



TEKNIikka JA LIIKENNE

Konetekniikka

Energia- ja ympäristötekniikka

INSINÖÖRITYÖ

**KÄÄNTEISOSMOOSIN KONSENTRAATIN HYÖDYNTÄMINEN
SUOMENOJAN VOIMALAITOKSELLA**

**Työn tekijä: Joose Gröhn
Työn ohjaaja: Markku Jantunen
Työn ohjaaja: Jere Espo**

Työ hyväksytty: __. __. 2009

**Markku Jantunen
yliopettaja**



ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Fortum Oyj:n Suomenojan voimalaitokselle. Haluan kiittää kaikkia henkilöitä, jotka ovat auttaneet tämän työn tekemisessä. Suuret kiitokset annan Suomenojan laboratorion ja vesilaitoksen henkilökunnalle ja eritoten työni ohjaajalle kemian tiimivastaava Jere Espolle, jonka ansiosta pääsin tekemään insinöörityötä Fortumille. Kiitokset hyvistä neuvoista myös työn valvojalle yliopettaja Markku Jantuselle.

Vantaalla 7.5.2009

Joose Gröhn

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Joose Gröhn	
Työn nimi: Käänteisosmoosin konsentraatin hyödyntäminen Suomenojan voimalaitoksella	
Päivämäärä: 25.5.2009	Sivumäärä: 52 s. + 11 liitettä
Koulutusohjelma: Konetekniikka	Ammatillinen suuntautuminen: Energia- ja ympäristötekniikka
Työn ohjaaja: Markku Jantunen, DI	
Työn ohjaaja: Jere Espo, Luk	
<p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli tarkastella mahdollisia energian talteenottokeinoja konsentraattivuosta pienellä käänteisosmoosilaitteistolla Suomenojan voimalaitoksella. Tärkeitä ratkaisevia seikkoja olivat käänteisosmoosilaitteiston käyttämä paine eri kohdissa sekä vedenvirtausmäärät. Sen jälkeen voitiin arvioida laitteiden sopivuutta käänteisosmoosikoneikolle.</p> <p>Työn alkuosassa tarkastellaan osmoosi-ilmiön perusteita ja Suomenojan voimalaitosta yleisesti sekä siellä käytettävää vedenkäsittelylaitteistoa. Loppuosassa vertaillaan konsentraatin sisältämän energian talteenottoon valmistettuja erilaisia saatavilla olevia laitteita sekä niiden teknillistä taustaa. Teoria- ja tutkimustietoja hankittiin internetistä, kirjallisuudesta sekä eri yritysten asiantuntijoilta.</p> <p>Alun selvitystyön jälkeen löytyi kaksi potentiaalista vaihtoehtoa konsentraattivuon paineenergian talteenottoa varten, LPT ja PX. Koska pumppujen sähkönkäyttö on yksi käänteisosmoosilaitteiston suurimpia kulutuskohteita, oli selvää että laitteet keskittyivät helpottamaan pumppujen työtä. LPT poisti käänteisosmoosin II-vaiheen 11 kW pumpun tarpeen kokonaan ja PX mahdollisti I-vaiheen 22 kW pumpun kutistamisen jopa 60 %. Molemmilla tuotteilla voidaan alentaa sähkönkulutusta ja sitä kautta tehdä säästöä.</p> <p>Karkeasti voitiin laskea, että käyttötuntien ollessa 7 700 h vähensi LPT sähkönkulutusta 84 700 kWh ja PX noin 101 640 kWh.</p>	
Avainsanat: energian talteenotto, käänteisosmoosi, konsentraatti, vedenpuhdistus	

ABSTRACT

Name: Joose Gröhn	
Title: Recovering Energy from Reverse Osmosis Concentrate	
Date: 25 April 2009	Number of pages: 52 + 11 attachments
Department: Mechanical Engineering	Study Programme: Energy and Environmental Technology
Instructor: Jere Espo, BSc	
Supervisor: Markku Jantunen, MSc	
<p>The purpose of this final year project was to examine potential energy recovery systems for exploiting the reverse osmosis concentrate using a small reverse osmosis plant in Suomenoja powerplant. Important factors to be considered were the pressure and the water flow volumes at different points in the RO plant. The aim was to assess the suitability of the equipment for the RO plant.</p> <p>This work is based on information obtained from the Internet, professional literature and from different experts in this field.</p> <p>The first part of this work deals with osmosis as a phenomenon and provides a general review of the Suomenoja powerplant as well as its water treatment equipment. The second part compares various devices currently available for capturing the energy from the concentrate as well as the technical background of these devices.</p> <p>The initial examination yielded two results regarding potential options for energy recovery from the pressure of concentrate flux; LPT and PX. Since one of the largest consumption items at RO plants is the electricity used to work the pump, it was clear that the equipment needed to facilitate the work of the pump. LPT removed the need for the 11 kW pump on the RO plant's second stage and PX allowed shrinking the first stage 22 kW pump by up to 60%. Both products can reduce electricity consumption and hence yield savings.</p> <p>A rough calculation shows that with operating hours at 7 700 h electricity consumption was reduced by 84,700 kWh for LPT and approximately 101,640 kWh for PX.</p>	
Keywords: energy recovery, reverse osmosis, concentrate, water purification	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	OSMOOSIN JA KÄÄNTEISOSMOOSIN PERIAATE	2
2.1	Diffuusio	2
2.2	Osmoosi	2
2.3	Käänteisosmoosi	3
2.4	Käänteisosmoosin käyttökohteet	4
3	SUOMENOJAN VOIMALAITOS	5
3.1	Yleistä	5
3.2	Hiilipölykattila ja höyryturbiini	6
3.3	Pyroflow	7
3.4	Kaasuturbiini ja lämmön talteenottokattila	8
3.5	Espoon kaukolämpöverkko	9
3.6	Suomenojan uusi CHP	10
4	SUOMENOJAN VEDENKÄSITTELYLAITTEISTO	11
4.1	Yleistä	11
4.2	Meriveden esikäsittely	11
4.2.1	<i>pH:n säätö</i>	12
4.2.2	<i>Klooraus</i>	13
4.2.3	<i>Kloorin poisto</i>	13
4.2.4	<i>Koagulointi</i>	14
4.2.5	<i>Hiekkasuodin</i>	14
4.2.6	<i>Aktiivihiekkisuodin</i>	15
4.3	Käänteisosmoosilaitteiston toiminta	16
4.3.1	<i>Antiskalantin syöttö</i>	16
4.3.2	<i>Hienosuodatus</i>	17
4.3.3	<i>Käänteisosmoosikalvo</i>	17
4.3.4	<i>pH:n säätö</i>	19

4.4	Käänteisosmoosilaitteiston tekniikka	20
4.4.1	<i>Paineenkorotuspumppu</i>	20
4.4.2	<i>Paineputket</i>	21
4.4.3	<i>Kalvot</i>	21
4.4.4	<i>Putkisto</i>	22
4.4.5	<i>Instrumentointi</i>	22
4.5	Saanto	23
4.6	Ioininvaihdinsarjat	24
4.6.1	<i>Kationivaihdin</i>	25
4.6.2	<i>Anionivaihdin</i>	25
4.6.3	<i>Sekavaihdin</i>	25
5	ENERGIAN TALTEENOTTO KONSENTRAATTIVUOSTA	26
5.1	Yleistä	26
5.2	Tekniikat	27
5.3	Tuotteet	28
5.3.1	<i>DWEER</i>	29
5.3.2	<i>Calder ERT</i>	31
5.3.3	<i>PX</i>	33
5.3.4	<i>LPT</i>	36
5.3.5	<i>Vaihtoehtoinen energian talteenotto LPT:llä</i>	41
5.4	Huomioitavia seikkoja suunnittelu- ja asennusvaiheessa	44
5.5	Energian kulutus	44
5.5.1	<i>PX:n takaisinmaksu</i>	46
6	YHTEENVETO	47
	VIITELUETTELO	50
	LIITELUETTELO	52

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää Suomenojan voimalaitoksen pienikokoiselta käänteisosmoosilaitteistolta saatavan suurpaineisen konsentraattivirtauksen hyödyntämiskeinot, lähinnä energian säästön kannalta. Konsentraattivuo on vielä noin 16 baarin paineessa tullessaan erottelukalvolta ulos viemäriverkkoon, tällöin siitä saatava paine-energia olisi hyvä saada talteen ja hyödyntää sitä esimerkiksi avustamaan syöttövesipumppuja. Markkinoilla olevilla laitteilla saadaan nykyään hyödynnettyä kyseinen paine jo melkein 99-prosenttisesti. Paine-energiasta saatava energia käytetään lähes yksinomaan syöttöpumppujen helpottamiseksi. Eräs yksinkertainen ja toimiva ratkaisu on niin sanottu matalapaineturbo, joka toimii samalla periaatteella kuten autojen turbot. Näillä energian talteenottolaitteilla saadaan vähennettyä käyttökustannuksia huomattavasti, varsinkin suurissa laitoksissa.

Työssä pohditaan ainoastaan saatavilla olevien laitteiden mahdollista sopivuutta Suomenojan voimalaitoksen käänteisosmoosikoneikolle. Projektin konkreettinen toteutus jää asiaa hallinnoivien ihmisten päätettäväksi.

Työn alkuosa käsittelee osmoosi-ilmiötä, Suomenojan voimalaitosta yleisesti sekä siellä olevaa vedenkäsittelylaitteistoa ja sen toimintaa. Loppuosassa työtä vertaillaan erilaisia energian talteenottolaitteita sekä niiden sopivuutta Suomenojalle.

2 OSMOOSIN JA KÄÄNTEISOSMOOSIN PERIAATE

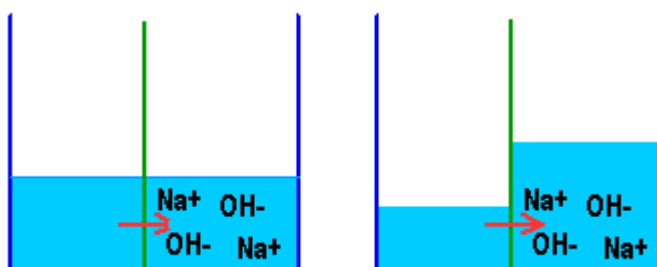
2.1 Diffuusio

Diffuusiosta molekyylit pyrkivät tasoittamaan pitoisuuseroa siirtymällä väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan ajan mittaan. Diffuusiosta energia saadaan molekyylin lämpöliikkeestä, jossa ulkopuolista energiaa ei tarvita. Diffuusiosta määrittyy siten, että partikkeli siirtyy paikaltaan luultavammin sellaiseen paikkaan, missä ei vielä ole partikkeliä. Sokerin sekoittuminen kahviin on eräs paljon käytetty esimerkki diffuusiosta. [1.]

2.2 Osmoosi

Osmoosi on veden diffuusiota puoliläpäisevän kalvon läpi. Vain riittävän pienet molekyylit läpäisevät kalvon, kuten vesi. [2.] Luonnon tasapainoreaktioiden mukaan vesi diffundoituu sille puolelle kalvoa, jolla vesipitoisuus on pienempi, ja näin se pyrkii tasoittamaan eri puolilla kalvoa olevaa pitoisuuseroa. Esimerkiksi vettä sisältävä astia puolitetään puoliläpäisevällä kalvolla (kuva 1) ja toiselle puolelle kaadetaan suolaa. Vesi pyrkii tasoittamaan pitoisuuseroa menemällä kalvon läpi suolaliuoksen puolelle, jolloin sen vesimäärä kasvaa ja paine-ero suurenee. Osmoosi jatkuu kunnes suolapitoisuus on molemmilla puolilla sama. Mitä vahvempi suolaliuos, sitä suurempi paine-ero eli osmoottinen paine. [2.] Merivedelle osmoottinen paine on arviolta 25 kg/cm² [3].

Norjalainen energiayhtiö Statkraft rakentaa maailman ensimmäisen osmoosivoimalaitoksen, joka toimii juuri edellä mainitulla osmoosimenetelmällä. Diffundoitunut suurpaineinen vesi pyörittää turbiinia, jolloin saadaan puhdasta ja uusiutuvaa energiaa. [1.]

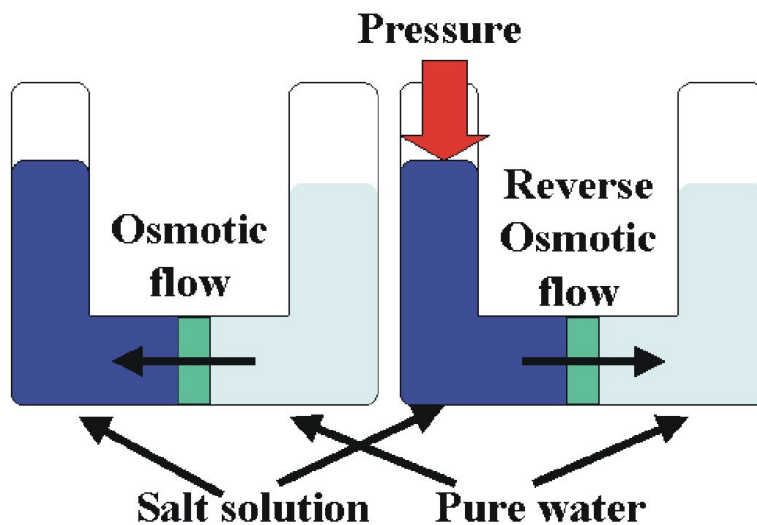


Kuva 1. Osmoosin havainnollistaminen [2]

2.3 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosisa periaate on sama kuin osmoosisa mutta menetelmä päinvastainen (kuva 2). Puhdas vesi saadaan erotettua suolisesta syöttövedestä puskemalla se puoliläpäisevän kalvon läpi ulkoisen paineen avulla. Paineen on oltava paljon suurempi kuin luonnollisen suuntaan kulkeva osmoottinen paine, jotta saadaan erotettua suolat syöttövedestä. Paine tehdään paineenkorotuspumpuilla. [4.]

Käänteisosmoosisa käytetään vesimolekyyliä läpi päästäviä orgaanisia kalvoja. Kalvoissa on pieniä vesimolekyyliin mentäviä reikiä, joista vesi puserretaan. Keskimäärin kalvo pidättää yhdisteet, joiden koko on minimissään 0.0001 mikrometriä. Kalvoilla voidaan poistaa suodatetusta vedestä liukoisia suoloja 95 – 99,9 %. Käänteisosmoosilla voidaan suodattaa myös orgaaniset aineet, partikkelit, sokerit, proteiinit ja bakteerit. [4; 5.]



Kuva 2. Vasen puoli osmoosi, oikea puoli käänteisosmoosi [5]

2.4 Käänteisosmoosin käyttökohteet

Käänteisosmoosi kilpailee puhtaan veden tuottamisessa ensisijaisesti tislauksen, ioninvaihdon ja elektrodialyysittisten prosessien kanssa, joiden joukossa käänteisosmoosi on vakiinnuttanut oman paikkansa vedenkäsittelytekniikassa. Käänteisosmoosilla saadaan poistettua vesiliuoksista pienimolekyylisiä orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä, mutta enimmäkseen sitä käytetään suolojen poistoon meri- ja murtovesistä. [6.]

Muun muassa veneilijät käyttävät käänteisosmoosia hyödykseen saadakseen juomakelpoista vettä merivedestä. Juomavesituotannon lisäksi käänteisosmoosia käytetään paljon teollisuudessa, kuten elektroniikka-, lääke- ja voimalaitosteollisuudessa. Prosessivettä tarvitaan myös jätevesien konsentroinnissa, sekä elintarvike- ja panimoteollisuudessa. Yksi varsin yleinen käyttökohde on ultrapuhaiden vesien valmistus puolijohdeteollisuudelle. Käänteisosmoosia on käytetty kasvavasti jo 1970-luvulta asti, ja vuoden 1997 lopulla koko maailman suolattoman veden tuotanto oli 22 000 000 kuutiota per vuorokausi josta n. 70 % tehtiin käänteisosmoosilla. [6.]

3 SUOMENOJAN VOIMALAITOS

3.1 Yleistä

Fortumin omistama Suomenojan voimalaitos sijaitsee merenrannalla Espoossa Suomenojalla. Voimalaitoksella tuotetaan sähköä valtakunnan verkkoon vuodessa noin 800 gigawattituntia ja kaukolämpöä Espoon, Kauniaisien ja Kirkkonummen asukkaille ja yrityksille noin 1 700 gigawattituntia vuodessa, joka on 60 – 70 % kyseisen alueen tarvitusta lämmöntarpeesta. [7.]

Tällä hetkellä voimalaitoksen pääpolttoaineena ovat maakaasu ja kivihiili, josta kivihiilen osuus pienenee pihapiiriin valmistuvan kombivoimalaitoksen myötä. Vuoden 2009 loppuun mennessä valmistunut laitos käyttää polttoaineena maakaasua ja on sähköteholtaan 238 MW ja lämpöteholtaan 214 MW, vanhan laitoksen kokonaistehojen ollessa 130 MW sähkötehoa ja 345 MW lämpötehoa. [7.]

Uuden laitoksen seurauksena rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöt alenevat, kuten myös kivihiilen ja tuhkan kuljetuksista aiheutuvat päästöt, ainoastaan typenoksidipäästöissä ei tapahdu muutosta. Hiilidioksidipäästöt tuotettua energiaa kohden laskevat yli 10 %. [7.]

Energiantuotanto Suomenojalla on laajentunut ennenkin. Ensimmäinen hiilikäyttöisen höyryvoimalaitoksen valmistuttua 1977, valmistui vuonna 1986 kaukolämmön tuotantoon tarkoitettu pyroflow (kiertoleijukattila). Lämmön talteenotolla varustettu kaasuturbiinilaitos valmistui muutamaa vuotta myöhemmin 1989. [7.] Suomenojan prosessikaavio liitteenä 1.

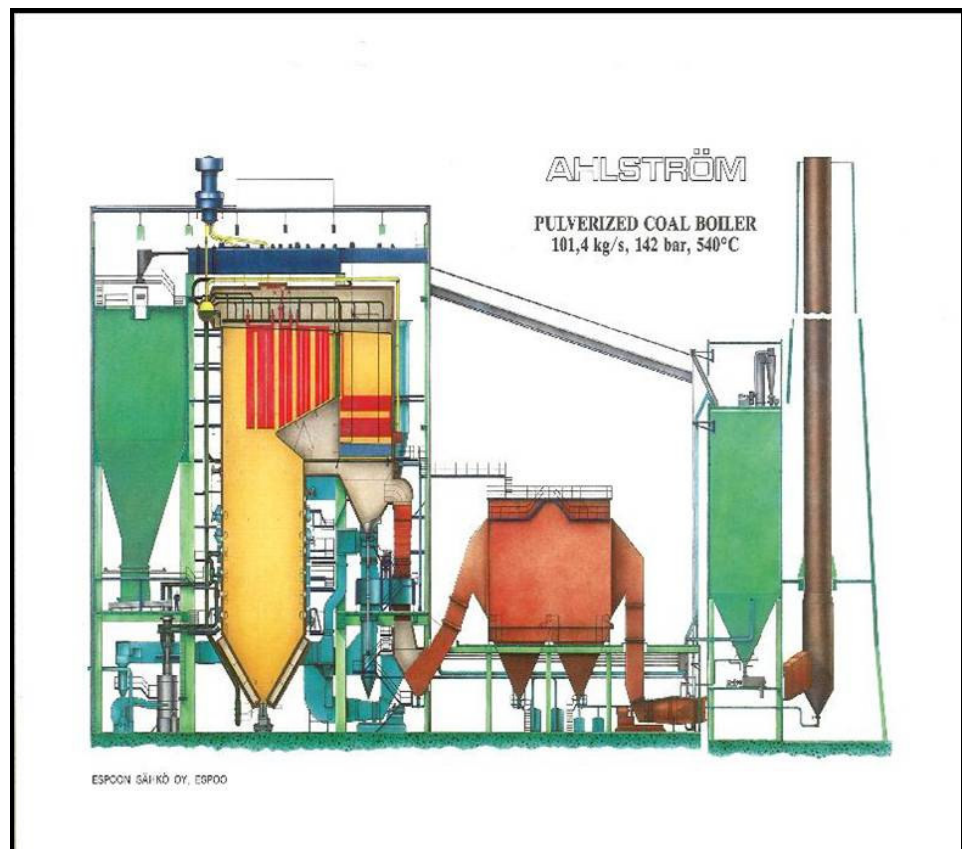
3.2 Hiilipölykattila ja höyryturbiini

Hiilikäyttöisen höyryvoimalaitoksen sähköteho on 80 MW ja kaukolämpötehoa on 160 MW. Päästölakien muuttuessa höyryvoimalaitokselle on tehty suuria ympäristöinvestointeja vuosien saatossa. Vuonna 1991 rakennettiin puolikuiva rikinpoistolaitos ja sähkösuodatin. Vuonna 1994 hankittiin Low-NO_x-polttimet, OFA (Over Fire Air), eli vaiheistusilma ja uudet hiilimylyt. Uudet kaasupolttimet asennettiin vuonna 2004 ja vanhojen öljypolttimien tilalle tuli uudet Low-NO_x öljy/kaasupolttimet nurkkamuutoksineen vuonna 2005. [8.]

