

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka & Ympäristötekniikka
Hannu Ruokosalo

Opinnäytetyö

Voimalaitoksen vedenkäsittely
Sekaioninvaihtimen korvaaminen elektrodeionisaatiolaitteistolla

Työn ohjaaja: lehtori Pentti Järvelin
Työn tilaaja: Kokkolan Voima Oy
Tampere 5/2010

Tekijä	Hannu Ruokosalu
Työn nimi	Voimalaitoksen vedenkäsittely, sekaioninvaihtimen korvaaminen elektrodionisaatiolaitteistolla
Sivumäärä	31 + 13 liitesivua
Valmistumisaika	05/2010
Työn ohjaaja	lehtori Pentti Järvelin
Työn tilaaja	Kokkolan Voima Oy, käynnissäpitomestari Veli Niemonen

Tiivistelmä

Työssä käsitellään voimalaitoksen höyrykattilan vedenkäsittelyä ja lisäveden valmistuksessa käytettävän sekaioninvaihtimen korvaamista sähköisellä ioninvaihtimella eli elektrodionisaatiolaitteistolla. Uudistuksella pyritään pienentämään vedenkäsittelylaitoksen käyttökuluja ja mahdollisesti parantamaan lisäveden laatua.

Uuden kattilan valmistuttua on lisäveden saannin riittävyys erikoistapauksissa ollut hieman epävarmaa. Hyvälaatuinen syöttövesi on kuitenkin tärkeää kattilan toiminnan, luotettavuuden, turvallisuuden, kunnossapitokustannusten vähentämisen, hyötysuhteen ja höyryn laadun takia. Erityisen tärkeää on poistaa korroosiota, lietteen muodostusta ja kattilakiveä aiheuttavat epäpuhtaudet.

Ioninvaihto on lisäveden täyssuolanpoistossa perinteisesti käytetty menetelmä. Perinteisesti ioninvaihtoa on käytetty esikäsittelyn jälkeen varsinaisena täyssuolanpoistomenetelmänä, mutta käänteisosmoositekniikan kehittyttyä ioninvaihto on siirtynyt lisäveden valmistuksen viimeiseksi vaiheeksi varmistamaan lisäveden alhainen johtokyky ja siliikaattipitoisuus. Elektrodionisaatiotekniikka on kehitetty korvaamaan ioninvaihtoa, jotta koko prosessista saataisiin jatkuva ja kemikaaliton.

Työn teoriaosuudessa perehdyttiin voimalaitoksen vedenkäsittelyyn teoriassa. Tutkimusosuudessa puolestaan käsiteltiin ioninvaihdon ja elektrodionisaation teoreettisia eroja. Näiden teorian tietojen perusteella myös selvitettiin, mitä ioninvaihtimen korvaaminen elektrodionisaatiolaitteistolla vaatisi, mitä hyötyjä siitä olisi ja minkälaisissa tapauksissa se olisi järkevää.

Tutkimuksessa todettiin, että sekaioninvaihtimen korvaaminen EDI-laitteistolla on mahdollista ja myös kannattavaa, jos vedenkäsittelylaitos on jatkuvassa ajossa. Nykyinen kokoonpano on kuitenkin toimiva, joten sen muuttaminen ei ole välttämätöntä. Tällä hetkellä vedenkäsittelylaitoksen tulevaisuuden käyttötapa ei ole vielä selvillä. Sen mahdollisuutena on jatkaa toimintaa entiseen tapaan, ryhtyä käsittelemään sillä lauhdeita ja syöttövettä tai säilöä se varalle.

Työn tuloksia ei suoraan voi soveltaa kaikkiin voimalaitoksiin, koska vedenkäsittely on yksilökohtaista jokaisella laitoksella.

Writer	Hannu Ruokosalo
Thesis	Power plant water treatment, replacing mixed-bed ion exchanger with electrodeionisation unit
Pages	31 + 13 appendices
Graduation time	5/2010
Thesis supervisor	lecturer Pentti Järvelin
Co-operating company	Kokkolan Voima Oy, operating foreman Veli Niemonen

Abstract

This study discusses power plant water treatment and replacing a mixed-bed ion exchanger with an electrodeionisation unit. With this renewal is aimed to decrease operating costs and to enhance the quality of make-up water.

After the new boiler was constructed, the sufficiency of make-up water has been unreliable under certain circumstances. The good quality of make-up water is important to the boiler's functioning, reliability, safety, maintenance costs, efficiency and steam quality. It is important to remove impurities that cause corrosion, create sludge and format deposits.

