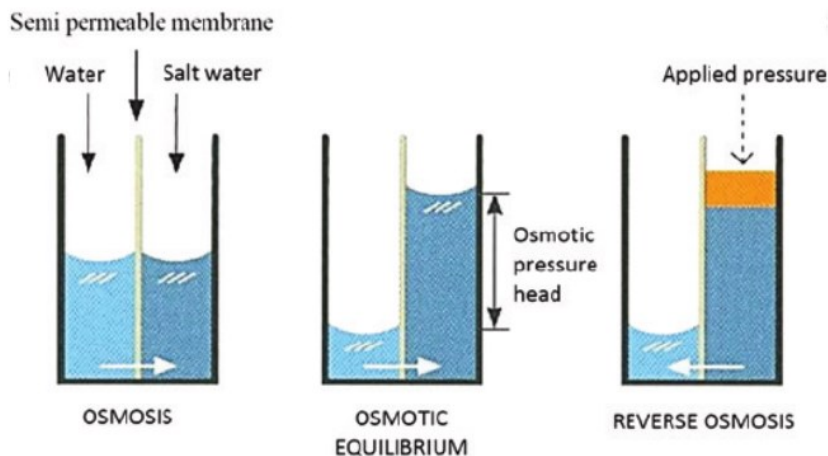


Kuva 2. PRO- ja RED-tekniikat (Marbach & Bocquet 2019: 33).

3 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosissa liuottimen kulkusuunta on käänteinen osmoosiin nähden. Liuotin kulkee puoliläpäisevän kalvon läpi osmoosissa väkevämpään liuokseen laimeammasta, ja ajavana voimana toimii osmoottinen paine. Kun väkevämpää liuosta puristetaan osmoottista painetta vastaavalla paineella, osmoosi pysähtyy. (Laitinen & Toivonen 2004: 152.) Väkevää liuosta tulee puristaa osmoottista painetta suuremmalla paineella käänteisosmoosissa, jotta virtaus kulkee laimeampaan liuokseen väkevämmästä puoliläpäisevän kalvon läpi (kuva 3). Epäpuhtaudet eivät kulkeudu puoliläpäisevän kalvon läpi toisin kuin vesi. (Pihkala 1998: 16.)

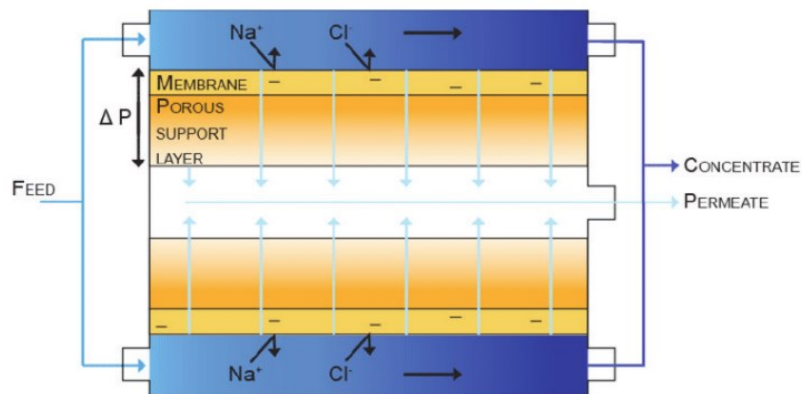
Käänteisosmoosi on prosessi, jossa liuenneita kiinteitä aineita, orgaanisia, värejä, nitraatteja, bakteereita, pyrogeeneja, ja submikronisia kolloidisia aineita poistetaan ja erotellaan vedestä puoliläpäisevien kalvojen avulla. Prosessissa puoliläpäisevän kalvon läpi lasketaan paineistettuna syöttövettä. Vesi kulkee kalvon läpi, jolloin läpi tullut vesi on puhdistettua eli niin sanottua permeaattivettä. Vedessä olleet epäpuhtaudet väkevöidään tämän jälkeen hylkyvirtaan ja huuhdellaan viemäriin. Tätä huuhdeltua vettä kutsutaan konsentraatiksi. (Garud ym. 2011: 233.)



Kuva 3. Osmoosi ja käänteisosmoosi (Salinas-Rodriguez ym. 2016: 7).

Käänteisosmoosisuolanpoistolaitos koostuu esikäsittelyjärjestelmästä, korkeapainepumpuista, membraanijärjestelmästä sekä jälkikäsittelystä. Esikäsittelyjärjestelmä on järjestetty poistamaan kaikki suspendoituneet kiinteät aineet siten, ettei kalvossa tapahdu mikrobien kasvua tai suolan saostumista. Esikäsittely voi sisältää tavanomaisia menetelmiä, kuten kemiallisen syöttämisen, ja sen jälkeisen

koaguloinnin/sedimentoinnin/flokkuloinnin ja hiekkasuodatuksen, tai kalvomenetelmiä esimerkiksi mikro- ja ultrasuodatusta. Veden kulkeminen kalvon läpi ja suolan poistaminen mahdollistetaan korkeapainepumpuilla, jotka syöttävät tarvittavan paineen. Jälkikäsitteilyyn voi kuulua desinfiointi ja pH:n säätäminen permeaatin käytöstä ja veden laadusta riippuen. (Ahuchaogu ym. 2018: 21.)



(Kosunen ym. 2015: 10).

Käänteisosmoosijärjestelmät erottavat syöttövirrasta liuenneita ioneita. Järjestelmässä syöttövesi on jaettu kahteen virtaan: matalan tai suolattoman pitoisuuden (permeaattiveden) ja korkean suolapitoisuuden (konsentraatti/hylkyveden) virtoihin. Prosessissa kalvon läpi kulkevan veden määrä on verrannollinen paine-eron syöttöpermeaattiin, kalvon läpäisevyyteen sekä kalvon pinta-alaan. (Salinas-Rodriguez ym. 2016: 5.) Kalvon läpi kulkeva veden määrä voidaan laskea kaavalla 1:

$$Q_w = \frac{dV}{dt} = (\Delta P - \Delta \pi) \cdot K_w \cdot A \quad (1)$$

Q_w = permeaatin virtaus (m³/h)

V = suodatetun veden kokonaismäärä (permeaatti) (L tai m³)

t = aika (s, min, h)

ΔP = paine-ero (paineensyöttö - paine-permeaatti) (bar)

$\Delta \pi$ = osmoottisen paineen ero (osmoottisen paineen syöttö - osmoottisen paineen permeaatti) (bar)

K_w = veden läpäisevyyssvakio/permeabiliteettivakio (m³/m²/s/bar)

A = kalvon/kalvojen pinta-ala (m²)

$(\Delta P - \Delta \pi)$ = nettokäyttöpaine (bar)

(Salinas-Rodriguez ym. 2016: 5–6).