Hiilipölykattilan (kuva 3) höyrytiedot ovat seuraavat [8]:

- Käyttöönotto 1977
- Höyryn määrä 101,4 kg/s
- Höyryn paine 142 bar
- Höyryn lämpötila 540 C

Päästörajat: SO₂ 230 mg/MJ, NO_x 180 mg/MJ, Pöly 50 mg/nm³



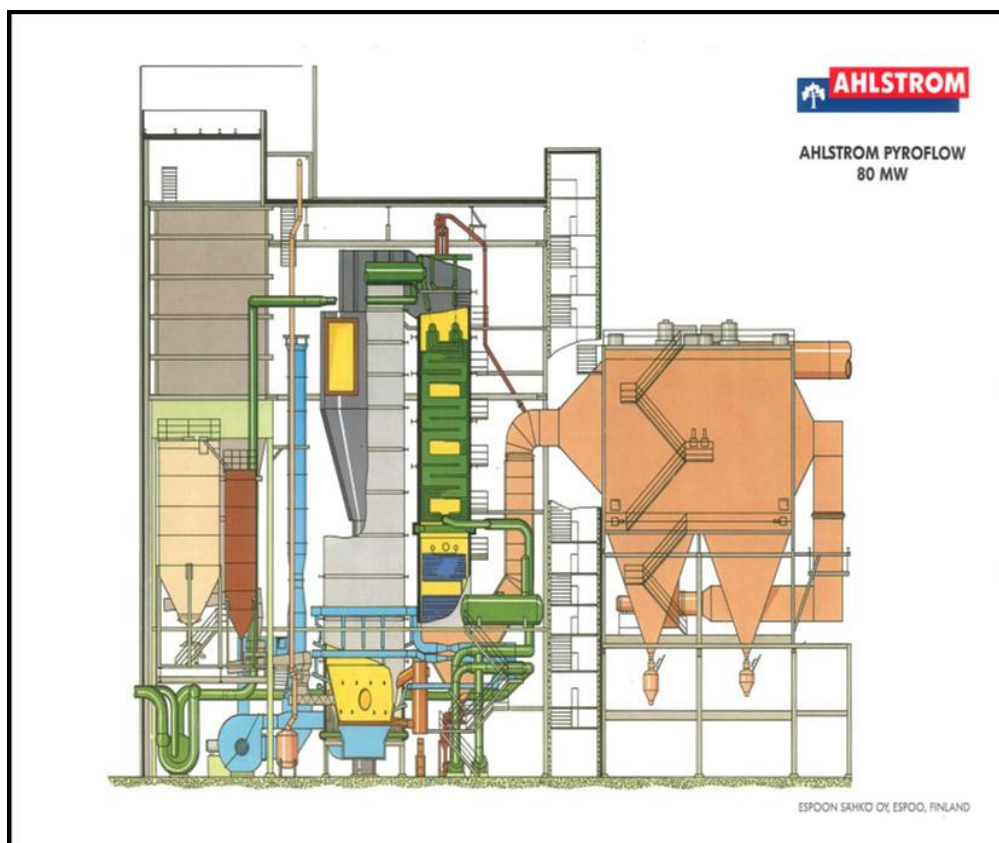
Kuva 3. Hiilipölykattila [8]

3.3 Pyroflow

Kaukolämmön tarve on kasvanut hiljalleen, sitä täydentämään otettiin käyttöön varta vasten kaukolämmön tuotantoon tarkoitettu pyroflow eli kiertoleijukattila (kuva 4) vuonna 1986. Kaukolämpötehoa siitä saadaan 75 MW. Kiertoleijukattilan hiukkaserotus tehdään omalla sähkösuotimella ja rikinpoisto syöttämällä kattilaan kivihiilen mukana kalkkikiveä. [8.]

Pyroflow:n yleistietoja [8]:

- Käyttöönotto 1986
- Polttoaine Hiili
- Höyryn paine 16 bar
- Höyryn lämpötila 200 °C



Kuva 4. Pyroflow [8]

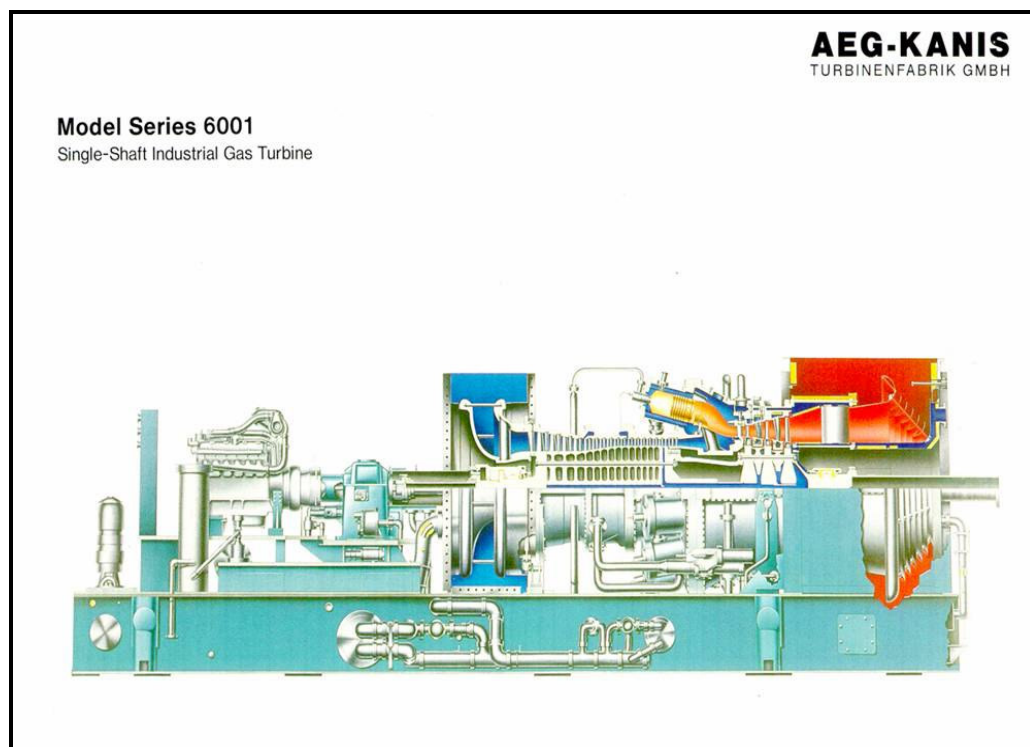
3.4 Kaasuturbiini ja lämmön talteenottokattila

Vuonna 1989 käyttöön otetussa kaasuturbiinissa (kuva 5) on sähkötehoa 50 MW ja kaukolämpöä tuottavalla lämmön talteenottokattilalla lämpötehoa 110 MW:n verran. Polttoaineena käytetään yksinomaan Venäjältä ostettua maakaasua. Ympäristöinvestointeja on tehty myös kaasuturbiinille, vuonna 1995 asennettiin päästörajojen saavuttamiseksi höyryinjektio (NOx reduction). [8.]

Kaasuturbiinin ja lämmön talteenottokattilan yleistietoja [8]:

- Käyttöönotto 1989
- Polttoaine Maakaasu
- Lämpöteho 110 MW
- Sähköteho 50 MW

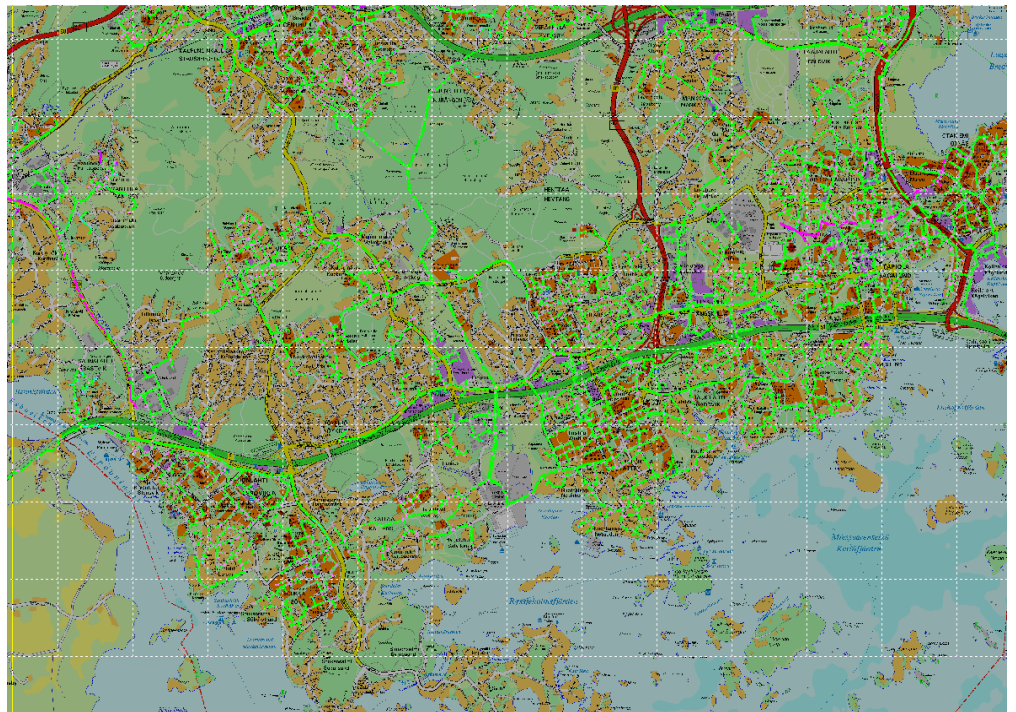
Päästörajat: NOx 100 mg/MJ



Kuva 5. Kaasuturbiini [8]

3.5 Espoon kaukolämpöverkko

Espoon, Kauniaisten ja Kirkkonummen kaukolämpöverkko (kuva 6) tavoittaa noin 200 000 asukasta. Verkoston pituus kaikkine haaroineen on noin 750 km ja tilavuus 45 000 m³. Verkon uusi koko uuden laitoksen seurauksena on noin 70 000 m³. Verkoston vesi uusiutuu tilavuutensa verran kerran vuodessa, johtuen tyhjennyksistä putkitöiden aikana ja vuodoista. Vesi lähtee laitokselta vihreäksi värjättyinä lämpötilassa 85 – 105 °C ja palaa uudelleen lämmitettäväksi 40 – 50 °C:senä. Lähtöveden lämpötila riippuu keleistä ja 3. kattilan käytöstä. Verkostossa on useita pumppuasemia, joilla vesi pidetään liikkeellä. [8.]

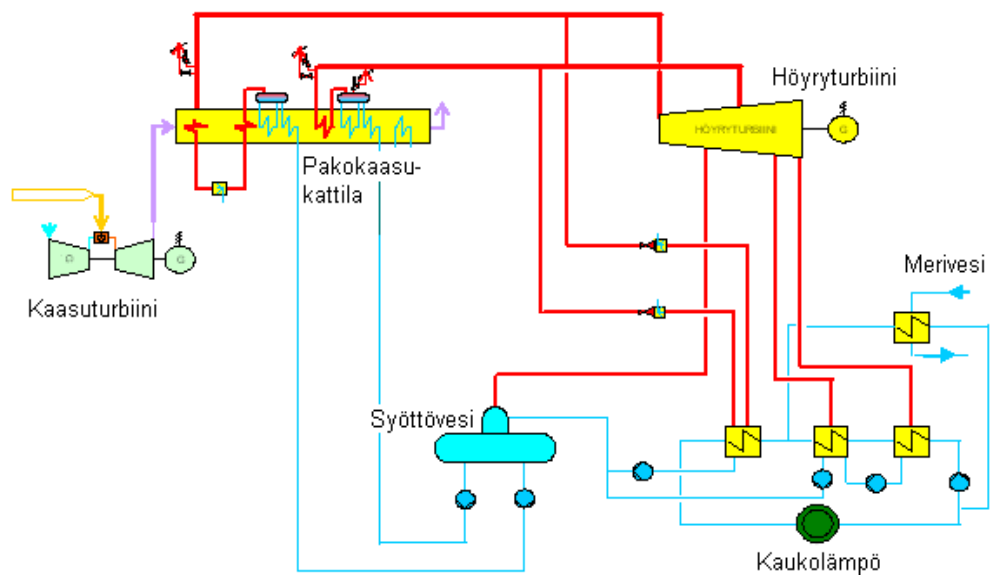


Kuva 6. Espoon kaukolämpöverkko [8]

3.6 Suomenojan uusi CHP

CHP (Combined Heat and Power) on yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto. Sillä tavoitetaan korkea kokonaishyötysuhde, jopa yli 90 %. Tämä on mahdollista maakaasukäyttöisellä kombivoimalaitoksella (kuva 7), jossa yhdistetään kaasuturbiini- ja höryturbiiniprosessit. Rakennussuhde saadaan näin yli yhden (sähköteho / kaukolämpöteho). [8.]

Kokonaissähköteho on 238 MW, se vastaa jopa 100 000 sähkölämmitteisen omakotitalon sähkön tarvetta. Kokonaissähkötehosta 172 MW tuottaa italialaisen Ansaldo'n kaasuturbiini ja 66 MW japanilaisen Mitsubishin höryturbiini. Pakokaasukattila on suomalaisen Noviterin valmistama. Kaukolämpöteho saadaan 214 megawattiin, joka vastaa 85 000 kaukolämmitteisen omakotitalon lämmön tarvetta. [8.]



Kuva 7. Uusi kombivoimalaitos [8]

4 SUOMENOJAN VEDENKÄSITTELYLAITTEISTO

4.1 Yleistä

Vedenpuhdistuksessa on olemassa monia eri konstruktioita ja menetelmiä, joten kaikkia niitä ei käydä läpi tässä luvussa, vaan keskitytään enemmän järjestelmään, joka on nykyään käytössä Suomenojan voimalaitoksella. Suomenojan vedenkäsittelyyn on tulossa joitakin muutoksia uuden voimalaitoksen myötä, sen valmistuttua vuoden 2009 lopussa.

Käytännössä vedenkäsittelylinja koostuu meriveden esikäsittelystä, käänteisosmoosista sekä jälkikäsittelystä. Lopputuote varastoidaan lisävesisäiliöön, josta sitä otetaan syöttövesisäiliöön, ja edelleen käyttöön kattilavedeksi. Kaukolämpövesi otetaan joko raakavesialtaasta sellaisenaan tai kaupunginverkosta pehmentimen ja kaasunpoiston kautta paisuntasäiliöön, josta vesi johdetaan kaukolämpöverkkoon. [6.]

4.2 Meriveden esikäsittely

Meriveden esikäsittelyn prosessit ja operaatiot on suurilta osin automatisoitu. Laitosta ohjataan ja seurataan tietokoneelta ajokuvasta. Meriveden esikäsittelyn, sen laaduntarkkailun ja kemikaaliannostelun hoitaa käyttölaboratorio. Ongelmatilanteessa käyttölaboratorio hoitaa myös prosessin pysäyttämisen, sekä niissä tapauksissa, joissa kloorin tai ferrisulfaatin syöttö keskeytyy, käänteisosmoosikoneen ensimmäisen vaiheen konsentraatin rotametrissä huomataan veden selvästi kellastuneen tai jos merivesisäiliön lämpötila laskee alle 10 °C. [9.]

On olemassa joitain tekijöitä joilla voidaan parantaa prosessin toimivuutta ja luotettavuutta. Esimerkiksi meriveden lämpötilan tulisi olla stabiili (18 °C), jotta kaikki kemialliset reaktiot onnistuisivat parhaalla tavalla, ja veden maksimivirtauksen tulisi olla 30 m³/h, jolloin voidaan parantaa veden laatua ja helpottaa käytettävyyttä. [9.]

Merivesi pumpataan voimalaitokselle välppään Suomenojan edustalta. Välppässä vedestä on jo poistettu kalat ja suuret roskat. Merivettä käytetään prosessivetenä, samoin kuin myös lämmönvaihtimien jäähdytysvetenä eri puolilla laitosta. Kaikissa merivesijäähdytyskohteissa on lämmönvaihtimia aina kaksi, tukkeutumisen ja pesun varalta, kun merivedenesikäsittelyssä lämmönvaihtimia on vain yksi per funktio. Kaikki merivesiputket ovat ruostumattomuuden takia lasikuitua tai PVC-muovia. Merivesi toimii käsittelyn jälkeen myös prosessivetenä. Merivesi pumpataan vedenkäsittelylinjalle, jossa se puhdistetaan käänteisosmoosikoneikolle sopivaksi, levättömäksi ja bakteerittomaksi syöttövedeksi. Esikäsitellyn veden laatua voidaan arvioida sameuden tai likaantumisindeksin avulla. Joko sameuden tulee olla alle 0,6 FTU tai likaantumisindeksin alle 4 SDI 15 min. [6.]

Meriveden esikäsittely voidaan jakaa kuuteen pääkohtaan:

- pH:n säätö
- Klooraus
- Kloorin poisto
- Koagulointi (saostus)
- Hiekkasuodatus
- Aktiivihiekkisuodatus

Ennen ensimmäistä kohtaa on myös melko tärkeä tekijä, karkeasuodatus. Se kerää välppästä pääsyyttä moskaa, kuten pieniä kotiloita ja levää. Putkimaisen karkeasuodattimen runko on valmistettu ruostumattomasta teräksestä, sen sisällä on muoviset erotusputket, joiden seinämille moska kerääntyy. Järjestelmä huuhtelee erotusputket automaattisesti aika-ajoin. [9.]

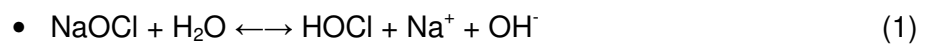
4.2.1 pH:n säätö

Vedenkäsittelylinjalle pumpatun meriveden pH on 7,6 – 7,9. Tavoitteena on muuttaa meriveden pH lukuihin 5,7 – 6,1. pH:ta säädetään kahdesta syystä, ensinnäkin sillä parannetaan kloorauksen tehokkuutta, toiseksi sillä varmistetaan saostuksen toimivuus. pH:n säätö suoritetaan pulssiohjatulla annostelupumpulla syöttämällä 96 – 98 % vahvuista rikkihappoa (H_2SO_4) merivesisäiliöön johtavaan linjaan, noin 0,026 l/m³. [9.]

4.2.2 Klooraus

Kloorauksella eliminoidaan merivedestä taudinaiheuttajia, bakteereja yms. Orgaanisen aineen määrä, pH, kloorauksen lämpötila sekä kontaktiaika vaikuttavat kloorauksen onnistumiseen. Klooraus suoritetaan 11 % natriumhypokloriitti (NaOCl) liuoksella, syöttämällä sitä pulssiohjatulla pumpulla merivesisäiliöön johtavaan linjaan, noin 0,03 l/m³. Tällä annostuksella varmistetaan kloorauksen tehokkuus, jolloin merivesisäiliössä on kloorijäännöstä noin 3 mg/l. [9.]

NaOCl:n reaktiokaava merivedessä, kaavat 1 ja 2 [9]:



HOCl:lla on jopa 80 kertaa parempi desinfektioehto kuin OCl⁻:lla, joten reaktion tasapainoa halutaan siirtää HOCl:n puolelle. [9.]