Ion exchange is a method that is used traditionally in manufacturing make-up water. Traditionally it has been the primary demineralizing process, but after the development of reverse osmosis ion exchange has become a secondary process in ensuring the low concentration of silicate and the low conductivity of make-up water. The electrodeionisation technique has been developed to replace ion exchangers in order to achieve a continuous and chemical-free process.

The theory part of this study discusses power plant water treatment generally and the explanation part of this study discusses the differences between ion exchange and electrodeionisation in theory. Based on this theoretical information, it was also determined what the replacement of an ion exchanger with a electrodeionisation unit would take, how it would be beneficial and in which cases it would be wise.

It was found found that replacing an ion exchanger with an electrodeionisation unit is possible and also reasonable if the water treatment plant is in continuous use. The current composition of water treatment plant is still functional and it is not compulsory to renewal it. It is necessary to resolve the purpose and the way of using of the present treatment plant before carrying out any conclusions about investments.

The results of this survey cannot be directly applied to other power plants, because water treatment is an individualized process in every boiler.

Keywords	make-up water, demineralized water, ion exchange, electrodeionisation
----------	---

Esipuhe

Tämä opinnäytetyö tehtiin talven 2009–2010 aikana Kokkolan Voima Oy:lle. Tehtävänä oli voimalaitoksen vedenkäsittelylaitoksen kehittäminen ja selvitystyön tekeminen sekaioninvaihtimen korvaamisesta sähköisellä ioninvaihtimella. Voimalaitos ja sen vedenkäsittelylaitos olivat minulle tuttuja työskenneltyäni siellä kesän 2009.

Olen erittäin kiitollinen Kokkolan Voima Oy:lle, että sain mahdollisuuden tehdä opinnäytetyön mielenkiintoisesta, haastavasta ja minua kiinnostavasta aiheesta. Haluankin kiittää suuresti Kokkolan Voimaa ja sen henkilöstöä avusta työn aikana. Erityisesti haluan kiittää käynnissäpitomestari Veli Niemosta tuesta ja avusta koko työn ajan, vuoromestari Mika Alavesaa avusta selvitettäessä vedenkäsittelylaitoksen yksityiskohtia sekä muuta henkilökuntaa avusta työn aikana.

Kiitän myös ohjaajaani lehtori Pentti Järveliniä ohjauksesta työn aikana, avusta työhön perehdyttäessä sekä työn tarkastamisessa.

Kiitokset kuuluvat myös avopuolisolleni, perheelleni ja kavereille, jotka ovat auttaneet ja tukeneet minua työn aikana.

Tampereella toukokuussa 2010.

Hannu Ruokosalo

Sisällysluettelo

1 Johdanto	7
2 Energiantuotanto	8
2.1 Höyrykattilan toimintaperiaate.....	8
2.2 Kokkolan voima	9
3 Syöttövesi ja sen erikoisvaatimukset	11
4 Syöttöveden käsittelytekniikat	16
4.1 Käänteisosmoosi	16
4.2 Ioninvaihto	18
4.3 Elektrodialyyssi	20
4.4 Elektrodeionisaatio.....	21
4.5 Terminen kaasunpoisto	22
4.6 Lauhteiden käsittely	23
5 Sekaioninvaihtimen korvaaminen EDI-laitteistolla	24
5.1 Nykyinen vedenkäsittely ja sen tarkoitus.....	24
5.2 Ioninvaihdon ja EDI-laitteiston tekniset erot	26
6 Päätelmät	28
Lähteet.....	30
Liitteet	32
Liite 1: Turbiinin höyryn ominaisuuksien ohjearvot kestotoiminnassa.....	32
Liite 2: Turbiinin höyryn ominaisuuksien ohjearvot käynnistettäessä	33
Liite 3: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva ennen laitoksen käynnistymistä, 15.4.2010.....	34
Liite 4: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva 2 min käynnin jälkeen, 15.4.2010.....	35
Liite 5: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva 3 min käynnin jälkeen, 15.4.2010.....	36
Liite 6: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva 12 min käynnin jälkeen, 15.4.2010.....	37
Liite 7: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva 54 min käynnin jälkeen, 15.4.2010.....	38
Liite 8: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva jatkuvassa ajossa, 3.5.2010.....	39
Liite 9: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva jatkuvassa ajossa, 3.5.2010.....	40
Liite 10: Vedenkäsittelylaitoksen kytkentävaihtoehto VE0.....	41
Liite 11: Vedenkäsittelylaitoksen kytkentävaihtoehto VE1.....	42
Liite 12: Vedenkäsittelylaitoksen kytkentävaihtoehto VE2.....	43
Liite 13: Vedenkäsittelylaitoksen kytkentävaihtoehto VE3.....	44