Konsentraatin väkevyyttä tulee rajoittaa suolojen laadusta riippuen. Permeaatin virtaus tulee rajoittaa n. 10 %:iin per elementti veden läpivirtauksesta, jotta konsentraatti voi kuljettaa erottuneet aineet eteenpäin kalvon tukkeutumatta (Takko 2021).

3.1 Käänteisosmoosissa käytettyjä kalvoja

RO-prosessissa käytettävän kalvon käyttöikä tulisi olla pitkä. Kalvo tulisi valmistaa suola hylkivästä materiaalista siten, että se olisi hieman suolaan läpäisevä. Sen tulisi olla hyvin vettä läpäisevä. Tärkeää on myös, että se ei ole altis likaantumiselle. Kalvon olisi sallittava suurten vesimäärien virtaus kalvon läpi suhteessa käytettyyn tilavuuteen. Kalvon tulisi lisäksi olla termisesti, kemiallisesti, ja fysikaalisesti stabiili suolavedessä sekä oltava riittävän vahva kestämään vaihtelevaa syöttöveden laatua ja korkeita paineita. (Garud ym. 2011: 235.) Suolanpoistoon käytettäviä käänteisosmoosikalvoja on yleensä kahta tyyppiä. Nämä ovat onttokuitukalvo ja spiraalikierretty kalvo (Ahuchaogu ym. 2018: 21).

3.2 Käänteisosmoosin edut

Käänteisosmoosilla on useita hyötyjä:

- Prosessin kautta epäorgaaniset ja orgaaniset epäpuhtaudet voidaan poistaa samanaikaisesti.
- RO-järjestelmä vaatii vähemmän energiaa kuin muut tekniikat; sillä on huomattavan pieni ominaisenergiantarve, noin 3–9,4 kWh/m³ tuote.
- Käänteisosmoosiprosessi voi vähentää merkittävästi jätevirtojen määrää, mikä mahdollistaa sekä tehokkaamman että kustannustehokkaamman käsittelyn muiden prosessien (esimerkiksi polttamisen) avulla.
- Huoltokustannukset vähenevät, koska käänteisosmoosilaitos toimii yleensä ympäristön lämpötilassa vähentäen näin korroosio-ongelmia ja kalkin muodostumista kattilakivenestoaineen ja biodispersointiaineen käytön vuoksi.

- Käänteisosmoosiprosessin modulaarinen rakenne lisää suolanpoistolaitosten rakentamisen joustavuutta suurella kapasiteettialueella.
- Käänteisosmoosijärjestelmä mahdollistaa jätevirran talteenoton tai kierrätyksen vaikuttamatta hyödynnettävään materiaaliin.
- Käänteisosmoosijärjestelmä on helppo suunnitella ja käyttää. Se vaatii vähän huoltoa ja koostuu useista modulaarisista osista tehden järjestelmän laajentamisesta helppoa. (Ahuchaogu ym. 2018: 22.)
- Käänteisosmoosijärjestelmä voi korvata tai sitä voidaan käyttää yhdessä erilaisten käsittelyprosessien kanssa. Tällaisia ovat esimerkiksi strippaus, adsorptio ja biologinen käsittely. (Garud ym. 2011: 235.)

3.3 Käytännön sovellukset

Käänteisosmoosin merkittävin sovellus on puhtaan veden erottaminen meri- ja murtovedestä. Meri- tai murtovesi paineistetaan kalvon pintaa vasten. Tämän seurauksena vesi kulkeutuu kalvon läpi muodostaen huomattavasti vähemmän suolaista juomavettä permeaattipuolelle. Käänteisosmoosilla voidaan poistaa vedestä jopa 99 % suoloista. (Ahuchaogu ym. 2018: 21)

Meriveden kalvopohjaista suolanpoistoa ja jäteveden uudelleenkäyttöä pidetään laajalti lupaavina ratkaisuina vesipulan lievittämiseksi ja vesihuollon lisäämiseksi (Garud ym. 2011: 233). Käänteisosmoosi on varteenotettava vaihtoehto juomaveden tuotannossa tilanteissa, joissa juomavettä ei ole saatavilla esimerkiksi veneillessä pitkiä matkoja tai kaupungeissa jossa lähettyvillä ei ole kuin merivettä. Esimerkiksi Sydneyssä juomavettä tuotetaan käänteisosmoosin avulla merivedestä. (Kunnas 2018.)

4 Muita vedenkäsittelyprosesseja

4.1 Ioninvaihto

Ioninvaihdoksi kutsutaan kompleksin ja elektrolyyttiliuoksen tai kahden elektrolyytin välistä ionien vaihtoa. Ioninvaihtoa voidaan käyttää osana ioni- tai vesipitoisten liuosten puhdistusta, erottamista sekä dekontaminointia. Esimerkiksi jäteveden käsittelylaitoksissa ionien keskenään vaihtamiseen käytetään ioninvaihtohartseja demineralisaation toteuttamiseksi.

Ioninvaihtojärjestelmät sisältävät syklisesti käytettäviä ioninvaihtohartseja. Ioninvaihtohartseja on kahden tyyppisiä – kationihartseja ja anionihartseja. Vesi johdetaan perustan läpi, kunnes se kyllästyy. Hartsista ulos tuleva vesi sisältää haluttua pitoisuutta suuremman määrän poistettavia ioneja. Tämän jälkeen hartsi regeneroidaan pesemällä se, jolloin kerääntyneet kiintoaineet saadaan poistettua. Hartsista huuhdellaan poistetut ionit elvytysliuoksella. (Kansara ym. 2016: 143–144.)

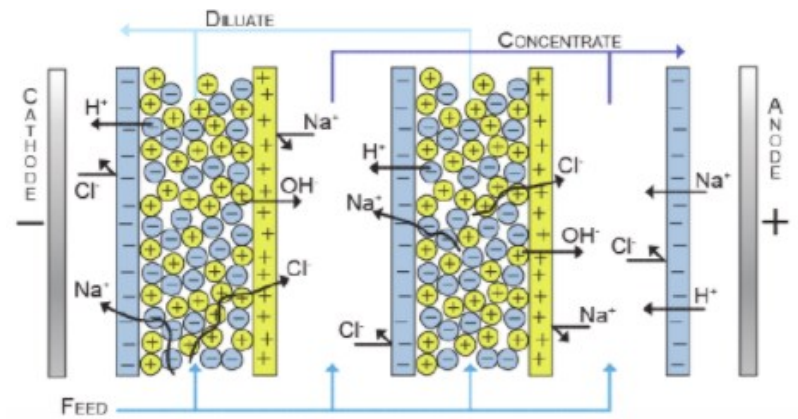
4.2 Elektrodialyysi

Elektrodialyysi (ED) on sähkökenttää ja ioninvaihtokalvoja (IEM) hyödyntävä tekniikka. Se mahdollistaa ionien läpikulun IEM:n kautta veden vähimmäisvirtauksella. Elektrodialyysissä membraanisolut koostuvat vuorotellen asetetuista kationinvaihtokalvosta, väkeväitevirtalokerosta, anioninvaihtokalvosta ja laimennusvirtalokerosta. Nämä membraanisolut muodostavat niin kutsutun kalvopinon. Kalvopinon molemmin puolin muodostetaan katodin tai anodin sisältävä elektrodilokero. Ionit alkavat kulkeutua IEM:n läpi elektrodeihin jännitteen tai virran avulla, luoden konsentraatin ja laimennusvirran.