4.2.3 Kloorin poisto

Käänteisosmoosikalvojen suojelemiseksi suoritetaan dekllooraus, eli kloorin poisto. Jäännöskloorin poistamiseksi syötetään noin 0,05 l/m³ 10 % natriummetabisulfiittia (Na₂S₂O₅). Syöttö tapahtuu milliampeeriohjatulla annostelupumpulla merivesisäiliön jälkeiseen putkistoon. Käänteisosmoosikoneikolla käytössä olevat komposiittikalvot ovat herkkiä kloorin kaltaisille hapettaville kemikaaleille. Vaikka aktiivihilisuodatin poistaa myös klooria, on sen kapasiteetin säästämiseksi ja kalvojen suojelemiseksi dekllooraus erittäin tärkeä vaihe. [9.]

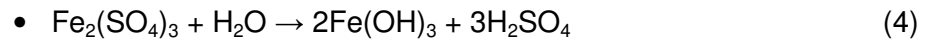
Dekllooraus perustuu sulfiitin hapettumiseen sulfaatiksi, joka tapahtuu seuraavan reaktiokaava 3:n mukaan [9]:



4.2.4 Koagulointi

Koaguloinnissa poistetaan käsiteltävästä vedestä sameutena ja värinä näkyviä kolloideja ja kiintoaineita. Koagulointi perustuu kolloidien negatiivisen pintavarauksen neutraloimiseen ja siten partikkelien välisten repulsiovoimien heikkenemiseen niin, että isompien partikkeleiden yhteenliittyminen onnistuu. Isompi partikkeli poistetaan helposti suodatuksella. Kemikaalina koaguloinnissa käytetään 10 % ferrisulfaattia ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), joka syötetään veteen juuri ennen hiekkasuodattimia, joka erottelee isommat partikkelit vedestä. [9.]

Pääreaktiot ovat selitetty kaavoilla 4 ja 5 [9]:



Koaguloinnin onnistuminen vaatii oikeat olosuhteet, kuten kemikaalin hyvän syöttökohdan ja sen annostelun, 18 °C meriveden - koska lämpötila nopeuttaa reaktiota - sekä kolloidien oikean määrän ja laadun, samoin kuin optimin pH:n arvon ferrisulfaatille, joka on 4,5 – 5,5. Koagulointi laskee meriveden pH:ta, joten ferrisulfaatin säännöstely on ratkaisevaa, jotta saadaan hiekkasuodattimien jälkeinen pH optimiksi, joka on 5,2 – 6,0. [9.]

4.2.5 Hiekkasuodin

Hiekkasuotimen toiminta perustuu rakeiseen väliaineeseen, joka sekä fysikaalisten että kemiallisten ilmiöiden avulla sitoo itseensä kiintoaineita ja kolloideja. Hiekkasuodatuksessa tärkein suodattava mekanismi on fysikaalinen absorptio. Hiekkasuodin poistaa vedestä liki kaikki kiintoaineet. Suodattamisen takaamiseksi tarvitaan riittävä huuhtelu ja oikea suodatusnopeus. [9.]

Prosessissa käytetään viittä rinnan kytkettyä painehiekkasuodinta, joiden optimaalinen suodatusnopeus on noin 5,5 m/h/suodin, yhteensä kokonaisvirtausnopeus on siis noin 30 m/h. Suodinpytyt ovat lasikuituvahvistettua polyeteeniä, halkaisijaltaan 1,2 m. Putkistot puolestaan ovat PVC:tä, joka ei välttämättä kestä kovia paineiskuja.

Huuhtelu tapahtuu vastavirtaan automaattisesti. Suodattimia huuhdellaan 8 minuuttia yksi kerrallaan, muiden suodattimien suodattamalla vedellä. Riittävän tehokas huuhteluvirtaus patjan puhdistukseen on noin 31 m/h, jolloin virtaus paisuttaa hiekkapatjaa vähintään 10 %. Hiekkasuotimen huuhtelu käynnistyy, kun painehäviö kasvaa yli asetetun raja-arvon 0,16 baaria. Jos käänteisosmoosilinjan käynnistys- tai pysäytysohjelma on kesken, ei huuhtelu käynnisty. Toista käänteisosmoosilinjaa voidaan käyttää huuhtelun aikana. Hiekka uusitaan määrävälein, koska orgaaninen aines kerääntyy hiekkään ja aiheuttaa tukkeutumisia. [9; 10.]

4.2.6 Aktiivihiihisiuodin

Aktiivihiihisiuodatuksella vedestä poistetaan jäljellä olevia orgaanisia aineita, jäännösklooria, hiekkasuotimesta vuotaneita kiintoaineita ja kloorauksessa syntyneitä haitallisia sivutuotteita. Aktiivihiihisi valmistuksessa siihen syntyy ns. mikrohuokosia, jotka antavat hiille suuren absorptiokyvyn. Mikrohuokosten aktiivinen pinta-ala voi olla jopa 1000 m²/g. Mekanismia, jolla aktiivihiihi sitoo orgaanisia aineita, ei tunneta varmuudella. [9.]

Aktiivihiihisi valmistetaan kivihiilestä, puusta, turpeesta tai kookospähkinän kuoresta. Aktiivihiihisi saadaan eri muodoissa, kuten pelletti, granulaatti tai pulveri. Perinteisen hiilen etuna on aktiivihiihisen suuri kapasiteetti. Myös aktiivihiihi menettää vähitellen ominaisuuden sitoa haitta-aineita, silloin hiili on joko uusittava tai regeneroitava siihen tarkoitetulla uunilla. [10.]

Aktiivihiihisiuodatus seuraa hiekkasuodatusta. Suodattimia on asennettu neljä rinnan juuri ennen käänteisosmoosia. Suodatusnopeus on 7,5 m/h/suodin, jolloin aktiivihiihisiuodattimen kontaktiaika on 4 min. Huuhtelu toimii täsmälleen hiekkasuodattimien kaltaisesti, mutta kestää vain 6 min/suodin ja käynnistyy jo, kun painehäviö kasvaa yli 0,10 baarin. Huuhtelu tapahtuu vähintään kerran viikossa. Fyysisesti aktiivihiihisiuodatinpytyt ovat samankaltaisia kuin hiekkasuodatinpytyt. [9; 10.]

4.3 Käänteisosmoosilaitteiston toiminta

Syöttövesi erotetaan prosessissa permeaatiksi ja konsentraatiksi. Permeaatiksi kutsutaan kalvon läpäisemää syöttövirtausta, toisin sanoen se on puhdasta vettä. Konsentraatiksi eli rejektiksi kutsutaan prosessista poistettuja syöttövedessä olevia suurimolekyylisiä aineita, jotka eivät läpäise puoliläpäisevää kalvoa. Osa konsentraatista kierrätetään prosessissa uudestaan. [10.]

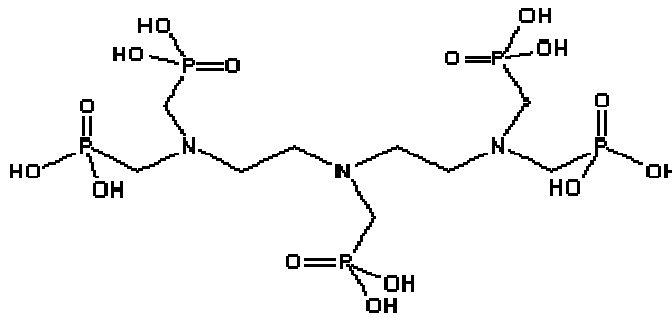
Itse erottuminen tapahtuu käänteisosmoosilaitoksen perusyksikön kalvokomponentissa. Syöttöveden määrän, virtauskapasiteetin ja suolanpoistokyvyn mukaan valitaan kalvokomponentit, joista kootaan halutun kokoisia yksiköitä. Tarpeen mukaan yksiköistä voidaan koota suurempia koneikkoja. [10.]

Käänteisosmoosilaitoksen toiminta voidaan jakaa neljään osaprosessiin:

- Antiskalantin syöttö
- Hienosuodatus
- Käänteisosmoosikalvo
- pH:n säätö

4.3.1 Antiskalantin syöttö

Antiskalantti-kemikaalia (Hypersperse MSI 300) syötetään käänteisosmoosilinjaan kalvoannostelu-pumpuilla, koska erottelukalvot saattavat tukkeutua tai niihin saattaa tulla kerrostumia. Tukkeutumattomat ja kerrostumat johduttavat suolojen kuten CaCO_3 , MgCO_3 , MgSO_4 , CaSO_4 , BaSO_4 sekä SrSO_4 kyvystä kiteytyä. Antiskalantti ehkäisee kiteytymisen jo alkuunsa estämällä liukoisuuskonsentraation ylittäneiden ionien järjestäytymisen eli klusteroitumisen. Lisäksi kemikaali mm. absorboituu kiteen kasvukohtiin, muuttaa pintavarauksia, vääristää kidehilaa ja muodostaa di- ja trivalenttien metallionien kelaatteja (kuva 8). [10.]



Kuva 8. Antiskalantin vaikuttavan ainesosan DTPMP:n rakennekaava [10]

Jos kiteytyminen käynnistyy antiskalantin syötön keskeytettyä, on reaktio erittäin nopea ja käänteisosmoosikalvon toiminta heikkenee välittömästi. Pahimmillaan kalvojen kemiallinen happopesu on kiteytymisen jälkeen hyödytöntä, jolloin kalvojen vaihto on välttämätöntä. [10.]

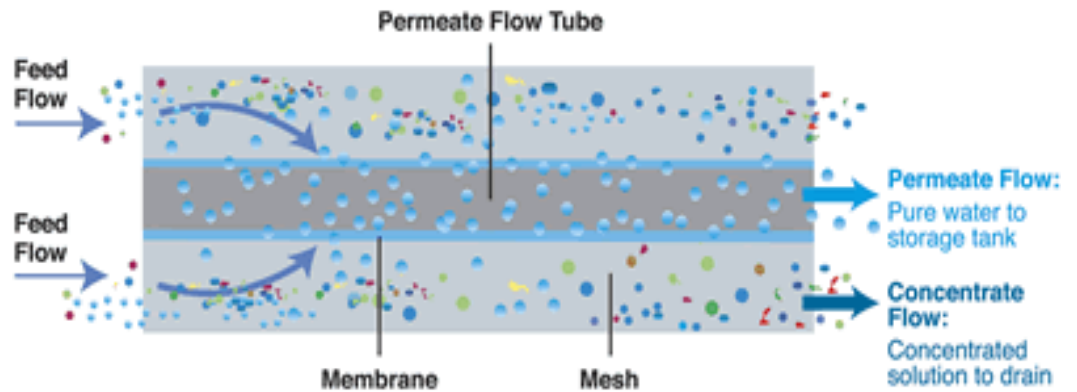
Antiskalanttia annostellaan 1,9 mg/l emäliuosta ajettaessa pH-säädettyä hapanta vettä. Hapan vesi vähentää kiteytymis- ja saostumisongelmaa jo itsessään. Jollei hapanta vettä ajettaisi, olisi annostelu 3 mg/l emäliuosta. [10.]

4.3.2 Hienosuodatus

Patruunasuodattimien tarkoitus on poistaa edellä olevilta suodattimilta läpi päässeet partikkelit, jotteivät ne ajautuisi käänteisosmoosikalvoille. Kummassakin linjassa on kaksi 5 µm:n patruunasuodatinta rinnan ajettavissa. Suodatustehoa kuvaava β-luku on 100, eli patruunat ovat niin sanottuja nominaalisuodattimia. Patruunoiden vaihtoväli on 2 – 3 kk. [10.]

4.3.3 Käänteisosmoosikalvo

Parhaita kalvoja normaalin veden käsittelyssä ovat spiraalikalvot, joissa vesi pumpataan kalvopinnoille moduulin päädyssä (kuva 9). Paineen vaikutuksesta suurin osa syöttövedestä tunkeutuu kalvon läpi kokoojaputkeen. Kalvon pinnalla on jatkuva virtaus, joka saadaan verkkomaisen välilevyn avulla turbulentiksi. Turbulenttinen virtaus estää antiskalantin hajottamien epäpuhtauksien saostumisen kalvon pinnalle, jolloin ne pysyvät puhtaina pidempään. Epäpuhtaudet virtaavat konsentraatin mukana viemäriin. [10.]



Kuva 9. Kalvon toimintaperiaate [22]

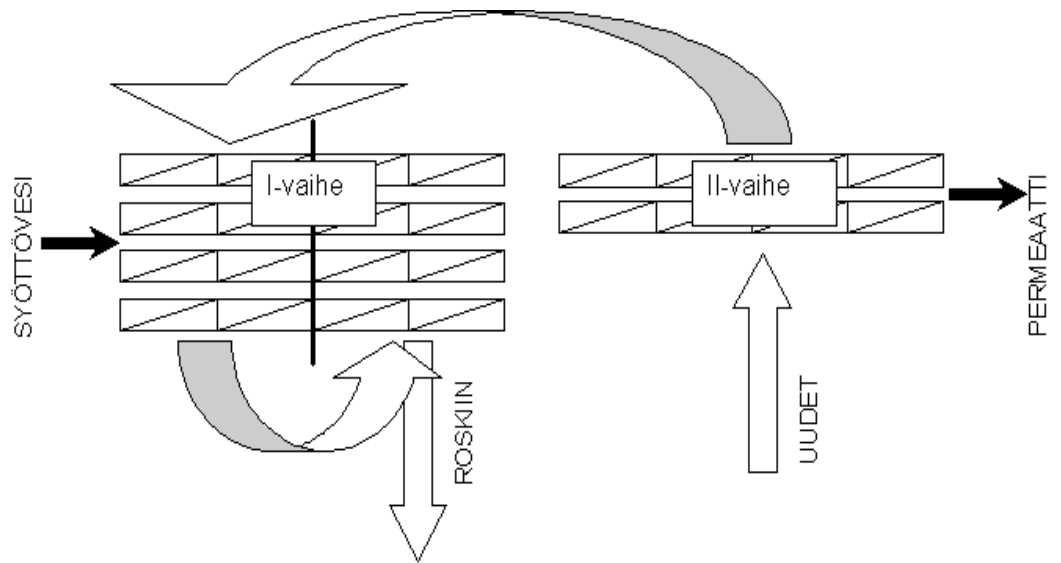
Kalvon läpäisevä virtaus on suoraan verrannollinen syöttöpaineeseen. Virtausta voidaan havainnollistaa kaavalla 6,

$$F = K * (p_m - p_o) \quad (6)$$

jossa F on permeaatin virtaus, K kalvokohtainen vakio, p_m kalvon yli vaikuttava paine-ero ja p_o kalvon yli vaikuttava osmoottinen paine. [11.]

Kalvojen likaantumista aiheuttaa yleisesti RO-laitoksilla rauta, mangaani, alumiini, humus / orgaaniset aineet, kovuussuolojen saostuminen, kiintoaine sekä bakteerikasvustot. Kalvojen pesun tarve ilmenee, kun painehäviö kalvojen yli on kasvanut 15 % lähtöarvosta. Lähtöarvo on pesun tai kalvojen vaihdon jälkeinen arvo. Pesuohjelmaan kuuluu emäspesu (NaOH ja NaEDTA), happopesu (sitruunahappo) ja huuhtelu. Pesuliuosta kuluu kerralla noin 600 litraa. Kalvot vaihdetaan ennakoivasti noin 1 – 2 vuoden välein. [10.]

Yksi vaihtokierto toteutuu kuvan 10 osoittamalla tavalla, 1/3 kerrallaan.



Kuva 10. Kalvojen vaihtokierto

4.3.4 pH:n säätö

pH:ta säädetään myös meriveden esikäsittelyssä, mutta myös käänteisosmoosilaitoksella I- ja II-vaiheen välissä. pH:ta nostetaan syöttämällä vaiheiden väliin lipeää, jonka ansiosta II-vaiheessa paranee hiilidioksidin ja mm. silikaatin ja boorin reduktio. Tavoiteltu pH toisen vaiheen permeaatille on 6,0 – 6,9. Lipeän syöttöön käytetyt pumput seuraavat II-vaiheen syötön virtausmittareita, joten häiriön aikana käänteisosmoosilaitos ei ole tuotannossa. [10.]

4.4 Käänteisosmoosilaitteiston tekniikka

Käänteisosmoosilaitteisto koostuu pääpiirteittäin paineenkorotuspumpuista, paineputkista, käänteisosmoosikalvoista, putkistosta ja tarvittavasta instrumentoinnista. [11.] Kuvassa 11 näkyy valkoiset paineputket, syöttöveden putkistoa, hienosuodattimet oikealla ja niiden takana I-vaiheen pumppu sekä joitain rotametrejä. Liitteenä 7 Suomenojan voimalaitoksen käänteisosmoosin ajokuva.



Kuva 11. Suomenojan voimalaitoksen käänteisosmoosikoneikko

4.4.1 Paineenkorotuspumppu

Paineenkorotuspumpun tehtävä on pumpata vesi tasaisena virtauksena käänteisosmoosikalvoille ja nostattaa paine laitteiston vaatimalle painealueelle. Se edellyttää veden esikäsittelyltä jatkuvaa syöttöveden virtausta. Paineenkorotuspumpun energiankulutus tuottaa käänteisosmoosilaitteiston suurimmat käyttökustannukset, joten siihen pitää kiinnittää huomiota sitä suunniteltaessa. Isoimmissa laitoksissa yleisimmin käytetään tehokkaita monijaksaisia keskipakopumppuja. Sääto toteutetaan joko kuristamalla tai/ja invertteriohjauksella. [11.]

10m³/h permeaattia tuottava kaksivaiheinen laitos vaatii ensimmäisen vaiheen aikana 16 – 17baria painetta, jotta voitetaan luonnollinen osmoottinen paine koneikolla. Syöttöpaine riippuu lähinnä tarvittavasta permeaattivuosta, jota mitataan virtauksena kalvon pinta-alaa kohti. Vuon kasvattaminen lisää paineen tarvetta. [6.] Suomenojan voimalaitoksen molemmilla sarjoilla I-vaiheen pumppuna toimii CRN 32-12 (22 kW) sekä II-vaiheella CRN 16-100 (11 kW) paineenkorotuspumput. 11kW:set pumput käyvät yleensä noin 60 % teholla.

4.4.2 Paineputket

Paineputket ovat käänteisosmoosilaitteiston suurin ja näkyvin osa. Niiden sisältä löytyvät kalvokomponentit, joita on taloudellisuuden kannalta parempi laittaa enemmän sarjaan kuin rinnan. Käytettävissä olevan tilan puitteissa kannattaa valita pitkät paineputket, niillä saadaan laitteistosta esteettisempi ja yksinkertaisempi. Paineputkien mittoihin ja kalvojen lukumäärään vaikuttaa myös tulevan veden laatu, haluttu lämpötila jne. Suurimmilla paineilla paineputkien materiaali on yleensä lasikuituvahvisteista muovia tai ruostumatonta terästä. [11.]

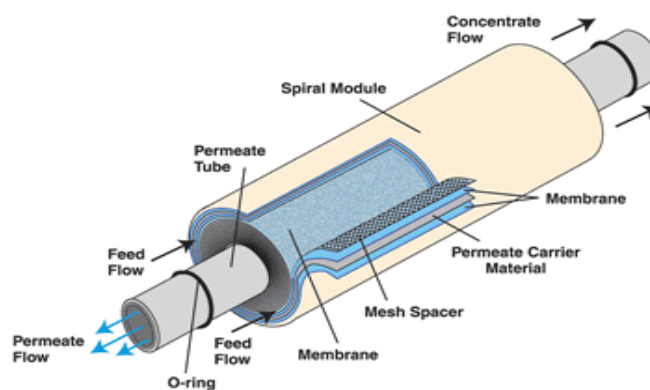
4.4.3 Kalvot

Yleisesti suodatus- ja kalvotekniikassa ovat käänteisosmoosikalvot tiiveimpiä. Ne on tätä nykyä valmistettu synteettisistä kalvomateriaaleista, kuten aromaattisesta polyamidista tai polybentsimidatsolista. Nämä materiaalit eivät kokoonpuristu, eivätkä bakterisoidu, mutta silti kestävät hyvin pH:n vaihtelut, ainoana haittapuolena mainittakoon vapaan kloorin kestättömyys. [10.]

Nykyisin yleisimmin käytössä olevat kalvot ovat rakenteeltaan spiraaliksi kierrettyjä komposiittikalvoja. Ne ovat muita kalvoja edullisempia ja kestävät suurempia paineita. Komposiittikalvon pohjalla on polysulfonikalvo, jonka pinnalle on polymeroitu ohut suodattava pintakerros ja polyesterinen paksu mikrokooppisen huokoinen kantokerros. Tämä kalvoelementti pinnoitetaan ulkopuolelta lasikuidulla rakenteen vahvistamiseksi (kuva 12). [10.]

Suomenojalla jokaisen lasikuituisen paineputken sisällä on aina 4 kalvoelementtiä kytkettynä sarjaan. I-vaiheessa näitä neljän kalvoelementin sarjoja on neljä rinnan ja II-vaiheessa 2 rinnan. [10.]

Esimerkkinä HOH separtec Oy:n maahantuoman 3M-spiraalkalvon teknisiä tietoja. Hienous 99 % teholla, on 5 μm ja paineen lasku 0,07 baaria. Pinta-ala on 18 m². Varsinainen koko on: pituus 995 mm, ulkohalkaisija 166 mm ja kokoojaputken halkaisija 39 mm. Tämä kalvotyyppi on keskikokoista luokkaa, pienimmän ollessa halkaisijaltaan 64 mm ja suurimman jopa 400 mm. Pituus on lähes kaikissa tapauksissa n. 1 000 mm [10.]



Kuva 12. Spiraalkalvon rakenne [22]

4.4.4 Putkisto

Putkistolla tarkoitetaan kaikkia laitteen ulkopuolella olevia putkia. Niillä jaetaan syöttövesi etupuolelta paineputkille ja otetaan takapuolelta erillään ulos permeaattina ja konsentraattina. Putkiston pitää kestää myös sekä suuria paineita että korroosiota. Sen vuoksi on paras valmistaa ne ruostumattomasta tai haponkestävästä teräksestä. [11.]

4.4.5 Instrumentointi

Instrumentoinnin taso vaihtelee laitoksen koon ja käyttökohteen mukaan. Kuitenkin suurimmissa laitoksissa käytetään muun muassa painemittareita syöttö-, permeaatti- ja konsentraattilinjoissa, virtausmittareita permeaatti- ja konsentraattilinjoissa sekä syöttö- ja tuoteveden johtokyky mittareita. Laadun tarkkailun kannalta olisi parasta varustaa laitteisto mahdollisimman monella mittauslaitteella, usein kuitenkin päädytään kompromissiin investointikustannusten ja laitoksen käytön välillä. [11; 12.]

4.5 Saanto

Saantoprosentti kuvaa syöttöveden ja permeaatin suhdetta, joka kertoo käänteisosmoosilaitteiston hyötysuhteen. Saantoprosentti valitaan yleensä syöttöveden laadun, permeaatin, investointikustannusten ja käyttökustannusten perusteella. Saanto voidaan laskea kaavalla 7:

$$\bullet Y = (Q_p / Q_f) * 100 \% \quad (7)$$

jossa Q_p on permeaatin virtaus ja Q_f on syöttövirtaus [11; 13.]

Saanto antaa viitteitä kalvojen tukkeutumispotentiaalista. Suuremmalla saannolla pienenee kalvoja huuhteleavan konsentraatin virtausnopeus, se siis vaikuttaa kalvojen tukkeutumiseen. 50 % saannolla on suolojen konsentraatio rejektivirtauksessa kaksinkertainen syöttövedeen verrattuna ja 90 % saannolla jopa kymmenkertainen. Saantoprosentin kasvaessa kasvaa siis myös rejektivirtauksen konsentraatio. [13.]

Noin 20 m³/h permeaattia, (50 – 60 % saannolla) tuottava Suomenojan laitteisto koostuu kahdesta rinnan olevasta koneikosta, joista kumpikin tuottaa n.10 m³/h. Niitä voidaan käyttää tarvittaessa myös erikseen. Koneikot ovat kaksivaiheisia, mikä parantaa permeaatin laatua. Laatua voidaan parantaa myös painetta lisäämällä, jolloin permeaattivuo kalvon läpi kasvaa. Permeaattivuota voidaan kasvattaa myös lämpöä lisäämällä, mutta näin voidaan toimia vain tiettyyn rajaan asti, koska se lisää suolojen läpäisyä eli huonontaa olennaisesti permeaatin laatua ja likaa kalvoja. Hyväksi havaittu lämpötila syöttövedellä on noin 21 – 22 C°. [13.]

4.6 Ioininvaihdinsarjat

Kun käänteisosmoosilaitteistoa ei käytetä, otetaan vesi verkosta, jolloin sille suoritetaan täyssuolanpoisto. Täyssuolanpoisto verkostovedelle suoritetaan omalla ioninvaihdinsarjalla, kuten myös permeaatin jälkikäsittelylle. Itse käänteisosmoosi on ioninvaihtoa korvaavaa tekniikkaa, mutta lopputuotteen laadun parantamiseksi syötetään permeaatti vielä ioninvaihdinsarjalle, joka koostuu yhdestä kationivaihtimesta, kahdesta anionivaihtimesta sekä yhdestä sekavaihtimesta. [14.] Kuvassa 13 ioninvaihdinsarja, jossa lähinnä sekavaihdin, perällä kationivaihdin ja keskellä 2 anionivaihdinta.



Kuva 13. Suomenojan voimalaitoksen ioninvaihdinsarja

4.6.1 Kationivaihdin

Kationivaihtimissa metalli-ionit kuten Na^+ , Mg^{2+} ja Ca^{2+} vaihtuvat vetyioneihin H^+ . Kationivaihtimen polystyreenipohjaisella hartsilla on kyky vetää puoleensa positiivisia ioneita. Hartsin vaihtokyky perustuu vaihtimien molekyyliketjussa oleviin aktiivisiin ryhmiin. Kationivaihtimet on elvytettävä suurin piirtein 24 tunnin välein, riippuen esimerkiksi veden kulutuksesta ja tulevan veden laadusta. Elvytys tehdään vastavirtaan laimennetulla rikkihapolla tai tarvittaessa HCl -liuoksella. Elvytyksessä hartsi luovuttaa kovuusionit ja ottaa suolahapon H^+ -ionit. Permeaattia käyttävä sarja elvytetään hieman kevyemmällä kemikaalimäärillä kuin kaupungin vettä käyttävä sarja. Kaupungin sarjan elvytyksessä käytetään lisäksi kahta eri rikkihappoväkevyyttä alkaen laimealla. Näin estetään CaSO_4 :n saostuminen massaan. Hartsimassa huuhdellaan ennen ja jälkeen elvytyksen. [21.]

4.6.2 Anionivaihdin

Epämetalli-ionit, kuten kloridi Cl^- ja sulfaatti SO_4^{2-} vaihtuvat anionivaihtimissa hydroksyyli-ioneiksi OH^- . Näin ollen kationivaihtimelta tullut H^+ ja anionivaihtimelta tullut OH^- yhdistyessään muuttuvat puhtaaksi vedeksi, eli syntyy siis H_2O . Elvytys tapahtuu vastavirtaan, laimennetulla lipeäliuoksella (NaOH). Vaihdossa OH^- -ionit syrjäyttävät kloridit, sulfaatit, pioksidit jne. [21.]

4.6.3 Sekavaihdin

Sekavaihdin sisältää sekaisin olevaa vahvaa kationi- ja anionivaihdimassaa, sekoitussuhteessa 1:1. Sen tarkoituksena on poistaa mahdolliset vuoto-ionit. Vastavirtahuuhtelu ennen elvytystä asettaa massat kerroksiin tiheyden mukaan, anionin päälle ja kationin alle. [21.] Elvytyksessä tapahtuvat samat kemialliset reaktiot kuin yllä olevissa, mutta teknisesti se on paljon haastavampaa. Happoliuos syötetään vaihtimelle hartsipatjan alta ja se poistuu keskeltä patjojen välistä venttiiliin kautta ulos. Tämän jälkeen vaihdin huuhdellaan. Lipeäliuos syötetään hartsipatjan päälle, jolloin liuos lävistää anionihartsin ja poistuu hartsipatjan puolestavälistä yhteen kautta ulos. Vaihdin huuhdellaan tämän jälkeen uudestaan. [14.]

Vedenlaatu käänteisosmoosin jälkeen ja jälkikäsiteltynä ioninvaihdon jälkeen:

- Na+K <2 mg/l < 0,020 mg/kg
- SiO₂ < 0,010 mg/kg < 0,010 mg/kg
- B < 0,270 mg/kg < 0,010 mg/kg
- Johtokyky <1,5 mS/m 0,055 µS/cm
- KMnO₄ <3 mg/l < 0,060 mg/l

Vedenlaatu ioninvaihdon jälkeen punaisella.

5 ENERGIAN TALTEENOTTO KONSENTRAATIVUOSTA

5.1 Yleistä

Jokainen litra käänteisosmoosilla tuotettua puhdasta vettä tuottaa myös noin litran suodatettua merivettä, joka yleensä ajetaan suoraan viemäriin tai mereen. Periaatteessa menetelmää voidaan kutsua uusiokäytöksi, koska tarvittava syöttövesi otetaan myös merestä. Siltikin paljon energiaa menee hukkaan. Energiaa on konsentraattivuossa sekä suolan että paineen muodossa, joihin on keksitty keinoja joilla energiaa voidaan ottaa talteen ja siirtää esimerkiksi syöttöveden pumppaamiseen, joka on miltei ainoa ja ainakin suurin energian kuluttaja käänteisosmoosissa. [15.]

Energian talteenottomenetelmiä konsentraattivirrasta on käytössä miltei kaikissa suurimmissa vedenpuhdistamoissa ja voimalaitoksissa. Energian kulutus olisi valtava ilman konsentraattivirtausta hyödyntäviä laitteita, kuten Perthissä (Australia) jossa tuotetaan vettä juomakäyttöön jopa 144 000 m³/vrk. Jo yksi pelkästään nimenomaisia laitteita valmistava yhtiö ERI säästää energiaa maailmalla yli 500 MW asentamallaan tuotteilla. [16.]

5.2 Tekniikat

Käänteisosmoosin konsentraatin energiaa hyödyntävät laitteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään.

Ryhmä 1 perustuu keskipakovoimaan jota voidaan verrata turboon. Tällaisissa laitteissa konsentraatin paine-energia muutetaan turbiinissa mekaaniseksi energiaksi, josta se välittyy akselin välityksellä pumpulle, joka taas muuttaa mekaanisen energian takaisin syöttövirtaan paine-energiaksi. [17.] Hyötysuhteeksi saadaan parhaimmillaan noin 78 % [18].

Ryhmä 2 on samankaltainen kuin ryhmä 1 siinä mielessä, että keskipakovoima siirtää hydraulisen energian konsentraattivuosta akselin välityksellä syöttöveeseen. Energia otetaan talteen mm. impulssi- ja reaktioturbiineilla. Ryhmä 2 koostuu siis samalla akselilla olevista moottorillisesta pumpusta ja turbiinista. Turbiini helpottaa toisin sanoen pumpun työtä. Häviöt ovat kuitenkin samankaltaiset kuin ryhmä 1:llä. [17.] Hyötysuhteeksi voidaan saada jopa 90 % [19].

Ryhmä 3:a voidaan kutsua niin sanotuiksi paineenvaihtajiksi. Energia konsentraattivuosta syöttövirtaan siirtyy ilman minkäänlaista mekaanista työtä. Konsentraattivirtaus on suoraan yhteydessä syöttöveeseen joko männän välityksellä tai ilman. Yleensä vastaavien laitteiden hyötysuhteeseen vaikuttavat suurimmaksi osaksi vuodot, nesteiden sekoittuminen ja sekä kitkahäviöt että paine-ero. Ryhmä 3:n periaate ja toiminta kerrotaan myöhemmin tarkemmin. [17.] Hyötysuhteeksi saadaan tämän mallisilla järjestelmillä jopa 98 % [16].

Yksi mahdollisuus hyödyntää konsentraatista saatavaa energiaa on sen sisältämä suolapitoisuus. Suolapitoisuuden avulla voidaan muodostaa osmoottista painetta yhdessä makean veden kanssa. Osmoosiin perustuvaa tekniikkaa voitaisiin mahdollisesti hyödyntää myös pienemmällä mittakaavalla. Makea vesi voitaisiin ottaa jostakin voimalaitoksen prosessista joko sellaisenaan esim. lauhdelinjasta tai jätevetenä esim. savukaasujen kosteuteena. Osmoosi-ilmiö tuottaisi oikein tehtynä tarpeeksi painetta, jolla voitaisiin pyörittää tarkoitukseen sopivaa turbiinia. Turbiinilla voitaisiin siirtää mekaaninen energia suoraan syöttövesipumpulle tai sillä voitaisiin tehdä sähköä esim. korkeapainepumpuille.

Jälkimmäinen ratkaisu lienee järkevämpi, koska mekaanisen energian hyödyntämismahdollisuudet ovat kannattavampia ja yksinkertaisempia paineenergian talteenotossa. Kuitenkin Suomenojalla ja yleensä Suomessa ei menetelmä välttämättä toimisi meriveden alhaisen suolapitoisuuden takia. Valtamerien suolapitoisuus on n. 3,5 %, kun Itämeren suolapitoisuus on vain 0,7 - 0,8 %. Mutta lisäämällä suolaa merivesilinjaan voitaisiin saada joitakin varteenotettavia tuloksia.

Suomenojalla on konsentraatille mietitty joiltain osin myös muuta hyötykäyttöä. Konsentraattia voitaisiin hyödyntää keräämällä sitä meriveden esikäsitelyn hiekka- ja hiilihuuhdeluihin. Tämä veisi I-vaiheen konsentraatin 16 baarista noin 5 baaria, jolloin muihin tarkoituksiin jäisi noin 11 baaria. Menetelmä on tutkittu alustavasti ja se olisi mahdollista toteuttaa.

Mainittakoon vielä että konsentraattivirta voidaan tarvittaessa myös syöttää erilliselle käänteisosmoosikalvolle, joka edelleen puhdistaa veden suoloista, tämän jälkeen puhdistettu vesi voidaan syöttää varsinaisen kalvojärjestelmän alkuun. Tämä mahdollisuus ei välttämättä edistä energian säästöä mutta parantaa permeaatin laatua käänteisosmoosin loppuvaiheessa. Tämä järjestelmä on jo käytössä joillakin käänteisosmoosilaitoksilla.

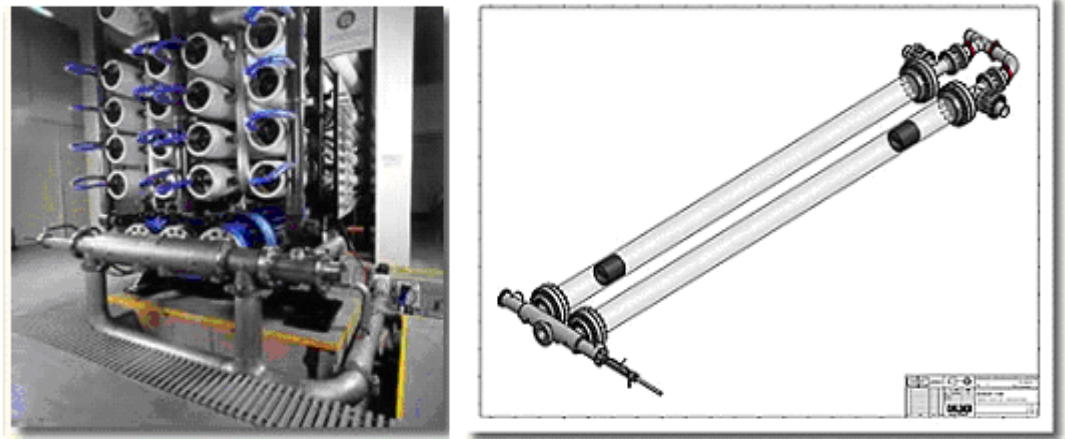
5.3 Tuotteet

Konsentraattivuon energian talteenottolaitteiden valmistajia on maailmalla luultavasti enemmänkin, mutta vain suurimpien yritysten menestyneet tuotteet otettiin vertailuun. Jokaisesta kolmesta ryhmästä käsitellään ainakin yksi mahdollinen vaihtoehto ja kerrotaan laitteiden sopivuus Suomenojan käänteisosmoosikoneikolle sekä niiden hyviä ja huonoja puolia. Suomenojan käänteisosmoosikoneikolla on tietyt paineet ja virtauslukemat, jotka pitää huomioida suunniteltaessa oikeanlaista laitetta. Liitteenä 7 on käänteisosmoosin ajokuva, josta näkee siinä käytettävät paineet ja joitain virtauslukemia sekä hyvän yleiskuvan koko laitteistosta. Liite 8 on näyttää rotametrien virtauslukemat käänteisosmoosin eri vaiheissa.

5.3.1 DWEER

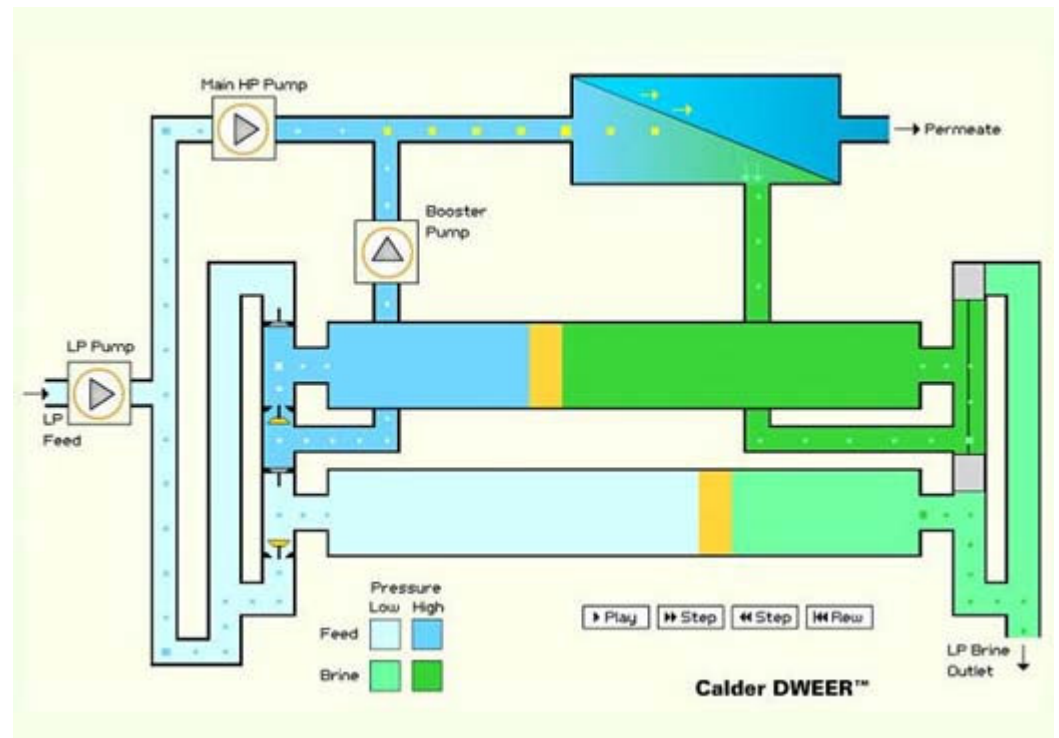
DWEER perustuu ryhmän 3 tekniikkaan eli painevaihtoon. Sillä on saavutettu parhaimpia hyötysuhteita konsentraatin energian talteenotossa, jopa 97 %. Tekniikka soveltuu parhaiten suurille laitoksille, joissa syöttöveden virtaus pyörii 150 – 280 m³/h alueella. Suurin DWEERillä varustettu laitos Ashkelonissa (Israel), tuottaa permeaattia yhteensä 333 000 m³/vrk ja pienin Grand Caymanilla 1 700 m³/vrk, Suomenojan tuoton ollessa 50 % saannolla yhteensä noin 480 m³/vrk. DWEER on tekniikaltaan helppo ylläpitää ja häiriöaikaa kertyy kokemusten mukaan vuodessa noin 4 tuntia. Käyttöikä on rajoitettu noin 20 - 25 vuoteen koska sillä on alttius ruostumiselle, se on myös jonkin verran monimutkainen. [20.]