Pääsääntöisesti elektrodialyysiä käytetään murtoveden suolanpoistoon. Sitä on myös hyödynnetty muun muassa happo- ja syövyttämistuotannossa, radioaktiivisen jäteveden käsittelyssä, ultrapuhtaan veden tuotannossa, orgaanisten yhdisteiden erottamisessa sekä yleisessä ionierotuksessa. Tekniikalla on todettu olevan potentiaali esisuolanpoistotekniikkana veden omatessa korkean suolapitoisuuden. (Galama 2015: 8; Alvarado – Chen 2014: 584.)

4.3 Elektrodeionisaatio

Elektrodeionisaatio (EDI) on ioninvaihtoa ja elektrodialyysia soveltava hybriditekniikka. EDI-soluun kuuluu kationisia ja anionisia kalvoja. Menetelmässä kalvot asetetaan vuorotellen katodin ja anodin väliin laimeiden ja väkevöityjen lokeroihin aikaansaamiseksi. Ioninvaihtohartsien kerrokset vievät laimennettuihin lokeroihin, jotta sähköiselle aktiiviteetille saadaan tarjottua substraatti – näin estetään konsentraation polarisaatioilmiön esiintyminen. Pitoisuuden polarisaatio liittyy olennaisesti kalvojen selektiivisyyteen. Sillä tarkoitetaan yleensä, että virtaus on heikentynyt. Tämä aiheuttaa sen, että nano- ja ultrasuodatuksen suorituskyky heikkenee. Se on lisäksi merkki kalvon likaantumisesta. (Alvarado & Chen 2014: 587; Giacobbo ym. 2018: 1.)



Kuva 5. Elektrodeionisaation periaate (Galama 2015: 23).

Aikaansaatu sähkökenttä kationien ja anionien kulkeutumista hartsikerroksen läpi, joka kerää kationit ja anionit. Tätä seuraa virtaus kalvojen ja hartsien läpi. Veden dissosiaatio tapahtuu samanaikaisesti kationisten ja anionisten vaihtomateriaalien kontaktipaikoissa. Tämä luo hydroksyyli-ioneja ja protoneja, jotka toimivat hartsin uudistamiseksi *in situ*. (Alvarado & Chen 2014: 587.)

Elektrodeionisaatiota voidaan hyödyntää useissa eri prosesseissa. Näitä ovat muun muassa raskasmetallien poisto, kromin, kobaltin, kuparin, nikkelin ja kadmiumin poisto, muiden ionien poisto, orgaanisten ainesosien erottelu sekä puhtaan veden tuottaminen. (Alvarado & Chen 2014: 594–595.) Elektrodeionisaation mahdollisuudet kattavat muun muassa ultrapuhtaan veden tuottamisen. Erotusmenetelmänä se on ympäristöystävällinen, ja sillä on alhaiset prosessikustannukset.

EDI:n sovelluksista eniten käytetyin on CEDI tai continuous electrodeionization. CEDI:tä käytetään puhdistamaan kationeja ja anioneja vedestä, usein sitä käytetään ED- tai RO-tuotteiden jälkikäsitellyssä. CEDI:tä voidaan käyttää myös itsenäisenä tekniikkana vähäsuolaisten virtojen puhdistuksessa.

EDI-järjestelmät saattavat saada tulevaisuudessa lisää tehokkuutta osoittavia parannuksia niiden toimiessa matalamman energiankulutuksen vuoksi pienemmillä kustannuksilla. Tällaiset ominaisuudet ovat haluttuja monissa erilaisissa teollisissa sovelluksissa ympäri maailman esimerkiksi kattilaveden tuotannossa ja elintarviketuotannossa. (Alvarado & Chen 2014: 595–596; Galama 2015: 23.)

5 Koskinen Oy:n -voimalaitoksen vesihöyrypiiri ja lisävesi

Opinnäytetyön tavoitteena oli mahdollistaa lisäveden tuotannon kapasiteetin kaksinkertaistaminen laskemalla vedenpehmentimen kapasiteetti, piirtämällä PI-kaavio sekä laatimalla käyttöohje.

5.1 Voimalaitoksen vesihöyrypiirin lisäveden tuotanto

Työn aiheena oli uuden käänteisosmoosilaitoksen suunnittelu vanhan käänteisosmoosilaitoksen rinnalle, koska pelkkä käänteisosmoosi ei riitä puhdistamaan raakavettä kattilaveden vaatimuksiin. Koskinen Oy:n vaneritehtaan voimalaitoksen raakavesi käy läpi eri yksikköprosesseja, ennen kuin se soveltuu kattilavedeksi. Raakavetenä käytetään Lahden kaupungin vesijohtovettä, joka johdetaan vedenpehmentimille, joita on tällä hetkellä käytössä kaksi ja yksi varattuna uudelle RO-laitokselle. Vedenpehennyksen jälkeen vesi siirtyy käänteisosmoosiin ja EDI:hin. EDI:en jälkeen vesi on sopivaa kattilassa käytettäväksi suositusten mukaan ja se varastoidaan 20 m³:n kokoiseen säiliöön.

5.2 Koskinen Oy vaneritehtaan voimalaitoksen kattilavesi

Voimalaitoksen vesihöyrypiiriin ei sovellu mikä tahansa vesi vaan sen laadulle on asetettu vaatimuksia, esimerkiksi standardissa SFS-EN 12952- 12:2003. Standardi käsittelee laatuvaatimuksia syöttö- ja kattilavedelle putkikattiloissa. Standardi on yhtenevä DENÅ:n kattilaveden laatusuosituksen kanssa. Koskinen Oy:n vaneritehtaan

voimalaitoksen kattilavedelle on käytetty pohjoismaisen DENÅ:n (Dansk Kedelforening + Ekono + Norsk Dampkedelforening + Ångöförelning) vesisuosituksia eri käyttöpainneille ja kattilatyypeille. Voimalaitoksen kattilaveden ohjearvot on katsottu dokumentin suosituksista lieriöpainealueella 125 bar. (Kuva 6.)