Konsentraattilinjan vuodot ovat alle 1,8 % ja sekoittuminen konsentraatin ja permeaatin välillä on alle 1,5 %. LinX-venttiilijärjestelmällä ja kahdella sylinteriputkella saadaan käytöstä myös tasainen ja melko hiljainen, melutason ollessa alle 80 dBA. Laitteen pitäisi kestää myös läpi päässeet suuremmat partikkelit, kuten hiekan. [20.] Kuvassa 14 näkyy DWEER asennettuna ja sen 3D piirros.



Kuva 14. DWEER asennettuna ja sen rakenne [20]

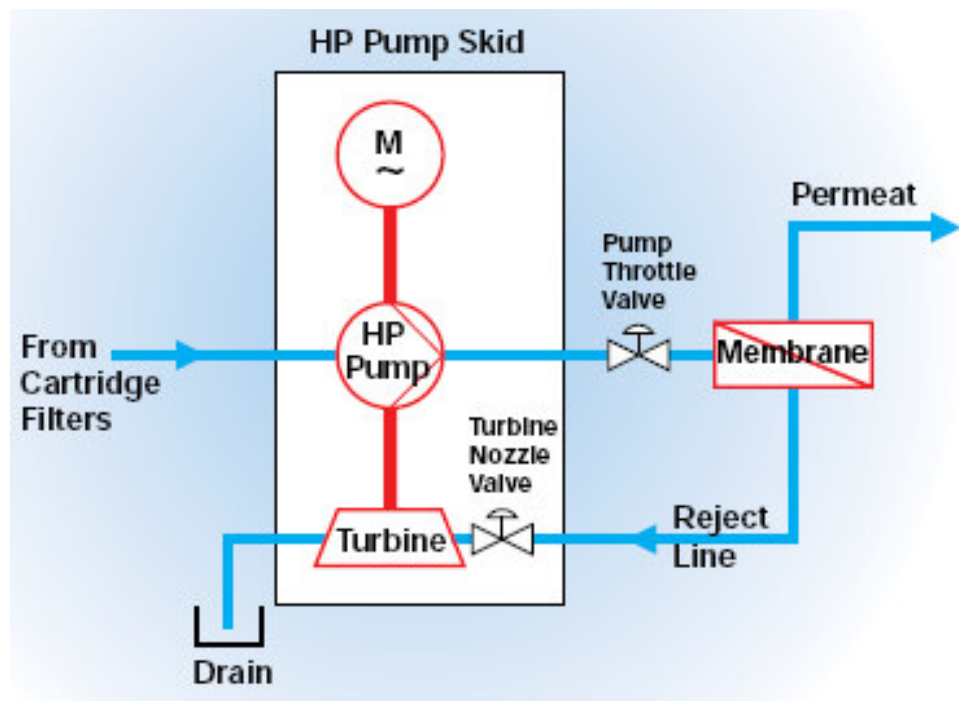
Kalvoilta tuleva korkeapaineinen konsentraatti johdetaan mäntäputkiloon, jossa männän toisella puolella on syöttövetenä toimiva merivesi. Meriveteen kohdistuu silloin painetta, mutta ei tarpeeksi yhtyäkkeen korkeapainepumpun tuottamaan virtaan. Tämä johtuu pienestä 3 baarin painehäviöstä DWEERissä ja putkistossa. Merivesi joudutaan siten vielä pumppaamaan korkeapainepumpun tasolle booster pumpulla. Kun tämä puolikierron loppu lähestyy, vaihtuu LinX-venttiili päinvastaiseen asentoon, jolloin matalapainepumpun pumppaama merivesi tekee työtä ja työntää männän välityksellä konsentraatin kaivoon. DWEERin kaksi mäntäputkiloa mahdollistaa jatkuvan liikkeen. [20.] Tällä periaatteella saadaan pienennettyä korkeapainepumpun kokoa tai se voidaan muuttaa säädettäväksi, tällöin energiaa säästetään huomattavasti ja se voidaan huomata sähkökuluissa. (Kuva 15.)



Kuva 15. Asennus RO-koneikolla [20]

5.3.2 Calder ERT

Turbiiniin perustuva konsentraatin paine-energian hyötykäyttölaite on yleinen ja yksinkertainen. Sillä voidaan säästää suoraan pumpun sähkön syöntiä. Kuvassa 16 näkyy esimerkillinen rakenne. Siinä konsentraattivuo pyörittää turbiinia (joko impulssi tai reaktio), joka on kiinnitetty samalle akselille paineenkorotuspumpun kanssa. Se helpottaa moottorin työtä ja sen tehoa voidaan laskea hyvinkin alas. Laitteet ovat suunniteltu suurille ja keskisuurille voimalaitoksille. Esimerkiksi Calderin valmistama pienin turbiinikonstruktio toimii konsentraattivirtauksella $15 \text{ m}^3 / \text{h}$ ja suurimmat jopa $1\,200 \text{ m}^3 / \text{h}$ (liite 2). [19.]



Kuva 16. Turbiini RO-koneikolla [19]

Calder ERT (Energy Recovery Turbine) on tekniikaltaan yksinkertainen ja varma vaihtoehto turbiinikäyttöiselle menetelmälle. Yksinkertainen rakenne on toimintavarma ja kestävä, joten myös huoltokustannuksissa voidaan säästää. ERT:lle annetaan jopa 90 % hyötysuhde, joka tarkoittaa sitä että 90 % hydraulisesta energiasta saadaan käytettyä hyödyksi turbiinissa. ERT-tekniikalla on mahdollista valita jopa 60 % pienempi paineenkorotuspumppu. [19.]

Sanotaan että viisitoista vuotta sitten asennettu ERT toimii edelleen samalla teholla kuin asennettaessa. Veden tuotanto ERT:llä kuluttaa sähköä noin 2,6 kW/m³. [19.]

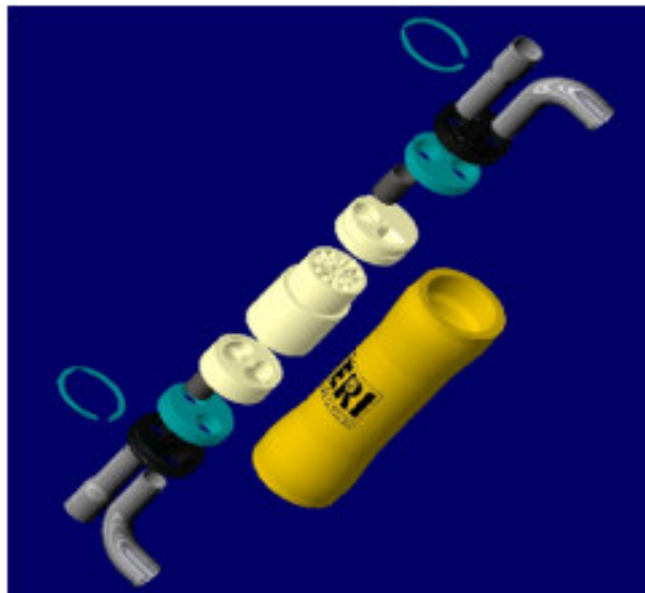
ERT perustuu impulssiturbiinitekniikkaan, jossa roottori ja venttiili on optimoitu muuttamaan ruiskuavan konsentraatin kineettinen energia pyöriväksi mekaaniseksi energiaksi. Tämä konsepti mahdollistaa pienemmän ja halvemmän moottorin sekä säästää tehoa että sähkölaskua. Prosessissa ei juuri tapahdu vuotoja tai sekoittumista, mutta konsentraatin ulosviennin on oltava ilmanpaineessa. [19.]

ERT on jaettu horisontaalisesti kahteen koteloon, joten huoltotyöt tai tarkastukset ovat tarvittaessa helppoja suorittaa. Päärullalaakerit ovat suuret ja toimintavarmat, huollettaessa myös pitkäikäiset. Rullalaakerit tarvitsevat erillisen voitelurasvajärjestelmän. Kotelon käyttöikä on pidennetty valmistamalla se ruostumattomasta Super Duplex-teräksestä. Kotelointi kaikissa pienemmissä malleissa kuin RO 350 – 80, on valmistettu metallittomasta FRP materiaalista (liite 2). [19.]

Operointi voidaan toteuttaa käytännössä vain yhdellä säätöventtiilillä, jota käytetään paineen säätöön ja ylläpitoon. Laitos käynnistetään siten, että turbiinin imu puolen säätöventtiili on kokonaan auki, sen jälkeen sitä kiristetään, kunnes saavutetaan sopiva painetaso. Sama venttiili ohjaa vesisuihkun suoraan ERT roottorin siipiin pyörittäen sitä. ERT rupeaa tuottamaan energiaa heti, kun konsentraattivirtaus pyörittää roottoria, mikä tarkoittaa noin 40 % kokonaispaineesta. Yhden turbiinin potentiaalinen energian uusiokäyttöteho voi olla jopa 1,5 MW. [19.]

5.3.3 PX

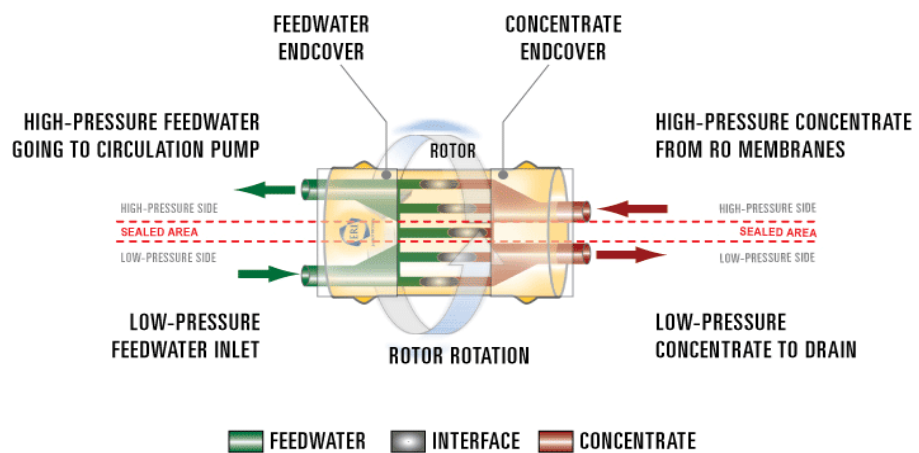
ERI (Energy Recovery Inc.) on kasvanut yhdeksi maailman suurimmaksi käänteisosmoosilaitosten energian talteenottolaitteiden valmistajaksi viime vuosina. ERI:n valmistama PX on nimenomaiseen tarkoitukseen suunniteltu laite, joka voidaan asentaa niin suurille, keskisuurille kuin pienille laitoksille. PX tuotteiden hyötysuhde on parhaimmillaan 98 % ja energiaa on mahdollista säästää yhdellä syöttövesipumpulla yli 60 prosenttia. Materiaalina PX-tekniologiassa käytetään korundikeramiikkaa, erikoismetalleja kuten AL6XN ja 254SMO, titaniumia ja polymeerisiä aineita. Korundi (alumiini oksidi) -keramiikka on ruostumatonta ja haponkestävää. [16.]



Kuva 17. PX osakuva [16]

PX on toiminnaltaan paineenvaihtaja, jonka periaate on sama kuin monessa muussa vastaavassa laitteessa, kuten mäntätoimisessa, mutta PX:ssä niin sanotut mäntäputket ovat keraamisessa pyöriväliikkeisessä roottorissa. PX-laite sisältää sylinterimäisen roottorin, jonka sisällä on pitkiä ohuita onkaloita. Keraaminen roottori pyörii melkein kitkattomasti kuoren sisällä kahden keraamisen päätylevyn tukemana leväten hydrodynaamisilla laakereilla. Paineenergia siirtyy suoraan korkeapaineisesta konsentraatista matalapaineiseen syöttöveteen ilman välikappaletta. Nestevirrat pitävät roottoria pyörivässä liikkeessä. Roottorin liike vastaa Gatling-konekiväärin toimintaa. [16.]

Pyörivän liikkeen ansiosta on puolet onkaloista aina avoinna korkeapainepuolelle ja puolet matalapainepuolelle, jolloin liike pysyy tasaisena. Esikäsitelylinjan pumppu pumppaa meriveden matalapaineisena vasemmalta puolelta rottorin onkaloihin, jolloin toisella puolella oleva konsentraatti virtaa ulos viemäriin. Samaan aikaan konsentraatti täyttää rottorin onkaloita oikealta puolelta, jolloin onkaloihin pumpattu merivesi purkautuu korkeapaineisena syöttövesilinjaan vasemmalle puolelle. Tämä reaktio toistuu aina rottorin pyöriessä suljetun alueen yli. PX:ssä ei ole mäntää nesteiden välissä, joten konsentraatin ja meriveden kesken tapahtuu toiminnassa noin 3 % sekoitusta (kuva 18). [16.]

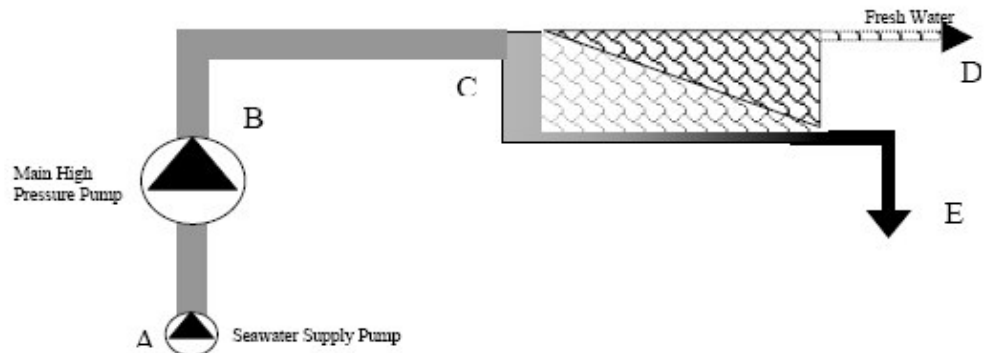


howthopzworks_r51208a.apx

Kuva 18. Toimintaperiaate [16]

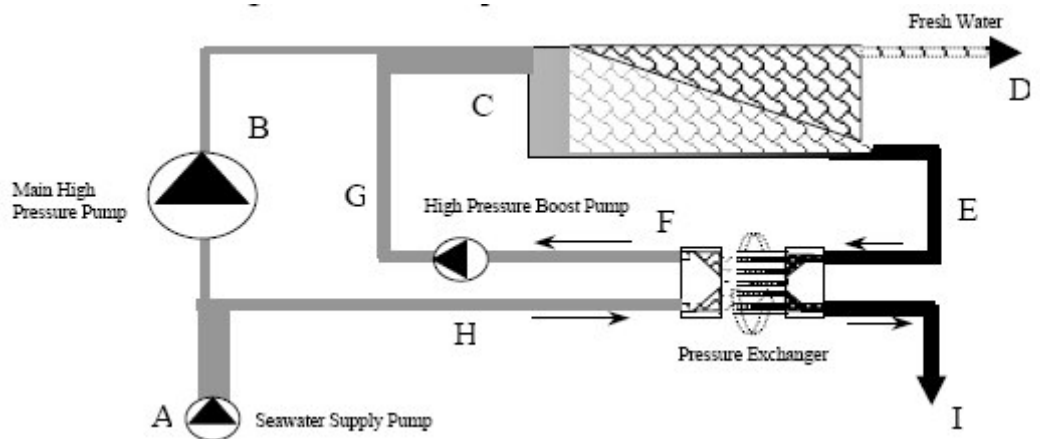
PX ei sisällä mäntiä, venttiileitä, ajastimia tai keinoälyä, joten siitä on voitu valmistaa pieni, kevyt ja helppokäyttöinen. Siinä tilanteessa kun rottori on paikoillaan, pääsee merivesi suoraan laitteen läpi viemäriin, millä olennaisesti helpotetaan käynnistystä ja alasajoa. Asennettaessa useita PX-laitteita liitetään ne yleensä rinnan – esimerkkinä Suomenojan muunneltu ajokuva (liite 5) – siten voidaan häiriön aikana pitää laitos yllä johdattamalla merivesi suoraan jumiutuneen laitteen läpi muiden edelleen toimiessa. Se myös luonnollisesti mahdollistaa laitteen nopean huollon tai vaihdon. Myös yhden laitteen asennukset ovat mahdollisia. [16.] Valmistajan mukaan Suomenojan käänteisosmoosilaitoksen yhdelle linjalle tulisi asentaa uusi 8 kW paineenkorotuspumppu, 0,5 kW buusteripumppu, PX-45S laite sekä kaksi virtaus- ja painemittaria. Kaikki muutokset siis tapahtuvat I-vaiheella, jolloin II-vaiheen 11 kW pumppu ja muut mittarit pysyvät ennallaan.

Kuvassa 19 on normaali yksinkertainen pieni tai keskikokoinen käänteisosmoosilaitos ilman energian talteenotto järjestelmää. [16.]



Kuva 19. RO ilman PX laitetta [16]

Kuvassa 20 on sama käänteisosmoosilaitos johon on asennettu PX-yksikkö. Tämä on tyypillinen kytkentämalli yksinkertaiselle laitokselle, joka tuottaa parhaan hyötysuhteen. Tarvittaessa on myös mahdollista valita yhtä tehokkaita mutta erilaisia kytkentämalleja, joilla saadaan tarpeenmukaisia etuja. Niin DWEErissä, kuin tässäkin, syntyy painehäviötä kalvoilla, putkissa ja itse laitteessa, joten merivesi joudutaan pumppaamaan booster-pumpulla syöttövesilinjaa vastaavalle tasolle, joka on noin 2 – 3 baaria enemmän. [16.]



Kuva 20. PX-varustettu RO [16]

I-vaiheen pumpun teho on 22 kW, josta PX voi parhaimmillaan pudottaa 60 % tehoa pois, tällöin 7 700 h käyttöajalla voidaan laskea $22 \text{ kW} \cdot 0,6 \cdot 7 700 \text{ h}$ eli 101 640 kWh energiansäästöä vuodelle.

5.3.4 LPT

LPT (Low Pressure Turbo) (kuva 21) kuuluu edellä mainituista ryhmistä ensimmäiseen. Se saa hydraulisen energiansa suurpaineiselta konsentraattivuolta käänteisosmoosiprosessissa ja siirtää saadun energian syöttövirtaukseen. Turbo käsittää kaksi osaa, samaan akseliin yhdistetyn turbiinin ja pumpun. Käänteisosmoosiprosessissa turbiiniroottori poimii hydraulisen energian konsentraattivirtauksesta ja muuttaa sen mekaaniseksi energiaksi. Pumpun juoksupyörä muuntaa mekaanisen energian takaisin paineenergiaksi syöttöveden virtaukseen. Turbo siirtää siis energiaa nestevuosta toiseen, joissa molemmissa voi olla eri paine ja virtaus. LPT saa täysin energiansa konsentraattivirtauksesta, eikä sillä ole elektronisia tai pneumaattisia vaatimuksia eikä rasvauksen tarvetta. Käytännössä turbo on kokonaan huoltovapaa. [18.]



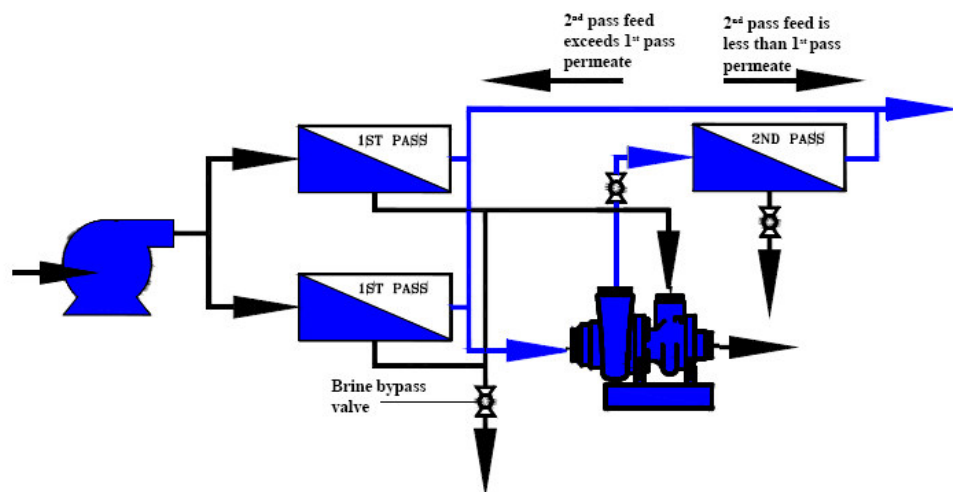
Kuva 21. LPT buusteri [18]

Turbo on riippuvainen syöttöpumpun tehosta ja sitä kautta konsentraatista saatavasta paineesta. Siirtohyötysuhde voidaan katsoa taulukosta (liite 3).

Siinä tilanteessa, kun RO-laitos ei voi tuottaa haluttua permeaattia yksivaiheisena, voidaan se käsitellä kaksivaiheisesti. Kaksivaiheinen järjestelmä vaatii usein elektronisesti ohjatun (invertteri) pumpun paineistaakseen I-vaiheelta tuotetun permeaatin ennen syöttöä II-vaiheen kalvoille. Näissä tapauksissa on mahdollista asentaa turbo II-vaiheen syöttöpumpuksi. Paine-energiansa se saa varmimmin I-vaiheen konsentraatilta. Kohtuuttoman suurilta paineilta II-vaiheella vältytään ohitusventtiilillä, jolloin turbiini käyttää vain tarvitsemansa murto-osan konsentraatista säästäten kalvoja ja itse turboa. [18.]

Moni kaksivaiheinen RO sisältää myös permeaatin välivarastotankin. Tankissa on pinnankorkeus sensori ja sähköinen rele jotka pitää syöttövirtauksen sopivana II-vaiheelle ja tarkkailee tankin vedenpinnan korkeutta. Turbo poistaa välivarastotankin ja sähköisten apulaitteiden tarpeen. [18.] Liitteessä 6 mallinnettu Suomenojan käänteisosmoosilaitokselle LPT II-vaiheen syöttöpumpuksi.

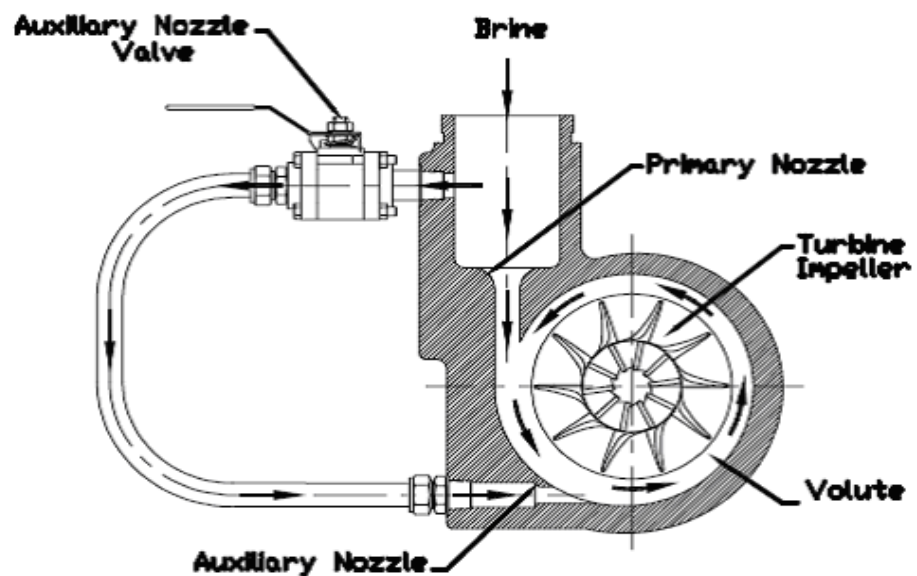
Kuva 22 näyttää kuinka tehdä putkitus, kun turbo sijoitetaan toisen vaiheen syöttölaitteeksi.



Kuva 22. LPT asennettuna II-vaiheen syöttöpumpuksi [18]

Jos II-vaihe ottaisi enemmän vettä kuin I-vaihe pystyy tuottamaan, niin osa II-vaiheen permeaatista kiertää takaisin II-vaiheen alkuun, tai jos halutaan alentaa permeaatin sähkönjohtavuutta (TDS), voidaan II-vaiheen virtausta nostaa kuristamalla konsentraatin ohitusventtiiliä (Brine Bypass Valve), jotta osa II-vaiheen permeaatista kiertäisi uudelleen. [18.] Jos taas I-vaiheen tuotto ylittää II-vaiheen kyvyn suodattaa permeaattia, niin permeaatti ajetaan II-vaiheen ohi, jolloin se sekoittuu II-vaiheen permeaattiin tai se voidaan myös ajaa suoraan viemäriin. Jos taas TDS on liian alhainen ja sitä halutaan nostaa, voidaan II-vaiheen syöttöä vähentää syöttämällä I-vaiheen permeaatti II-vaiheen ohi, joskin tämä on käytännössä kannattamatonta. [18.]

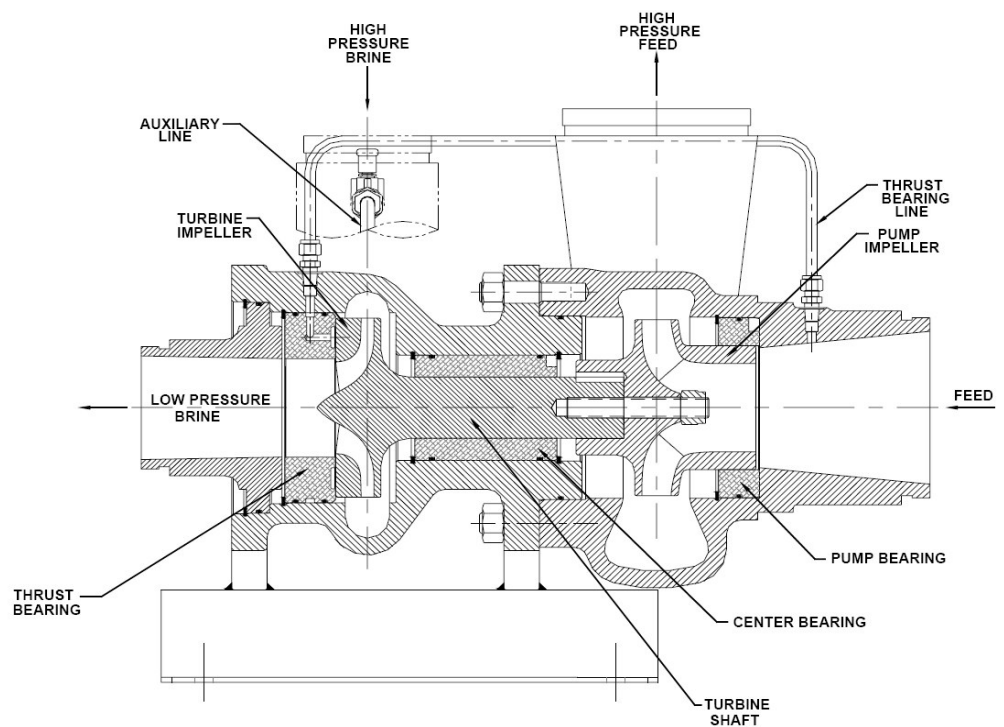
Kaikissa LPT-buustereissa on iso pääsuulake, joka sijaitsee turbiinin imu-puolella. Se on tarpeeksi suuri tuottamaan sopivan paineen, jolla kalvojen maksimi painevastus voitetaan plus 5 % enemmän. Pääsuuttimen lisäksi siinä on pienempi toissijainen suutin, Auxiliary Nozzle, jonka toiminta-alue on 25 % pääsuuttimesta. Tämä lisäsuutin on sijoitettu 90 asteen kulmaan pääsuulakkeesta ja saa vetensä lisäsuutinventtiilistä, kuvassa 23 nimetty Auxiliary Nozzle Valve (ANV). Kun ANV on auki, se nostaa yhteistä suutinpinta-alaa ja tuottaa yhdensuuntaisen virtauksen pääsuuttimen kanssa. Tällöin saadaan virtausta enemmän ja painetta vähemmän. Yleensä lisäsuutin alentaa konsentraatin painetta ja vakiovirtausta 20 – 25% verran. ANV voi toimia manuaalisesti tai sähköisesti. [18.]



Kuva 23. Lisäsuutin ja venttiili [18]

Sen lisäksi että LPT:llä voidaan alentaa energiankulutus mitättömäksi, on se myös viidestä kymmeneen kertaan pienempi kuin pumppu, joka on mitoitettu vastaavalle kapasiteetille. Tämä on hyvä piirre, jos tila on rajoitettu tai laitetta pitää siirrellä. Turboa voidaan kääntää alustallaan 360 astetta akselinsa ympäri, jolloin putkien kiinnityksille saadaan pelivaraa. Lisäksi turbiinipuolta voidaan kääntää pumppuun nähden vielä 45 astetta lisää. Pienen kokonsa ja tasapainotetun akselin puolesta LPT on myös hiljainen ja värinätön, mikä puolestaan mahdollistaa kiinnityksen melkein mihin tahansa. Turbiinipuolen vastapaine voi olla periaatteessa kuinka suuri tahansa, jolloin erillisiä laskuoja tai pumppuja ei tarvita. Laakerit saavat voitelunsa permeaattivedestä jolloin ei tarvita rasvavoitelujärjestelmää tai voiteita. [18.]

LPT:llä ei ole ajoitettavia huoltovaatimuksia, sillä linjattavia akselikorjauksia ei tarvita, eikä myöskään akselitiivisteitä eikä ulkoisia huoltokohteita kuten jäähdytysvesikiertoja tai pneumiikkaa. Pieni koko ja yksinkertainen rakenne helpottaa kokonaisvaltaista tarkastusta tai nopeaa korjausta. Laakerit ovat liukusovitteisia, joten irrottaminen ja asennus on helppoa (kuva 24). [18.]



Kuva 24. Turbiini- ja pumppuosiot on jaettu [18]

LPT turbolle ei saada kovin vakuuttavaa hyötysuhdetta Suomenojan kokoisella laitoksella, liitteen 3 mukaan se on vain noin 46 % 4,8 kg/s (76 gpm) virtauksella. Se on todella alhainen, mutta toisaalta sekin riittäisi toisen vaiheen syöttöveden paineistamiseen. Kaavan 8 mukaan saadaan laskettua turbon tuottama lisäpaine:

$$\bullet \quad DP_{tc} = (h_{te})(R_r)(P_r - P_e) \quad (8)$$

missä h_{te} saadaan taulukosta, R_r on konsentraatin suhde syöttövedeen (saanto miinus 100), P_r on konsentraatin paine turbolle ja P_e on konsentraatin paine turbolta lähdettäessä. [18.] Laskettaessa arvoilla saadaan:

$$\bullet \quad DP_{tc} = 0,46 * 0,36 * (15\text{bar} - 0) = 2,48 \text{ bar}$$

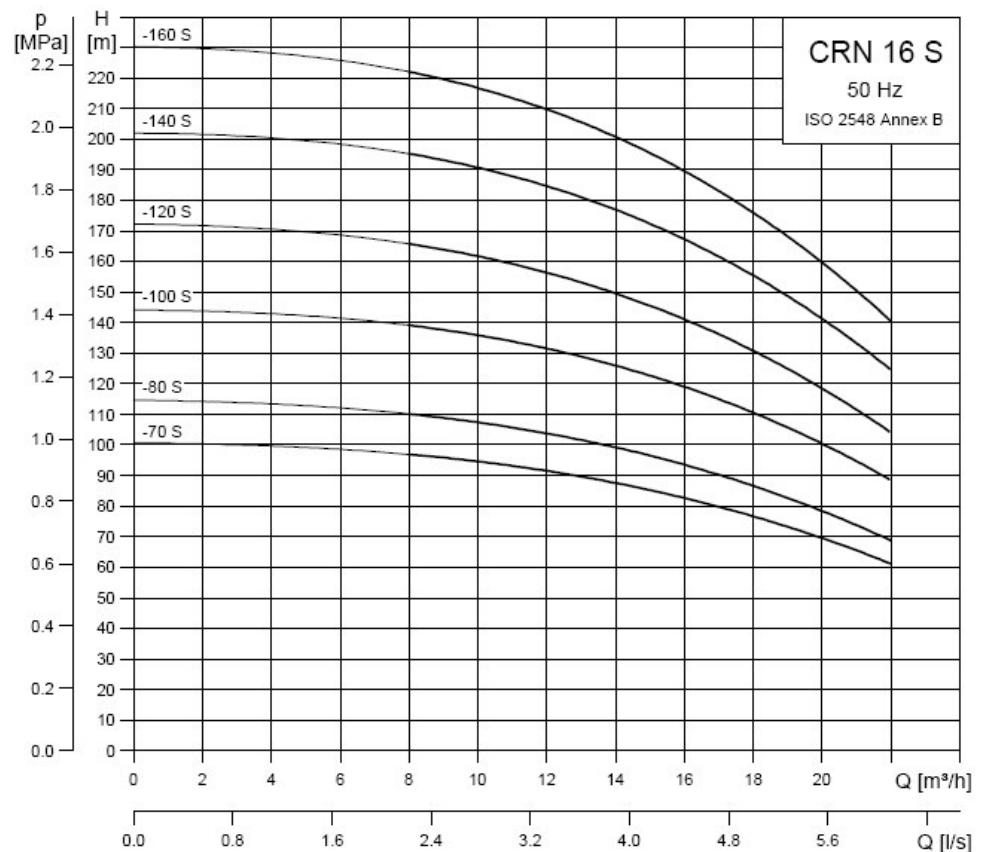
Joten LPT-turbon tuottama paine olisi 17,48 baaria (15+2,48). II-vaiheen tarvitsema paine on noin 6 – 8 baaria. Sopiva syöttö pitää säätää konsentraatin ohivirtausventtiilillä, jotta paine II-vaiheelle saadaan ihanteelliseksi. [18.]

II-vaiheen pumpun teho on 11 kW ja käyttötunteja sille tulee vuodessa noin 7 700 h. LPT:n poistaessa II-vaiheen pumpun tarpeen kokonaan, voidaan karkeasti laskea, että kyseinen asetelma vähentäisi sähkönkulutusta 84 700 kWh.

5.3.5 Vaihtoehtoinen energian talteenotto LPT:llä

Painetta voisi hyödyntää mahdollisesti myös muuhunkin tarkoitukseen kuin käänteisosmoosin energian säästöön, edellytyksiä siihen olisi varsinkin turbo buusterilla. Esimerkiksi jos käänteisosmoosikoneikon lähipiirissä on tarvetta paineenkorotuspumpulle, voitaisiin nestettä liikuttaa myös turbolla. Suomenojan käänteisosmoosikoneikolta saadaan n. 2 x 15 baaria, jolla turbossa saataisiin ”buustattua” nestettä kaavan 8 mukaan noin 17,5 baaria per koneikko (mikäli konsentraatin ulostulo turbossa olisi ilmanpaineessa). Painetta voitaisiin säädellä esimerkiksi konsentraatin sivuvirtaventtiilillä aina maksimiin asti, toisaalta kohde olisi täysin riippuvainen käänteisosmoosin käyttötunneista, joita on suurin piirtein 7 700 h vuodessa. Tarvittaessa voitaisiin pumppauksen jatkuvuuden kannalta asentaa pumppu turbon rinnalle, jolloin käänteisosmoosiprosessin seisoessa voitaisiin käynnistää pumppu, jolle vuodessa jäisi käyttötunteja 1 060.

Esimerkkinä 15 kW Grundfosin CRN 16–160 S, se riittäisi tuottamaan vastaavan 19 baaria ja miltei 15 m³/h virtausta (kuva 25.)



Kuva 25. Grundfosin CRN 16 S virtaustaulukko

Sähkön hinta esim. 0,05 €/kWh

Sähkönkulutus yhdessä turbon kanssa $1\,060\text{ h} * 15\text{ kW} = 15\,900\text{ kWh}$

Sähkötulot $0,05\text{ €/kWh} * 15\,900\text{ kWh} = 795\text{ €}$ vuodessa

ja ilman turboa ympärivuotisessa käytössä $8\,760\text{ h} * 15\text{ kW} = 131\,400\text{ kWh}$

Sähkötulot $0,05\text{ €/kWh} * 131\,400\text{ kWh} = 6\,570\text{ €}$ vuodessa

Turbon hintaa on vaikea arvioida mutta voidaan olettaa sen maksavan noin 10 000 euroa ja 15 000 euroa asennuksineen ja tarvikkeineen. Arvioidut hinnat pumpulle ja turbolle:

	Pumppu	Turbo	Turbo ja pumppu
Hankinta	7 000 €	15 000 €	22 000 €
Sähkötulot 1060 h	0	0	795 €
Sähkötulot 8760 h	6 570 €	0	0

Seuraavassa laskelmassa on laskettu pelkän turbon takaisinmaksuaika, eikä siinä ole otettu huomioon sitä, että turboa voi käyttää vain 7 700 h vuodessa, vaan oletettiin sen olevan käytössä ympäri vuoden, koska sitä verrattiin ympäri vuoden käytössä olevaan pumppuun. Turbolle laskettu koroton takaisinmaksuaika:

Vuosi 1.	$-15\,000\text{ €} + 6\,570\text{ €} =$	-8 430 €
Vuosi 2.	$-8\,430\text{ €} + 6\,570\text{ €} =$	-1 860 €
Vuosi 3.	$-1\,860\text{ €} + 6\,570\text{ €} =$	4 710 €

Koroton takaisinmaksuaika on noin 2 vuotta ja 4 kuukautta jonka jälkeen ainoita kustannuksia olisivat huolto ja korjaustyöt. Turbon toiminnasta pumpuna ei ole tietoa eikä varmuutta mutta ideatasolla se on varteenotettava.

Seuraava laskelma taas osoittaa korottoman takaisinmaksuajan pumpulle ja turbolle. Tällä valinnalla voidaan pitää pumppaus käynnissä koko vuoden ympäri.

Vuosi 1.	-22 000 € - 795 € + 6 570 € =	-1 6225 €
Vuosi 2.	-16 225 € - 795 € + 6 570 € =	-1 0450 €
Vuosi 3.	-10 450 € - 795 € + 6 570 € =	-4 675 €
Vuosi 4.	-4 675 € - 795 € + 6 570 € =	1 100 €

Koroton takaisinmaksuaika olisi noin 3 vuotta ja 10 kuukautta. Yhdistetty pumppu ja turbo voisi olla melko kannattavaa mutta pumpun käyttötunnit jäisivät todella vähäisiksi, mikä nostaa sen takaisinmaksuaikaa. Molemmat tulokset ovat suuntaa-antavia, mistä voidaan todeta, että mikäli on mahdollista että turbo toimii paineenkorotuspumpuna, olisi kannattavaa harkita sellaiseen investoimista.

5.4 Huomioitavia seikkoja suunnittelu- ja asennusvaiheessa

Energian talteenottolaitteita ei käänteisosmoosilaitteiston toiminnan kannalta varsinaisesti tarvittaisi, se vain edesauttaa energian säästössä, joka nykyään on polttava puheenaihe. Suunniteltaessa uusien laitteiden sijoittamista ja rakentamista pitää huomioida se, että se ei tule häiritsemään käänteisosmoosikoneikon nykyistä käyttöä. Mahdollinen rakentamisvaihe kannattaa suunnitella jaksolle, jolla käänteisosmoosi on poissa käytöstä tai vaihtoehtoisesti siihen voidaan varautua etukäteen täyttämällä raakavesisäiliöt ja ajaa ainoastaan kaupungin vettä ioninvaihtimien läpi.