ENERGIA-EKONO VOIMALAITOKSEN VEDENLAATUOHJEET/DENÅ									
KATTILAVESI									
Lieriöpaine	Ylipaine	bar		24	35	67	90	125	160
Tulistettu höyry	Ylipaine	bar		22	32	62	84	110	140
pH yläraja	@ 25°C		<	9,1 + lg (Johtokyky) *					
pH alaraja	@ 25°C		>	9,5	9,5	9	9	8,5	8,5
p-arvo	I	mval/kg	<	8	6	2	0,75	0,2	0,05
	II	mval/kg		1-8	1-6	1-2			
Johtokyky	@ 25°C	mS/m	<	400	350	80	40	15	4
Natrium ja kalium	Na	mg/kg	<	800	650	150	80	30	8
Fosfaatti	PO ₄ II	mg/kg		10-20	< 15	< 15	2-6	2-6	1-3
Silikaatti	SiO ₂	mg/kg	<	60 + 6 p	35 + 3,5 p	7	3	1	0,35
KMnO ₄ -kulutus		mg/kg	<	300	200	80	40	15	5

Kattiloiden vedenemetyksy on hyvin yksilöllinen. Turbiinikäytössä on valvottava höyryn puhtautta ja tämän perusteella määrítettävä kattilaveden korkein sallittu suolapitoisuus. Tämä suolapitoisuus saattaa olla paljon alempi kuin taulukon arvot.

Lämpökuorman noustessa paikallisestikin kattilassa yli 230 kW/m², olisi kaikilla kattilapainella sovellettava, SiO₂-a lukuunottamatta 160 bar:n ohjearvoja. Syöttövesi >67 bar:n ohjearvosuosituksen mukaisesti.

I. Maksimi p-arvo vedenkäsittelystä riippumatta.
 II. Käytettäessä fosfaatteja jäännöskovuuden sitomiseen. Käytettäessä koordinoitua fosfaattimenetelmää kattilaveden pH:n valvontaan 10 - 20 mg PO₄/kg paineluokissa 35 - 90 bar ja 7 - 15 mg PO₄/kg paineluokissa 67 - 125 bar.

Kuva 6. DENÅ:n laatusuosituksia kattilavedelle (DENÅ 1985).

Syöttöveden standardoinnilla vaikutetaan esimerkiksi turbiinin ja kattilan kuntoon ja käyttöikään. Vesijohtoverkoston vesi ei suoraan sovellu syöttövedeksi kattilaan. Kattilaveden laatuvaatimukset riippuvat kattilan käyttöpainneesta ja rakenteesta sekä kattilan lämpökuormasta ja höyryn käyttötarkoituksesta. Ominaisuudet, joita mitataan, ovat veden kovuus, pH, konduktiivisuus, alkaliteetti, KMnO₄-kulutus, PO₄-pitoisuus sekä eri metallien pitoisuudet. (Huhtinen ym. 2004.)

5.3 Voimalaitoksen vedenpehennys

Ennen käänteisosmoosilaitosta vettä tulee pehmentää. Tämä tarkoittaa käytännössä veden sisältämien magnesium- ja kalsiumionien vaihtamista natriumioneiksi. Koskinen Oy:n vaneritehtaan lisävedentuotantolaitoksella vedenpehmentiminä on tällä hetkellä käytössä kaksi kappaletta Eurowaterin SFH 1202 -vedenpehmentimiä, joissa vedenpehennykseen käytetään kationihartsia. Hartsin elvytys kemikaalina NaCl-vesiliuosta eli ruokasuolavesiliuosta. Vedenpehmentimiä käytetään yhtäaikaaisesti, toisen pehmentimen ollessa elvytyksessä jatkaa toinen veden pehennystä. Pehmentetyn veden laatua seurataan. Veden kovuuden on määrä olla korkeintaan 0,5 °dH, jotta sitä voidaan

käsitellä lisäveden tuotantolaitoksessa. (Lintusaari 2021.) Lahden kaupunki ilmoittaa vesijohtoveden olevan noin 2,8–5,6 °dH (Lahti Aqua).

Veden kovuuden ehdoton maksimi on 0,5°dH Koskinen Oy:n vaneritehtaan voimalaitoksen lisävedentuotannossa. On kuitenkin kannattavaa pehmentää vesi 0,1°dH:n kovuuteen. Tämä säästää tulevaisuudessa lisäveden tuotantolaitoksen vedenkäsittelylaitteita ja voimalaitoksen kattilaa. (Takko 2021.)

5.4 Koskinen Oy:n vaneritehtaan voimalaitoksen käänteisosmoosi

Käänteisosmoosissa poistetaan lisävedestä suolaa ja siinä poistuu n. 99 % raakaveden suoloista. Nykyistä käänteisosmoosilaitosta ohjaa lisävesisäiliön pintaa mittaavat anturit. Alarajalla käynnistään ja ylärajalla pysäyttäen RO-laitoksen. RO-laitosta käynnistettäessä avataan raakaveden tuloventtiili ja huuhdellaan laitoksen kalvot raakaveden paineella. RO-laitoksen syöttöveden alaraja on 2 bar ja yläraja 6 bar. Huuhtelun jälkeen pumppu tuo vettä RO-laitokseen syöttöpaineella. RO-laitoksen permeaatin laatua seurataan johtokyky mittauksella. Kun johtokyky alittaa valvontarajan, huuhteluventtiili voidaan sulkea ja permeaatti ohjata EDI-laitteelle. (Lisävesilaitoksen toimintaselostus 50295 2005a: 5.)

5.5 Voimalaitoksen elektrodeionisaatio

Lisäveden tuotannossa käytetty EDI on E-Cell-elektrodeionisaatiolaitteisto. EDI-prosessissa puhdistetaan virtaavaa vettä jatkuvatoimisesti käyttäen sekä kationin- että anioninvaihtohartsia. Jatkuvatoimisuus perustuu siihen, että ioninvaihtohartsia elvytetään koko ajan tasajännitteen avulla eikä keskeytystä vaadita elvytyksen ajaksi. Laitteisto sisältää kennoja, jotka on jaettu kolmenlaisiin kammioihin: elektrolyytti, konsentraatti ja puhdasvesi. Kammiot on erotettu toisistaan anioni- ja kationinvaihtokalvoilla, joilla estetään konsentraattiin siirtyneiden ionien palaaminen puhtaanveden kammioon. Puhdasvesikammiossa sijaitsee molempia hartseja, jotka poistavat vedestä anioniset ja kationiset epäpuhtaudet. Kennoon tasavirtajännite saadaan aikaan tuomalla kennon vastakkaisille puolille katodi ja anodi. Katodi vetää puoleensa kationeja ja anodi anioneja. Ionit kulkevat ioninvaihtohartsin läpi vastaavalle elektrodille. Sähköpotentiaal ansiosta saadaan ionit kulkemaan ioninvaihtokalvonläpi läpi konsentraattikammioon. Kennon läpi kulkevalla

jännitteellä on toinenkin tarkoitus, sillä se edistää veden hajoamista hydroksyyli- ja vetyioneiksi, jotka puolestaan elvyttävät hartsia. EDI-laitteistoon kuuluu myös NaCl-vesiliuostankki ja -pumppu, jolla annostellaan suolaliuosta kiertävään konsentraattilinjaan sen johtokyvyn nostamiseksi, sillä jännitteen ylläpidon sähkökustannukset nousevat suhteessa puhdistetun vedenlaatuun. (E-Cell Elektrodeionisaatiolaitteisto 2005b.)