Huomattiin että edellä olevista laitteista sopivimmat Suomenojalle olivat LPT ja PX. Asennuspaikka LPT:lle olisi edullinen sijoittaa nykyisen II-vaiheen pumpun tai permeaatin välisäiliön paikalle, kun taas PX olisi paras asentaa kalvojen imupuolelle I-vaiheen pumpun läheisyyteen. Konsentraatin poistoputki LPT:n tai PX:n jälkeen voidaan yhdistää nykyiseen paineistettuun likavesiverkkoon, jolloin ei tarvita erillistä kanaalia konsentraattivirrälle. Ympäristönäkökulmaa ei tarvitse ottaa käytön aikana huomioon, koska kemikaaleja ei tarvitse lainkaan lisätä prosessiin eivätkä laitteet edellytä minkäänlaista voitelua.

5.5 Energian kulutus

PX-valmistajan mukaan, asennettaessa yksi PX-45S-laite (liite 4) per linja, voitaisiin I-vaiheen paineenkorotuspumpuksi asentaa molemmilla linjoilla yksi 8 kW pumppu ja buusteripumpuksi yksi 0,5 kW pumppu (liite 10). Liitteessä 10 on laskettu myös sähkönkulutus per tuotettu kuutio permeaattia (0,54 kWh/m³) vain I-vaiheen tuotolla, joka ei käsitä koko laitteistoa. Seuraavalla sivulla on laskelma koko laitteistolle, jossa vertailukohtana myös sekä nykyinen että LPT:n kulutus toisen vaiheen pumppuna.

Huom. II-vaihe pumppaa yleensä 60 % teholla, jolloin $11 \text{ kW} \cdot 0,6 = 6,6 \text{ kW}$ ja lopullinen tuotto yhdellä linjalla on 3,1 kg/s eli 11,16 m³/h.

Järjestelmä	Nykyinen <u>kW</u>	PX <u>kW</u>	LPT <u>kW</u>
I-vaihe	22	8	22
II-vaihe	6,6	6,6	-
Buusteri	-	<u>0,5</u>	-
Yhteensä	28,6	15,1	22

Jaettuna kilowatit tuotolla saadaan helposti luettava ja vertailtava luku, joka näyttää kulutetun tehon permeaattikuutiota kohden:

Nykyinen	PX	LPT
2,56 kWh/m ³	1,35 kWh/m ³	1,97 kWh/m ³

Permeaattikuutiolle voidaan laskea myös hinta kaavalla 9:

$$\bullet \quad H_p = S_h * S_p \quad (9)$$

jossa S_h on sähkönhinta, S_p on sähkönkulutus permeaattikuutiota kohden ja H_p on hinta tuotettua kuutiota kohden. Laskettuna esimerkiksi 0,05 euron kWh hinnalla saadaan:

Järjestelmä	Nykyinen	PX	LPT
H_p	0,128 €/m ³	0,068 €/m ³	0,099 €/m ³
€/Vuosi	11 011 €	5 814 €	8 470 €

Kulut vuodessa on laskettu 7 700 käyttötunnin mukaan, jolloin tuottoa kertyy yhdellä linjalla $7\,700 \text{ h} * 11,16 \text{ m}^3/\text{h}$ eli $85\,932 \text{ m}^3$. Vuoden sähkötulot voidaan siis laskea $H_p * \text{Vuoden tuotto}$.

Voidaan huomata että PX-laitteella päästään vuosikulutuksessa noin puoleen nykyisestä ja LPT:lläkin tehdään noin 23 % säästö nykyiseen kulutukseen. Tulokset ovat yhdelle käänteisosmoosilinjalle, Suomenojalla linjoja on kaksi.

5.5.1 PX:n takaisinmaksu

Ainoastaan ERI tarjosi tuotteitaan (liite 9), joten niistä voitiin suorittaa pieni-muotoinen laskelma takaisinmaksulle. Uuteen laitteistoon asennettavien pumppujen sekä mittareiden arvioitiin olevan lähes samanhintaiset kuin PX-45S-yksikkö. Valuuttakurssi 14.5 oli $1\text{€} = 1,3563\text{ USD}$. PX-tuotetta yhdelle linjalle tarjottiin seuraavalla tavalla:

PX-45S	6 200 \$	→	4 571 €
Pumput ja mittarit	6 300 \$	→	<u>4 645 €</u>
Yhteensä			9 216 €

Asennuskulut, toimituskulut jne. tuovat oman osuuden kustannuksiin. Niitä ei ole otettu seuraavaan laskelmaan mukaan, pelkästään hankintahinnat ja vuosittainen säästö. Voittoa syntyy joka vuosi $11\,011\text{ €} - 5\,814\text{ €} = 5\,198\text{ €}$, jolla voidaan karkeasti laskea PX-laitteistolle koroton takaisinmaksuaika:

1. vuosi	$-9\,216\text{ €} + 5\,198\text{ €} =$	-4 019 €
2. vuosi	$-4\,019\text{ €} + 5\,198\text{ €} =$	1 179 €

Takaisinmaksuun kuluu noin 1,8 vuotta. Kaikki laskelmat ovat tehty yhdelle linjalle, todellisuudessa Suomenojalla käänteisosmoosilinjoja on kaksi, jolloin tulokset kaksinkertaistuvat mutta takaisinmaksuaika pysyy samana.

6 YHTEENVETO

Mahtavan kapasiteetin ja hyvän hyötysuhteenkaan ansiosta DWEERiä ei voitaisi soveltaa Suomenojalla sen vaatiman syöttövesivirtauksen takia. Jälkiasennuksenakin DWEER voisi olla huono vaihtoehto kokonsa ja sen vaatimien muutosten vuoksi, kuten putkistot ja lukuisat erikokoiset pumpput. Laitteessa on myös lukuisia liikkuvia pieniä osia, joiden toimintavarmuudesta ei voi olla varma ilman käyttökokemusta.

Calderin ERT mahdollistaa korkeapainepumpun pienentämisen, jonka kautta säästyy sähköä. Tämä ei poista kokonaan pumpun tarvetta kuten turbo tekee, mutta laituskoko voi olla huomattavan iso. Suomenojalle eivät ainakaan Calderin valmistamat ERT:t ole kokonsa puolesta sopivia, koska alin hyödynnettävä virtausnopeus on 15 m³/h (liite 2). Tilanpuute olisi toinen seikka, koska ERT systeemi on vaakatasossa, jolloin se vie lattia pinta-alaa koko pituutensa verran. Itse käänteisosmoosikoneikolle ei tarvitsisi tehdä kylläkään suuria muutoksia, koska tarvittavat putkivedot olisivat hyvin vähäiset.

PX on tunnettu ja käytetty ympäri maailmaa ja se on saavuttanut kilpailukykyisen aseman kyseenomaisilla markkinoilla, joten varaosa- ja huoltopalvelu on myös tarvittaessa saatavilla. Tuotteella on hyvä hyötysuhde ja se on varmatoiminen sekä helppokäyttöinen. PX-järjestelmä vaatii tosin joko I-vaiheen paineenkorotuspumpun vaihdon pienempään tai sitten vanhaan pumppuun olisi asennettava invertteriohjaus. Tarvittaisiin myös erillinen buusteripumppu, joka tuo lisää kustannuksia ja vie hieman tilaa. Tilan käyttö voi koitua ongelmaksi, koska laitteet olisi paras asentaa käänteisosmoosilaitteiston eteen tai sivuille. Kumpikin vaihtoehto ahtauttaisi tilaa entisestään. Pitkillä putkivedoilla voitaisiin saada PX-järjestelmä myös koneikon perään. Tilaratkaisu on kylläkin vain asettelukysymys.

LPT voisi olla hyvä ratkaisu hukkaan menevän energian hyödyntämisessä, koska idea on yksinkertainen ja toimiva. Kokonsa puolesta se mahtuisi sopivasti käänteisosmoosikoneikon perään, esimerkiksi permeaatin välisäiliön tai II-vaiheen paineenkorotuspumpun paikalle. On tietysti mahdollista asentaa se rinnan nykyisen toimivan systeemin kanssa, jolloin ei tarvitsisi purkaa mitään pois, vaan vanha järjestelmä voisi jäädä paikoilleen häiriöiden ja huollon varalle. Laitteen osoittautuessa toimivaksi voitaisiin vanha linja ja pumpu purkaa pois ja käyttää jossakin muualla uudelleen. Toisaalta paineenkorotuspumppu saattaisi käyttämättömyyttään vikaantua, tiivisteet kuivua ym.

Nyt Suomenojalla ajetaan vakiotuotolla, jolloin paine laskee kalvojen likaantuessa ja veden laatu vaihtelee. II-vaiheen syöttöpaine olisi turbon myötä vakio, jolloin kokonaistuotto saattaisi heilahdella mutta vedenlaatu tasaantua, riippuen tietenkin I-vaiheen konsentraatin paineesta, joka muuttuu kalvojen likaantuessa. II-vaihe olisi siis täysin riippuvainen I-vaiheen tuotosta ja toiminnasta. Turboon eivät vaikuta paineenmuutokset konsentraattivirrassa, koska se ei käytä kaikkea konsentraatin kapasiteettia kerrallaan, vaan osan, jolloin jää joustovaraa paineenmuutosten varalle.

Näiden tietojen perusteella voidaan siis ajatella hankittavan joko LPT-buusteri tai PX. LPT-buustereita kannattaisi ilman muuta hankkia kaksi pienempää kuin yksi suuri yhteiseksi. Esimerkiksi hiekkasuodinta huuhdeltaessa käytetään vain toista linjaa, jolloin sen tuottama konsentraattivoi ei mitään luultavimmin riittäisi paineistamaan II-vaihetta suurella turbolla. Myös mahdollisen häiriön aikana voidaan käyttää ainakin toista linjaa. Kannattaa myös miettiä vaihtoehtoa rakentaa turbo vanhan pumppulinjan rinnalle, jolloin toimintavarmuus on taattu. LPT toimisi Suomenojalla parhaiten nimenomaan II-vaiheen syöttöpumppuna, jolloin energiaa säästyisi suoraan pumpun käyttämän tehon verran. Turbolla voidaan ajaa huoltovapaasti hyvinkin pitkiä aikoja, jopa 180 kuukautta ilman häiriötä [18], mikä osaltaan säästää jo tuotantokustannuksissa. Ensimmäisen vaiheen pumppu saattaa tarvita kylläkin huoltotaukoja ja mahdollista korjausta tuonakin aikana, jolloin laitos seisoo joka tapauksessa.

PX-laitteet asennettaisiin ensimmäisen vaiheen paineenkorotuspumpun tekemän työn helpottajaksi. Tässä tapauksessa II-vaiheen syöttöpumppu säiliöineen pysyisi ennallaan ja vain I-vaiheen syöttölaitteita muokattaisiin. Molemmille linjoille tulisi asentaa valmistajan mukaan yksi kappale PX45SB-laitteita, jonka vetoisuus ulottuu välille 5,9 – 10,2 m³/h (Liite 4) ja yksi pieni buusteripumppu, sekä uusi putkisto. PX-laitteet sisältävät vain yhden liikkuvan osan ilman ylimääräistä voitelua, mikä takaisi myös pitkän huoltovapaan ajokauden. Säästö siis tapahtuisi I-vaiheen pumpun työn vähenemisellä, joka tarkoittaisi sähkön kulutuksen kutistumista. Myös huoltovapaa ajokausi säästää osaltaan käyttökustannuksissa.

Tuotteiden valmistajista vain ERI tarjosi tuotteitaan, joten todellista hintavertailua ei saatu aikaan. Näin ollen LPT:lle ei tehty kannattavuuslaskelmia.

VIITELUETTELO

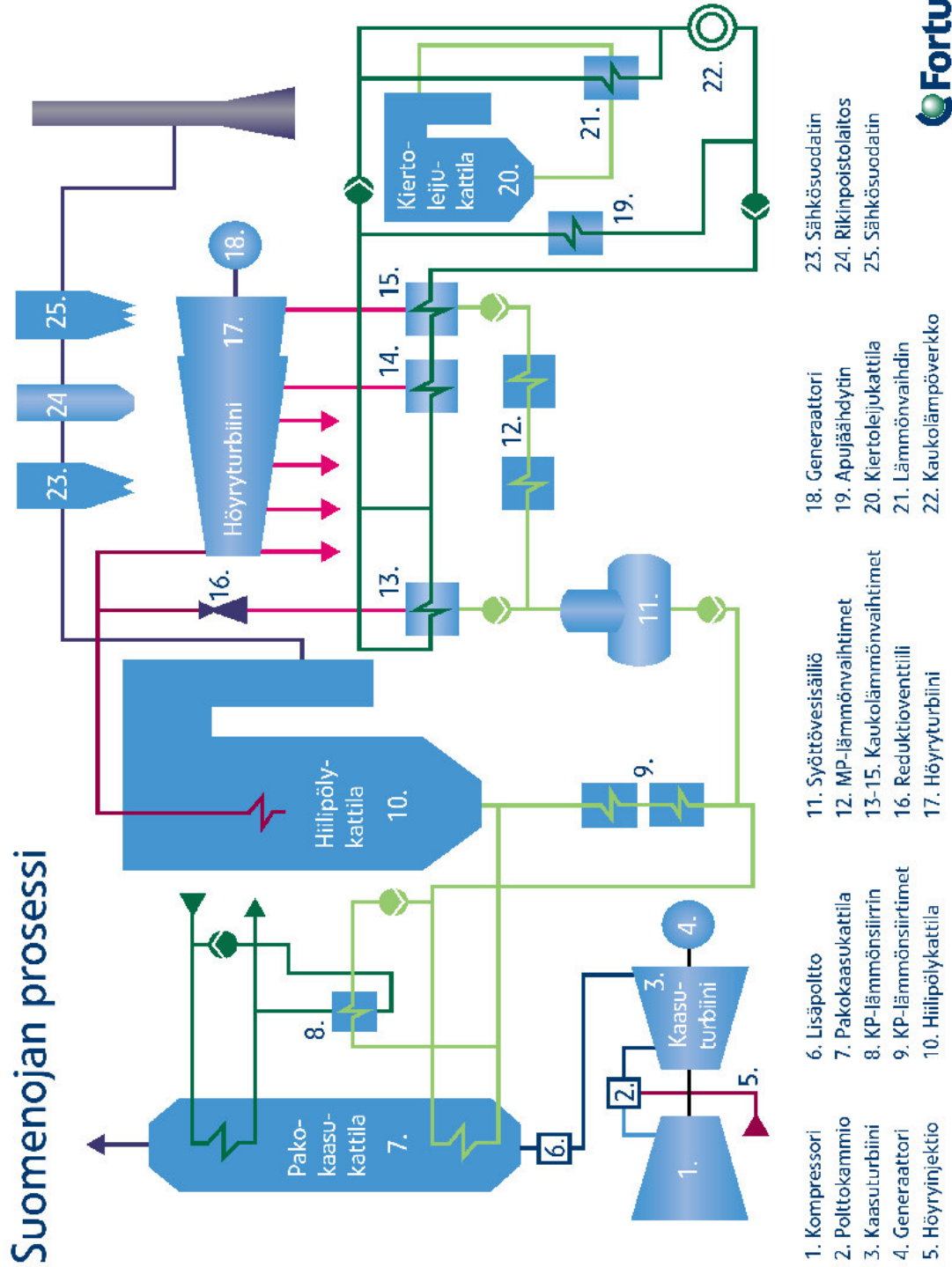
- [1] Diffuusio, Wikipedia. [verkkodokumentti, viitattu 15.11.2008].
Saataavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Diffuusio>
- [2] Aquahoito. [verkkodokumentti, viitattu 15.11.2008].
Saataavissa: www.aquahoito.info/suomi/akvaario/osmoosi.php
- [3] World wide water. [verkkodokumentti, viitattu 20.11.2008].
Saataavissa: <http://www.world-wide-water.com/SWRO%20ER/ER.html>
- [4] Vesiluento, Turun yliopisto. [verkkodokumentti, viitattu 20.11.2008].
Saataavissa: <http://www.wakkanet.fi/~timvih/vesiluento/puhdistus2.html>
- [5] Water for the future. [verkkodokumentti, viitattu 25.11.2008].
Saataavissa: <http://library.thinkquest.org/C0131200/>
- [6] Käänteisosmoosi. Suomenojan voimalaitoksen dokumenttiarkisto
- [7] Fortum Oyj. [verkkodokumentti, viitattu 25.12.2008].
Saataavissa:
http://www.fortum.fi/dropdown_document.asp?path=14020;14028;14029;14055;14244;14248;41108;41111
- [8] Fortum Oyj. [PowerPoint-dokumentti, viitattu 10.1.2009].
- [9] Eon. *Meriveden esikäsittelyesitelmä*, Suomenojan voimalaitoksen dokumenttiarkisto
- [10] HOH Separtec. Suomenojan voimalaitoksen dokumenttiarkisto
- [11] Byrne W., *Reverse Osmosis A Practical Guide for Industrial Users*, 1.painos, Tall Oaks Publishing Inc., Littleton 1995, 461 s.
- [12] Henley M., Automated Systems Allow for Long-Distance Monitoring of Water Treatment, *Ultrapure Water*, Volume 17, Number 2, 2000a, 13-15.
- [13] Brandt D.C. - Leitner G.F. - Leitner W.E., Reverse Osmosis Membranes State of the Art, teoksessa *Reverse Osmosis Membrane Technology. Water Chemistry, and Industrial Applications*, toim. Amjad Z., Chapman & Hall, New York 1993, ss. 1-36
- [14] Meltzer T.H., *High Purity Water Preparation for the Semiconductor, Pharmaceutical and Power industries*, 2. painos, Tall Oaks Publishing Inc., Littleton, 1997, 833s.
- [15] Loughborough University, UK. [PowerPoint-dokumentti, viitattu 1.2.2009]
Saataavissa: <http://www.adu-res.org/pdf/Loughborough.pdf>

- [16] Energy Recovery, Inc. [verkkodokumentti, viitattu 15.1.2009].
Saatavissa: <http://www.energyrecovery.com/>
- [17] Saline Water Conversion Corporation. [pdf -dokumentti, viitattu 15.2.2009]
Saatavissa:
<http://www.swcc.gov.sa/files%5Cassets%5CResearch%5CTechnical%20Papers%5CReverse%20Osmosis/EFFICIENT%20ENERGY%20RECOVERY%20%20PROSPECT%20%20IN%20SWRO%20PROCESS.....12.pdf>
- [18] Pump engineering Inc. [pdf-dokumentti, viitattu 29.11.2008]
Saatavissa: <http://www.pumpengineering.com/>
- [19] Calder, energy recovery turbines. [pdf-dokumentti, viitattu 15.1.2009]
Saatavissa: <http://www.calder.ch/images/products/CalderERTCatalogue.pdf>
- [20] Calder, Dweer. [verkkodokumentti, viitattu 15.1.2009]
Saatavissa: <http://www.calder.ch/htm/start.htm>
- [21] Huhtinen M. - Kettunen A. - Nurminen P. - Pakkanen H., *Höyrykattilatekniikka*, 5. painos, Oy Edita Ab, Helsinki 2000, 303-304 s.
- [22] Edstrom. [verkkodokumentti, viitattu 15.12.2008]
Saatavissa: http://www.edstrom.com/products.cfm?doc_id=191

LIITELUETTELO

- Liite 1. Suomenojan voimalaitoksen prosessikaavio
- Liite 2. ERT tietotaulukko
- Liite 3. LPT turbo hyötysuhdetaulukko
- Liite 4. PX kokotaulukko
- Liite 5. Käänteisosmoosin ajokuva varustettuna kolmella PX:llä
- Liite 6. Käänteisosmoosin ajokuva varustettuna LPT:llä
- Liite 7. Käänteisosmoosin ajokuva
- Liite 8. Käänteisosmoosin rotametrien lukemat
- Liite 9. ERI:n PX tarjous (vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)
- Liite 10. ERI:n laskelmia Suomenojalle (vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)
- Liite 11. ERI:n asennuspiirros (vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)

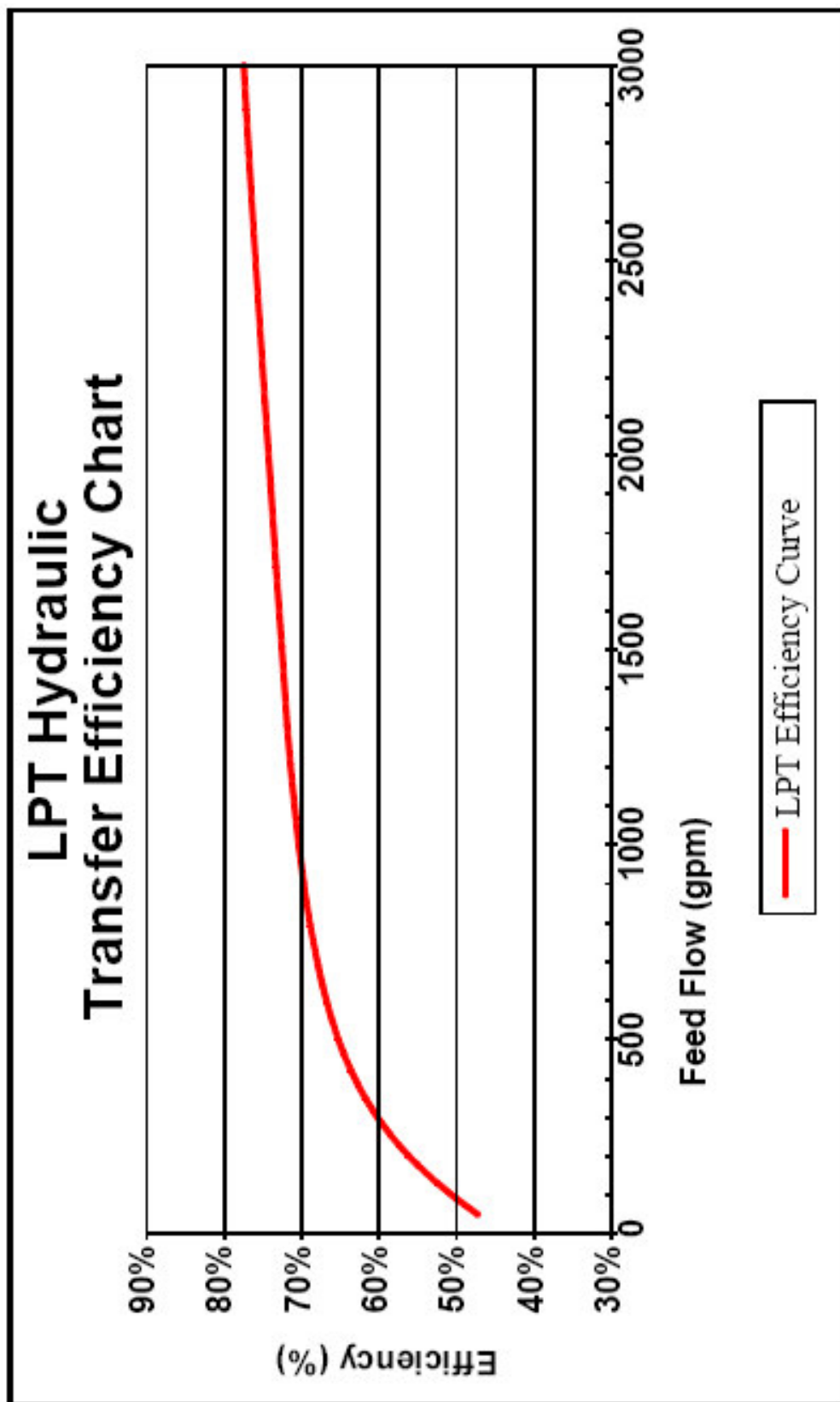
Suomenojan voimalaitoksen prosessikaavio



ERT tehotaulukko

Turbine Model	Max. Flow		Max. Power		Frequency Hz
	m ³ /h	(USGPM)	kW	HP	
RO-290-40-20	15	66	28	38	50-60
RO-290-40-30	25	110	45	61	50-60
RO-290-65	40	176	75	101	50-60
RO-310-65	55	242	100	135	50-60
RO-350-65	80	352	150	203	50-60
RO-310-70	110	484	210	284	60
RO-350-70	110	484	210	284	50
RO-310-75	150	661	290	392	60
RO-350-75	150	661	290	392	50
RO-310-80	200	881	390	527	60
RO-350-80	200	881	390	527	50
RO-310-100	250	1101	500	675	60
RO-350-100	250	1101	500	675	50
RO-310-80-2	330	1453	640	864	60
RO-350-80-2	330	1453	340	459	50
RO-310-100-2	550	2422	960	1296	60
RO-350-100-2	650	2860	1100	1460	50
RO-310-100-4	900	3963	1500	2025	60
RO-350-100-4	1200	5284	1500	2025	50

LPT hyötysuhde käyrä



PX-tuote taulukko

PRODUCT CATALOGUE

Model	Flow Capacity: gpm (m ³ /hr)	Rated Pressure: psi (bar)	Application:
PX260	220-260 (50-59)	1200 (82.7)	SWRO
PX220	180-220 (41.1-50.0)	1200 (82.7)	SWRO
PX180	140-180 (32.0-40.9)	1200 (82.7)	SWRO
PX140S	90-140 (20.7-31.8)	1200 (82.7)	SWRO
PX90SR	60-90 (13.6-20.4)	1200 (82.7)	SWRO
PX70S	45-70 (10.4-15.9)	1200 (82.7)	SWRO
PX45S	30 -45 (6.8-10)	1200 (82.7)	SWRO
PX30S	20-30 (4.5 - 6.8)	1200 (82.7)	SWRO
PX220B	180-220 (41.1-50.0)	400 (27.67)	BWRO
PX180B	140-180 (32.0-40.9)	400 (27.67)	BWRO
PX140SB	90-140 (20.7-31.8)	400 (27.67)	BWRO
PX90SRB	60-90 (13.6-20.4)	400 (27.67)	BWRO
PX70SB	45-70 (10.4-15.9)	400 (27.67)	BWRO
PX45SB	25-40 (5.9-10.2)	400 (27.67)	BWRO

65 Product Series

The 65-Series product line, introduced in 2002, is designed to handle brine flow rates of 140 gpm to 260 gpm (32 - 59 m³/hr) per PX® unit. 65 series units are suited for SWRO trains with permeate production capacities of greater than 25,100 m³/day. PX® devices can be manifolded together to achieve capacity ranges in multiples of single-device capacities. Each 65 product can handle the brine flow of a 1,000 m³/day SWRO plant at 45% recovery.

Model	Capacity	
PX-260	180 - 260 gpm	50 - 59 m ³ /hr
PX-220	140 - 220 gpm	40 - 50 m ³ /hr
PX-180	120 - 180 gpm	32 - 41 m ³ /hr

4S Product Series

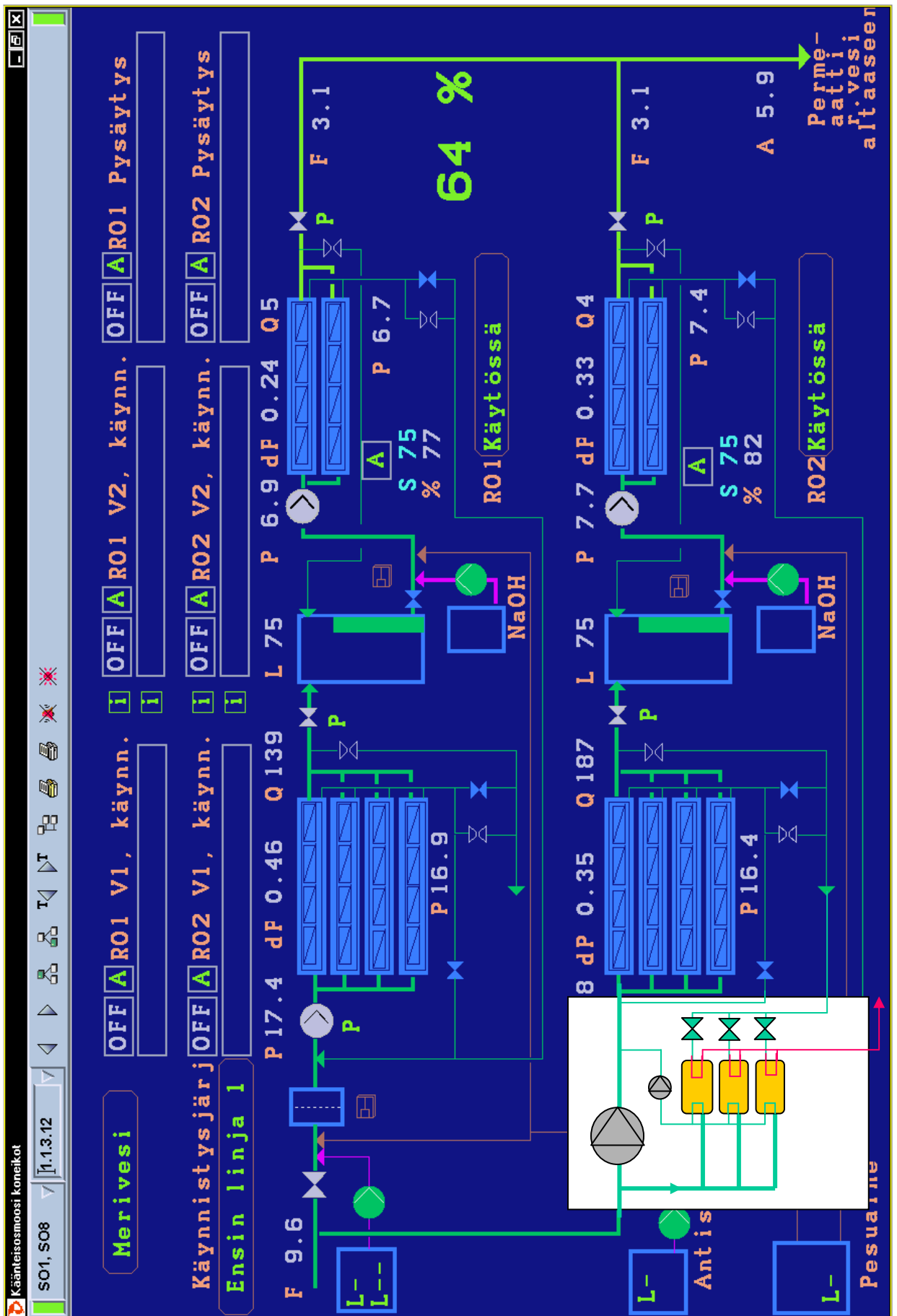
The 4S Series product line is ideal for small-medium size SWRO applications. The single rotor units are designed to handle brine flows from 5.7-20.4 m³/hr (25-90 gpm), and primarily designed for plants with permeate product from 200-400 m³/day operating at 45% recovery. Often, these units are used in parallel to service larger systems. The 4S-Series Pressure Exchanger® devices were introduced to the market in 2003 as a replacement for the 4-inch-Series devices.

The 4S-Series incorporates design improvements that increase the capacity and improve the durability. The current product line includes the following models:

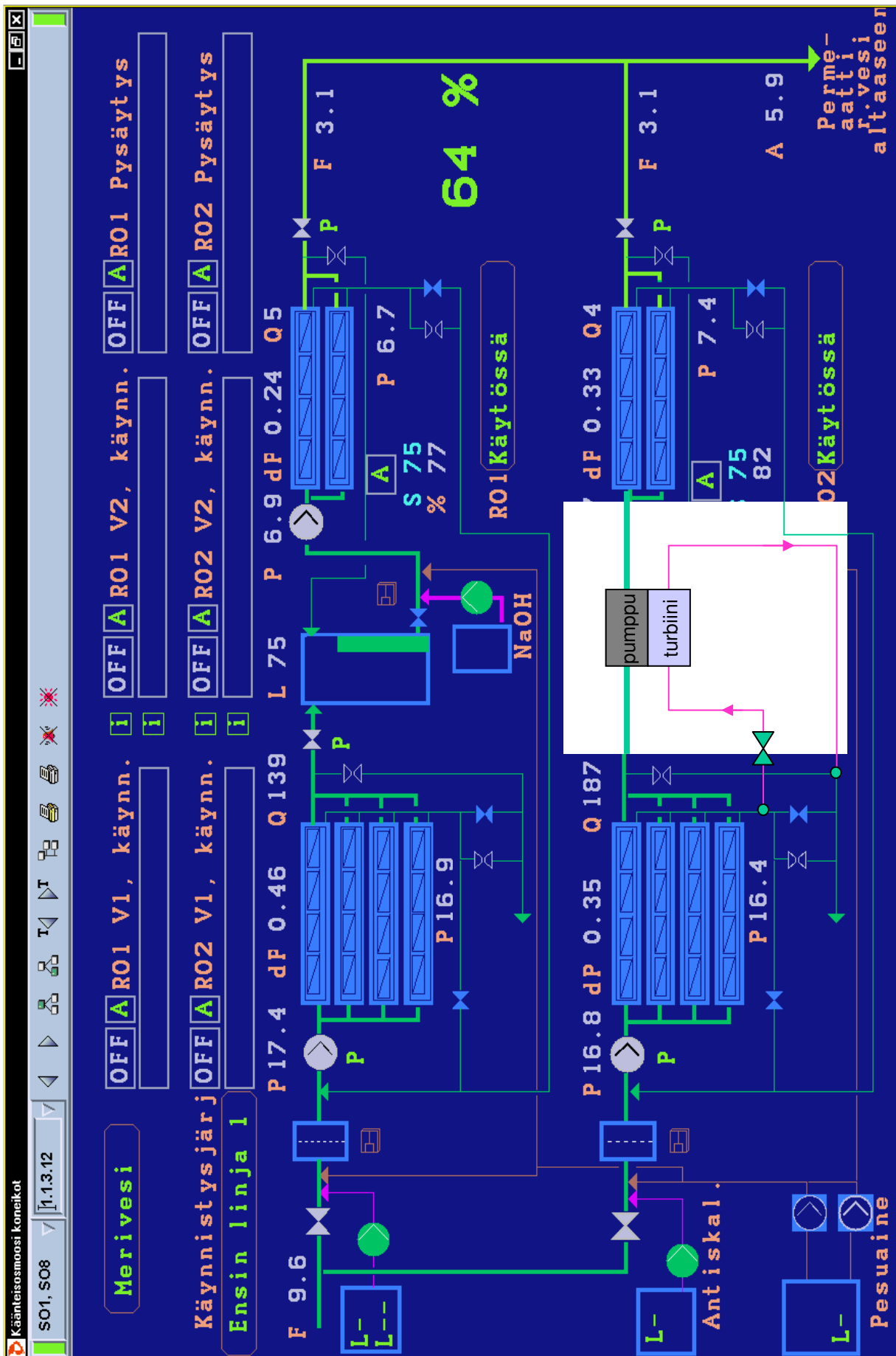
Model	Capacity	
PX-140S	90 - 140 gpm	(20 - 32 m ³ /hr)
PX-90S	60 - 90 gpm	(14 - 20 m ³ /hr)
PX-70S	40 - 70 gpm	(9 - 16 m ³ /hr)
PX-45S	30 - 45 gpm	(6 - 10 m ³ /hr)
PX-30S	20 - 30 gpm	(4.5 - 6.8 m ³ /hr)

All the PX Pressure Exchanger® models have a single rotor with the exception of the dual-rotor PX-140S.

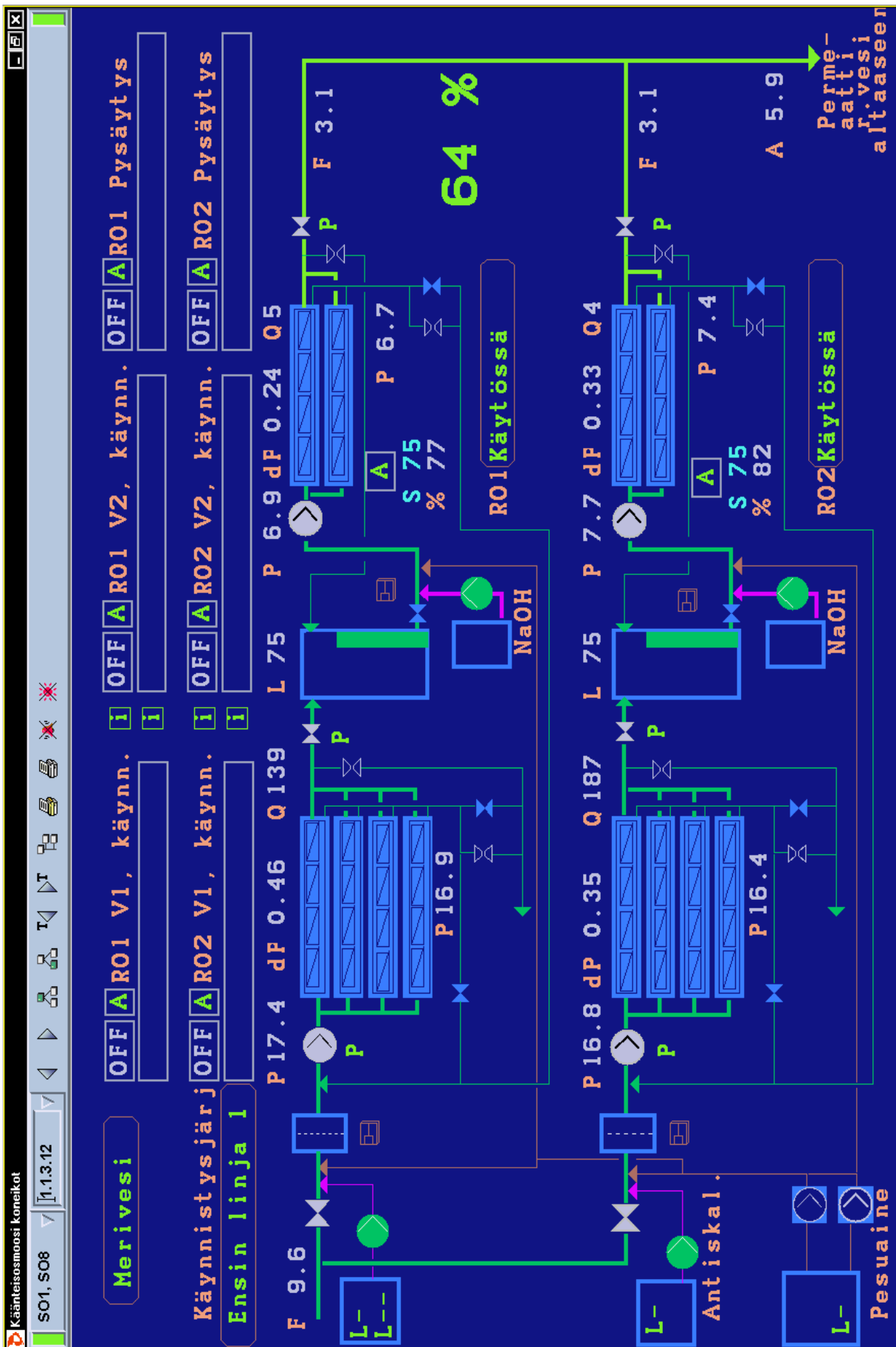
RO-laitos varustettuna kolmella PX-laitteella



RO-laitos varustettuna LPT-buusterilla



RO-laitoksen ajokuva



Rotametrien lukemat

RO laitoksen SÄÄTÖTAULUKKO (15.9.2004)									
Haluttu tuotto						Haluttu tuotto / RO kone			
kun 1 RO kone käytössä	3,1 kg/s					kun 2 RO konetta käytössä	2,8 kg/s		
I Rotametrin						I Rotametrin	1.vaih.viemäri		
lukema	8,5 m ³ /h					lukema	7,6m ³ /h		
II Rotametrin							1.vaih. sis.kierto		
lukema	3,3 m ³ /h					II Rotametrin			
						lukema	3,0 m ³ /h		
III Rotametrin							2.vaiheelle menevä		
lukema	15,5 m ³ /h					III Rotametrin			
						lukema	14,0 m ³ /h		
IV Rotametrin							2.vaih.kons.->1.vaih.		
lukema	4,5 m ³ /h					IV Rotametrin			
						lukema	4,0 m ³ /h		
HUOM!									
						Rotametrien lukemat uimurin ylätasosta.			
						Tuotot ovat rotametrien mukaan määritettyjä, eivät virtausmittarien ilmoittamia.			