6 Työn toteutus

Tehtiin työsuunnitelma, jossa sovittiin työtehtävät ja aikataulu. Toteutettiin työmaavierailu Koskinen Oy:n vaneritehtaan voimalaitokselle. Perehdyttiin jo käytössä olevaan käänteisosmoosilaitokseen, jonka kapasiteetti oli 8 m³/h. Sovittiin opinnäytetyön sisältämät työtehtävät:

- Käänteisosmoosilaitoksen kapasiteetti nostetaan 16 m³:iin/h.
- Venttiilit automatisoidaan ohjauksen tehostamiseksi sekä suunnitellaan pesuyhteys.
- Selvitetään, riittääkö jo hankitun vedenpehmentimen kapasiteetti uudelle RO-laitokselle.

Uusi käänteisosmoosilaitos piirrettiin AutoCAD-ohjelmalla. Uudesta laitoksesta piirrettiin PI-kaavio sekä laadittiin uudelle laitokselle käyttöohje.

6.1 Vedenpehmentimen kapasiteetti

Sovituista töistä ensimmäisenä aloitettiin uuden vedenpehmentimen kapasiteetin selvittämisellä. Koska tiedossa ei ollut syöttöveden virtausnopeutta, lähdettiin teoreettista maksimikapasiteettia laskemaan vedenpehmentimen sisältämän kationihartsin suositellun kontaktiajan perusteella.

Kationihartsin kontaktiaikana käytettiin 42 m³/h/m³, joka on suositeltu kontaktiaika jatkuvatoimiselle syöttöveden virtaukselle vedenpehmentimessä (Slovak 2004). Vedenpehmentimen hartsitankin mitat ovat 700 mm, 750 mm 1950 mm, joista laskettiin tankin

tilavuudeksi n. 1,02 m³. Kun huomioitiin hartsin turpoamiselle jätettävä vara ja säiliöön tuleva hiekka, laskettiin vedenpehmentimen teoreettinen maksimikapasiteetti niin, että hartsin tilavuutena käytettiin puolta hartsitankin tilavuudesta.

Veden teoreettinen maksimitilavuusvirtaus laskettiin kaavalla 2:

$$\text{hartsin tilavuus} \cdot \text{kontaktaika} = \text{tilavuusvirtaus} \quad (2)$$

(Slovak 2004).

Vedenpehmentimen teoreettiseksi maksimikapasiteetiksi saatiin:

$$42 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3 \cdot 0,51 \text{ m}^3 = 21,42 \text{ m}^3/\text{h}$$

Koska uuden käänteisosmoosilaitoksen kapasiteetti oli 8m³/h, uuden vedenpehmentimen kapasiteetti tulisi riittämään sen tarpeisiin, vaikka teoreettisesta maksimikapasiteetista saavutettaisiin vain 40 %. Laskennan lisäksi tukea saatiin kapasiteetin riittämiseen myös vedenpehmentimen maahantuojalta, joka ilmoittaa vedenpehmentimen (Eurowater) kapasiteetiksi 13–32 m³/h (Eurowater vedenpehmentimet: 3). Teoreettisen maksimikapasiteetin lisäksi laskettiin myös hartsin elvytysväli, jottei syntyisi tilannetta, jossa maksimikapasiteetti olisi riittävä, mutta hartsia jouduttaisiin elvyttämään kesken lisäveden tuotannon.

Lahden kaupunki ilmoittaa vesijohtovetensä maksimikovuudeksi 5,6 °dH (LahtiAqua). Yksi °dH on CaCO₃-pitoisuutena ilmoitettuna 17,8 g/m³ (VISOCOLOR®SCHOOL). Niinpä Lahden vesijohtoveden kovuuksi saatiin CaCO₃-pitoisuutena ilmoitettuna 5,6 °dH · 17,8 g/m³ ≈ 100 g/m³. Pehmennettävän veden maksimitilavuusvirtaus vuorokaudessa laskettiin: 8 m³/h · 24 h = 192 m³ ja sillä laskettiin poistettavan kovuuden maksimi vuorokaudessa: 192 m³ · 100 g/m³ = 19200 g.

Vähäisellä suolan annostelulla (100 g/l suolaa elvytyskemikaalissa), jota on kaikista taloudellisinta käyttää, hartsia poistaa kovuuksia vedestä n. 48 g(CaCO₃)/l (Slovak 2004). Elvytysvälin maksimipituus laskettiin kaavalla 3:

$$\text{elvytysväli} = \frac{\text{hartsin tilavuus} \cdot \text{kapasiteetti}}{\text{poistettava kokonaiskovuus}} \quad (3)$$

(Slovak 2004).

Hartsin maksimielvytysväliksi saatiin $510 \text{ l} \cdot 48 \text{ g/l} / 19200 \text{ g/d} = 1,275 \text{ d}$, eli $\approx 30 \text{ h}$. Valmistajan luvatta vedenpehmentimen maksimielvytyssekvenssiksi 70 min ja huomioden, että molempien käänteisosmoosilaitosten syöttöveden pehennykseen on käytössä kolme samanlaista vedenpehennintä, voidaan todeta elvytysvälin olevan vähintään riittävä. Huomioiden vedenpehmentimen teoreettisen maksimitilavuusvirtauksen ja maksimielvytysvälin on hankitun kolmannen vedenpehmentimen kapasiteetti tarpeeksi suuri uudelle käänteisosmoosilaitokselle.

6.2 Uuden käänteisosmoosilaitoksen PI-kaavio

Työhön kuului myös uuden käänteisosmoosilaitoksen PI-kaavion piirtäminen. Aluksi piirrettiin tarjousta varten kaavio uudesta RO-laitoksesta. Kaaviossa käytettiin samaa merkintätapaa, jota oli käytetty yrityksen jo olemassa olevissa venttiili-, laite- ja putkiluettelossa sekä lisäveden tuotantolaitoksen kaaviossa. Kaavio piirrettiin niin, että uuden RO-laitoksen kaikki putket lähtivät ja päättyivät jo piirrettyihin putkiin, venttiileihin, laitteisiin tai niin, että vertaamalla sitä jo olemassa olevaan kaavioon oli helppo hahmottaa, mistä uusi kaavio alkoi. Kaikki tarvittavat tiedot olivat saatavilla jo olemassa olevan kaavion venttiili-, mittapiste- ja laiteluetteloista. Lisäksi opinnäytetyöhön piirrettiin standardien mukainen PI-kaavio (Liite 1).

PI-kaavioon tarvittava tietosisältö katsottiin PSK-standardista 3602 (PSK 3602 2008), putkilinjatunnuksen merkintä PSK 3603 (PSK 3603 2012), Laitteiden ja venttiilien piirrosmerkit PSK 3601 (PSK 3601 2007), virtaavien aineiden symbolit PSK 0901 (PSK 0901 2001). Lisäksi putkimateriaalin yhteensopivuus ja putkiluokan tunnus tarkastettiin standardista PSK 4201 (PSK 4201 2017).

6.3 Uuden käänteisosmoosilaitoksen käyttöohje

Laadittiin uudelle RO-laitokselle myös käyttöohje (Liite 1). Käyttöohjeen laatimisessa helppotti jo olemassa olevan hyvin samanlaisen RO-laitoksen käyttöohje, josta saatiin kuva, mitä RO-laitoksen käyttöohjeen tulisi sisältää. Koska laaditussa käyttöohjeessa viitataan uusien venttiilien ja laitteiden lisäksi muun muassa jo tuotannossa käytössä oleviin venttiileihin, päätettiin laitteiden ja venttiilien merkintätavaksi käyttöohjeessa valita

voimalaitoksen venttiililuettelossa ja PI-kaaviossa käyttämä tapa. Käyttöohjeen laadinnassa otettiin kantaa vain uuden RO-laitoksen käyttöön, ei muihin lisäveden tuotannossa käytettäviin prosesseihin tai ohjelmoitavaan logiikkaan.

7 Tulokset ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli mahdollistaa lisäveden tuotannon kapasiteetin kaksinkertaistaminen seuraavilla toimenpiteillä: vedenpehmentimen kapasiteetin laskeminen, PI-kaavion piirtäminen sekä käyttöohjeen laatiminen.

Vedenpehmentimelle laskettiin teoreettinen maksimikapasiteetti (n. 21 m³/h), jota tuskin koskaan käytännössä saavutetaan. Vedenpehmentimen kapasiteetin tulisi kuitenkin riittää, koska uuden kapasiteetin tarve oli 8 m³/h.

Opinnäytetyön aiheen tarjonneen yrityksen Vesi-Pauli Oy:n kanssa sovitut tavoitteet saavutettiin. Laskettiin uuden vedenpehmentimen teoreettinen maksimikapasiteetti, piirrettiin uudesta RO-laitoksesta Koskinen Oy:n käyttämien merkintätapojen mukainen kaavio sekä standardien mukainen PI-kaavio. Tämän lisäksi laadittiin uudelle RO-laitokselle käyttöohje.

Käänteisosmoosin ja EDI:n käytön lisäksi lisävetä voidaan tuottaa kattilalle myös kemiallisesti. Kannattavaa olisikin selvittää, kumpi tapa on taloudellisesti kannattavampaa.

Koskinen Oy:n tilauksesta suunniteltiin samanlainen RO-laitos, kuin jo olemassa oleva RO-laitos. Tästä syystä uuteen RO-laitokseen valittiin sama putkimateriaali, ruostumaton teräs. Lisäveden tuotantoprosessissa käänteisosmoosin ulkopuoliset veden siirtoon tarvittavat putket voisi valmistaa PVC-muovista. Prosessin maksimipaineen ollessa 5,5 bar, lämpötilan pysyessä matalana ja virtaavan aineen ollessa vettä on PVC ominaisuuksiltaan riittävä putkimateriaaliksi ja edullisempi vaihtoehto, kuin ruostumaton teräs.

Lähteet

Ahuchaogu, Ahamefula; Chukwu, Oknkwo; Obike, Anthony; Igara, Chitua; Chidi, Nnorom; Echeme, John. Onyekachi 2018. Reverse Osmosis Technology, its Applications and Nano-Enabled Membrane. International Journal of Advanced Research in Chemical Science. Vol 5. s. 20–24.

Alvarado, Lucía & Chen, Aicheng 2014. Electrodeionization: Principles, Strategies and Applications. Electrochimica Acta. Vol 12. s. 585–589.

DENÅ 1985. Voimalaitoksen vedenlaatuohjeet. Yrityksen sisäinen dokumentti.

Eurowater vedenpehmentimet. Verkkoaineisto. Hyxo Oy. <https://www.hyxo.fi/assets/files/2020/09/HYXO_eurowater_vedenpehmentin.pdf>. Luettu 30.3.2021.

Galama, A.H. 2015. Ion exchange membranes in seawater applications, Processes and characteristics. Väitöskirja. Wageningen University. ResearchGate.

Gaur, Ruchi; Mishra, Lallan & Sen Gupta, Susanta. 2014. Diffusion and Transport of Molecules In Living Cells. Modelling and Simulation of Diffusive Processes, Simulation Foundations, Methods and Applications. E-kirja. Springer International Publishing.

Garud, R; Kore, Suandra.; Kore, V & Kulkarni, G. 2011. A Short Review on Process and Applications of Reverse Osmosis. Universal Journal of Environmental Research and Technology. Vol 1. s. 233-236.

Giacobbo, Alexandre; Bernardes, Andréa; Rosa, Maria João & de Pinho, Maria. 2018. Concentration Polarization in Ultrafiltration/Nanofiltration for the Recovery of Polyphenols from Winery Wastewaters. Verkkoaineisto. Membranes 2018, 8, 46. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6161306/pdf/membranes-08-00046.pdf>>. Päivitetty 21.6.2018. Luettu 10.4.2021.

Huhtinen, Markku; Kettunen, Arto; Nurminen, Pasi & Pakkanen, Heikki 2004. Höyrykattilateknikka. 6. painos. Helsinki. Edita.

Jaio, Yanmei; Kang, Yuejun & Yang, Chun 2015. Osmosis and its applications. Verkkoaineisto. Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics. <https://www.researchgate.net/publication/303680138_Osmosis_and_Its_Applications>. Luettu 3.3.2021

Kansara, Nirali; Bhati, Lavleen; Narang, Mansi & Vaishnavi, R. 2016. Wastewater treatment by ion exchange method: a review of past and recent researches. Verkkoaineisto. Environmental Science, An Indian Journal. 12:4. <<https://www.tsijournals.com/articles/wastewater-treatment-by-ion-exchange-method-a-review-of-past-and-recent-researches.pdf>>. Luettu 30.3.2021

Lisävesilaitoksen toimintaselostus 50295. 2005a. Yrityksen sisäinen dokumentti. Koskinen Oy.

E-Cell Elektrodeionisaatiolaitteisto. 2005b. Koskinen Oy. Käyttö- ja Huolto-ohje. Yrityksen sisäinen dokumentti.

Kunnas, Satu. 2018. Juomakelpoista merivettä. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

LahtiAqua. Usein kysytyt kysymykset. Verkkoaineisto. <<https://www.lahtiaqua.fi/meidanvetemme/usein-kysytyta-vedesta/>>. Luettu 15.3.2021.

Laitinen, Risto & Toivonen, Jukka. 2004. Yleinen ja epäorgaaninen kemia. Oppikirja. 17. painos. Helsinki. Hakapaino Oy.

Lintusaari, Timo. 2021. Energiapalvelun päällikkö. Koskinen Oy, Mäntsälä. Keskustelu 3.3.2021.

Marbach, Sophie & Bocquet, Lydéric. 2019. Osmosis, from molecular insights to large-scale applications. Verkkoaineisto. The Royal Society of Chemistry. <https://www.researchgate.net/publication/331195923_Osmosis_from_molecular_insights_to_large-scale_applications#pf2a> Luettu 8.3.2021

Nelson, Peter Hugo. 2017. Osmosis and thermodynamics explained by solute blocking. Verkkoaineisto. Eur Biophys J. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5123978/pdf/nihms792664.pdf>> Luettu 7.3.2021

Pihkala, Juhani. 1998. Prosessiteknikan kokonaisprosessit. Helsinki. Hakapaino Oy.

PSK 0901. 2001. Virtaavien aineiden nimet, lyhenteet ja lyhenteiden muodostaminen. PSK Standardointiyhdistys ry.

PSK 3601. 2007. Prosessiteollisuuden virtauskaavioiden piirrosmerkit. PSK Standardointiyhdistys ry.

PSK 3602. 2008. PI-kaavion tietosisältö. PSK Standardointiyhdistys ry.

PSK 3603. 2012. PI-kaavion esitystapa ja merkitsemisohje. PSK Standardointiyhdistys ry.

PSK 4201. 2017. PI-kaavion tietosisältö. PSK Standardointiyhdistys ry.

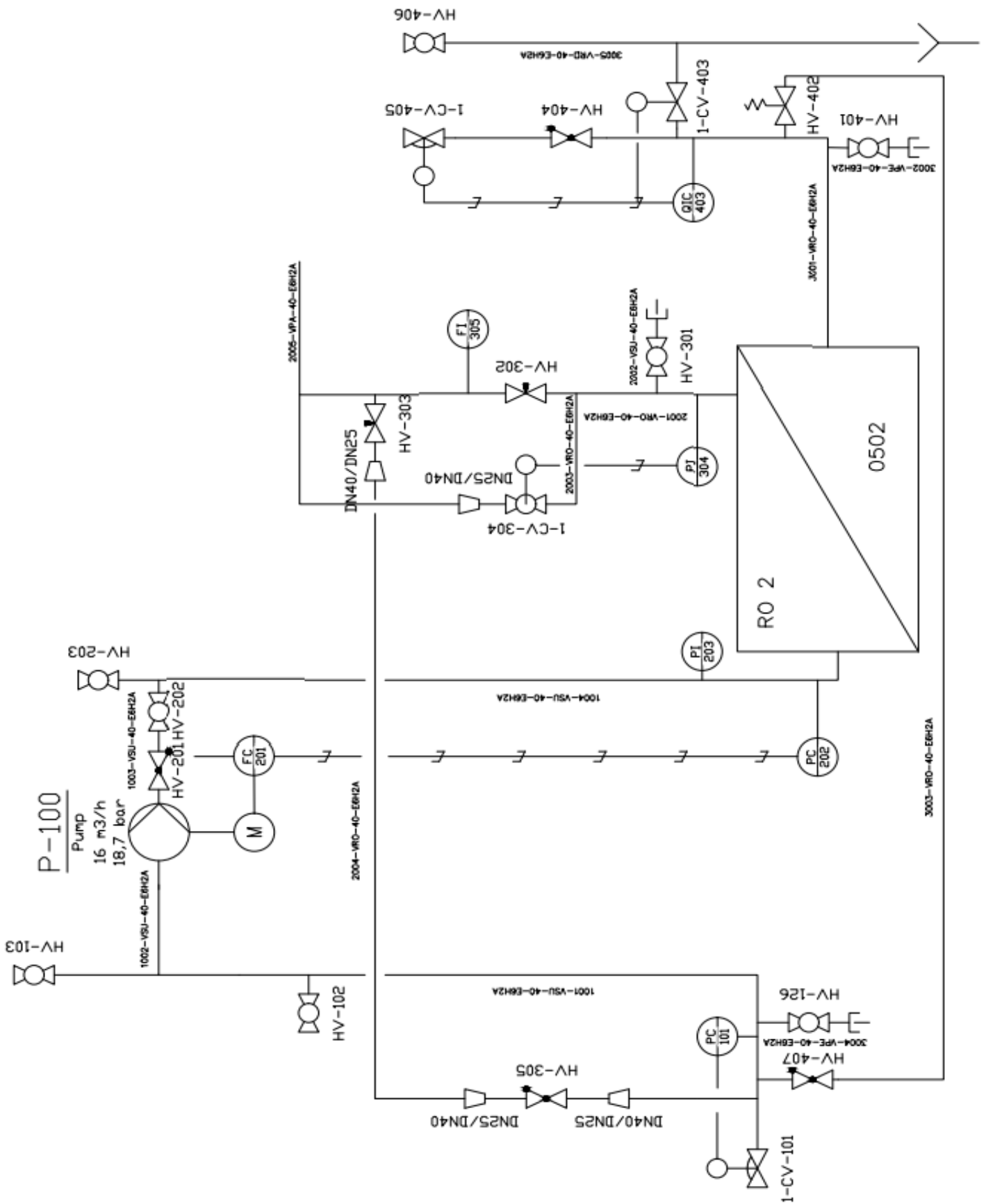
Salinas-Rodriguez, Sergio.; Schippers, Jan. & Kennedy, Maria. 2016. Efficient desalination by reverse osmosis, a guide to RO practice – Chapter 2, The process of reverse osmosis. Verkkoaineisto. IWA Publishing. <https://www.researchgate.net/publication/302909917_The_process_of_reverse_osmosis>. Luettu 7.3.2021

Slovak, Robert. 2004. Guidelines for Designing Water Softeners. Verkkoaineisto. <<http://archive.wcponline.com/pdf/0304%20Water%20Softners.pdf>>. Luettu 1.4.2021

Takko, Pauli. 2021. Diplomi-insinööri, Vesi-Pauli Oy, Helsinki. Keskustelu 29.5.2021

VISOCOLOR®SCHOOL. 553088 Koulun vesitutkimussalkku Käyttöopas. Tevella Oy. <https://www.tevella.fi/media/catalog/product/5/5/553088_KO_fin.pdf>. Luettu 1.4.2021

Liite 1. Uuden RO-laitoksen standardien mukainen PI-kaavio



Liite 2. Uuden RO-laitoksen käyttöohje

RO2 Käyttöohje

Kun lisävesisäiliön alapinta laskee alle raja-arvon, käynnistetään molemmat RO-yksiköt tai haluttaessa vain toinen. Veden tuotto pysäytetään, kun veden pinta varastosäiliössä nousee pysäytysrajalle tai sekvenssi pysäytetään käsin.

RO-sekvenssin askeleet.

Askel 1 Yleiset käynnistys- ja käyntiehdot, askel 2 Häiriöaskel: yleiset käynnistys- ja käyntiehdot eivät ole voimassa, askel 3 alkuhuuhtelu, askel 4 häiriöaskel: häiriö alkuhuuhtelussa, askel 5 veden tuotto, askel 6 häiriöaskel: häiriö tuottoaskeleessa, askel 7 loppuhuuhtelu, askel 8 häiriöaskel: häiriö loppuhuuhtelussa, askel 9 odotustila, askel 10 SEIS-tila, askel 11 käsikäyttötila RO 2.

Askel 1 yleiset käynnistys- ja käyntiehdot

- Instrumentti-ilmanpaine venttiiliohjauksille yli 5,5 bar (PS – 2QCE10CP002)
- RO-flush sekvenssi ei ole käynnissä

Jos ehdot ovat voimassa, siirrytään askeleeseen 3, mikäli ehdot eivät täyty siirrytään askeleeseen 2.

Askel 2 häiriö: yleiset käynnistys- ja käyntiehdot eivät ole voimassa

- Hälytys
- Poistetaan häiriön syy
- Kuitataan ja palataan askeleeseen 1

Askel 3 alkuhuuhtelu

- Tulventtiili 2GCA20AA101 auki
- Laatuventtiili 2GCF33AA101 auki

Alkuhuuhtelun jälkeen siirrytään askeleeseen 5.

Mahdolliset häiriöt alkuhuuhtelussa

- Yleiset käynnistys- ja käyntiehdot eivät ole voimassa
- RO:n tuloveden paine alhainen (PS – 2 GCA20CP002)
- Tulventtiili (2GCA20AA101) ei avaudu

Häiriötilanteessa siirrytään askeleeseen 4.

Askel 4 Häiriöaskel: Häiriö alkuhuuhTELUSSA

- Hälytys
- Ohjataan tuloventtiili (2GCA20AA101) kiinni
- Poistetaan häiriön syy
- Kuitataan ja palataan askeleeseen 1

Askel 5 Veden tuotto

- Tuloverventtiili 2GCA20AA101 auki
- Laatuventtiili 2GCF33AA101 auki
- Ohjataan käynnistysvuorossa oleva pumppu (2GCA10AP001 tai 2GCA20AP001) käyntiin.

Lisäksi voidaan valita käynnistettäväksi aina pumppu 1 tai 2 esim. toisen pumpun huollon yhteydessä. Mikäli käynnistysvuorossa oleva pumppu ei käynnisty, annetaan tästä hälytys ja käynnistetään toinen pumppu. Odotetaan kunnes johtokyky (QIC 2GCF30CQ001) laskee alle asetetun ylärajan (0,5–2 mS/m), avataan permeaatin sulkuventtiili ja suljetaan laatuventtiili.

- Permeaatin sulkuventtiili 2GCF30AA101 auki
- Laatuventtiili 2GCF33AA101 kiinni
- Kun johtokyky on OK, permeaatin sulkuventtiili on auki ja laatuventtiili kiinni.

Mahdolliset häiriöt veden tuottoaskeleessa

- Yleiset käynnistys- ja käyntiehdot eivät ole voimassa
- RO:n tuloveden paine alhainen (PS – 2 GCA20CP002)
- Johtokyky (QIC - 2GCF30CQ001) nousee yli asetetun ylärajan (0,5–4 mS/m) johtokykyvalvonnassa viive
- Pumppu ei käynnissä
- Permeaatin sulkuventtiili (2GCF30AA101) on kiinni
- Laatuventtiili (2GCF33AA101) on auki

Häiriötilanteessa siirrytään askeleeseen 6.

Askel 6 Häiriöaskel: häiriö veden tuotto askeleessa

- Hälytys
- Ohjataan EDI-sekvenssi seis

- Ohjataan laatuventtiili (2GCF33AA101) auki
- Pysäytetään RO-pumppu
- Ohjataan permeaatin sulkuventtiili (2GCF30AA101) kiinni
- Ohjataan tuloventtiili (2GCA20AA101) kiinni
- Poistetaan häiriön syy
- Kuitataan ja palataan askeleeseen 1

Askel 7 Loppuhuuhtelu

- Tuloventtiili 2GCA20AA101 auki
- Laatuventtiili 2GCF33AA101 auki
- Flush-venttiili 2GCF42AA101 auki
- Pysäytetään RO pumppu
- Permeaatin sulkuventtiili 2GCF30AA101 kiinni

Loppuhuuhtelun jälkeen siirrytään askeleeseen 9.

Mahdolliset häiriöt loppuhuuhtelussa

- Yleiset käynnistys- ja käyntiehdot eivät ole voimassa
- RO:n tuloveden paine alhainen (PS – 2 GCA20CP002)
- Flush-venttiili (2GCF42AA101) kiinni

Häiriötilanteessa siirrytään askeleeseen 8

Askel 8 Häiriöaskel: Häiriö loppuhuuhtelussa

- Hälytys
- Tuloventtiili 2GCA20AA101 kiinni
- Flush-venttiili 2GCF42AA101 kiinni
- Poistetaan häiriön syy
- Kuitataan ja palataan askeleeseen 7

Askel 9 Odotustila

- Tuloventtiili 2GCA20AA101 kiinni
- Laatuventtiili 2GCF33AA101 auki
- Flush-venttiili 2GCF42AA101 kiinni

Kun saavutetaan lisävesisäiliösäiliön alaraja, siirrytään askeleeseen 1

Askel 10 SEIS-tila

- Tulovernttiili 2GCA20AA101 kiinni
- Laatuventtiili 2GCF33AA101 auki
- Permeaatin sulkuventtiili 2GCF30AA101 kiinni
- Flush-venttiili 2GCF42AA101 kiinni

Askel 11 Käsikäyttötila

- RO-laitteisto voidaan odotustilasta tai SEIS-tilasta siirtää käsikäyttötilaan, jossa toimilaitteventtiileitä ja RO-pumppuja voidaan ohjata manuaalisesti. Käsikäyttötilasta poistutaan aina "Odotustilaan" tai "SEIS-tilaan". RO-sekvenssin ollessa käsikäyttötilassa, voidaan antaa EDI-sekvenssille käyntilupa, mikäli johtokyky on alle laaturajan.

Käsikäyttötilassa ovat voimassa seuraavat lukitukset:

- Laatuventtiiliä (2GCF33AA101) ja permeaatin sulkuventtiiliä (2GCF30AA101) ei voi ohjata yhtä aikaa kiinni. EDI-sekvenssin käyntilupaa ei voi antaa johtokyvyn (QIC - 2GCF30CQ001) ollessa yli asetetun ylärajan (0,5–4 mS/m)
- RO:n tuloveden paine alhainen (alle 4 bar) (PS – 2 GCA20CP002) pysäyttää RO-pumpun

Sekvenssi 4: RO-yksikön huuhtelu (Flush) -sekvenssi

- Huuhtelu sekvenssi voidaan suorittaa samoin kuin RO1 huuhtelu sekvenssi.