Termiluettelo

Antiscalant	Antiscalant-liuosta käytetään käänteisosmoosiyksiköissä kalvojen tukkeutumisen estämiseksi, ehkäisemään saostumia ja veden esipehmennykseen (Vidqvist 2005).
BFB	Bubbling fluidized bed, eli kupliva leijupetikattila. Leijupetikattiloissa kiinteä polttoaine syötetään leijutettavan hiekkapedin päälle. Se soveltuu monenlaisille, myös kosteille ja huonolaatuisille polttoaineille. (Huhtinen ym. 2001, 157.)
Kattilakivi	Kiintoaineiden aiheuttama kerrostuma vesihöyrypiirissä (Huhtinen ym. 2001, 298). Kattilakiveä aiheuttaa veteen liuenneet suolat, magnetiittikerroksesta irtoavat hiukkaset sekä orgaaniset aineet (Laiterä 2006, 33).
Lauhde	Kulutuskohteissa nestemäiseksi lauhtunutta höyryä.
Lisävesi	Vesihöyrykiertojärjestelmään ulkopuolelta tuotava vesi, jolla korvataan laitteiston veden ja höyryn häviöt (SFS-EN 12952-12 2003, 8).
Magnetiitti	Fe_3O_4 , paras tunnettu korroosiosuoja, jota muodostuu hapen ja vapaan raudan reagoissa (Huhtinen ym. 2001, 297).
Raakavesi	Lisäveden valmistuksessa raaka-aineena käytetty vesi.
Syöttövesi	Kattilan sisäänmenoon syötettävä palautetun lauhteen ja lisäveden seos (SFS-EN 12952-12 2003, 8).
Vesihöyrypiiri	Suljettu piiri, jossa vesi ja höyry kiertävät kattilassa ja höyryn kulutuskohteilla. Vettä poistuu ulospuhalluksen sekä vuotojen kautta ja sitä korvataan lisävedellä. (Huhtinen ym. 2001, 7–10, 111–113.)

1 Johdanto

Kokkolan Voima Oy:lle valmistui Ykspihlajan teollisuusalueelle uusi höyrykattila prosessihöyryn tuotantoon talvella 2009. Sen tarvitseman lisäveden valmistus hoidetaan vanhan höyrykattilan yhteydessä olevalla vedenkäsittelylaitoksella. Normaalisissa ajotilanteissa vedenkäsittelylaitoksen kapasiteetti riittää hyvin, mutta joissakin erikoistilanteissa, esimerkiksi kun syöttövedtä tai lauhteita joudutaan ajamaan kanaaliin, on lisäveden riittävyys epävarmaa.

Tältä pohjalta opinnäytetyön aiheeksi sovittiin vedenkäsittelylaitoksen kehittäminen. Myöhemmin tutkimuskohteeksi tarkentui ioninvaihdon korvaaminen sähköisellä ioninvaihdoilla eli elektrodeionisaatiolla. Työn tavoitteena oli selvittää, onko sekavaihtimen korvaaminen EDI-laitteistolla mahdollista ja jos on, mitä sen toteuttaminen vaatisi. Kokonaisuuden kannalta oli kuitenkin perusteltua selvittää vedenkäsittelyä laajemmin kuin ainoastaan ioninvaihdon osalta. Työ rajattiin selvittämään uudistuksia ainoastaan tekniseltä kannalta eikä taloudellisia vaikutuksia käsitelty kuin mainitsemalla muiden tutkimusten ja kokemusten tuloksia.

Tutkimus toteutettiin vertailemalla eri vedenkäsittelytekniikoita teoriassa, haastatteleamalla laitetoimittajien edustajia sekä käyttämällä omia kokemuksia nykyisen vedenkäsittelylaitoksen käytöstä kesätyön ajalta. Tutkimuksessa perehdyttiin syöttöveden vaatimuksiin ja selvitettiin eri käsittelytekniikoiden ominaisuuksia ja epäpuhtauksien poistotehokkuutta. Haasteeksi osoittautui elektrodeionisaatio-tekniikan uutuus ja täsmällisen tiedon puute. Lisäksi saatavilla olevan tiedon puolueettomuus oli kyseenalaista, sillä se oli pääasiassa peräisin laitetoimittajilta.

Kesken opinnäytetyön tekemisen syntyi myös suunnitelma lisäveden tuomisesta Kokkolan Powerin voimalaitokselta höyryn lauhdelinjaa pitkin. Tällöin Kokkolan Voiman vedenkäsittelylaitos mahdollisesti säilöttäisiin tai sen käyttö vähenisi huomattavasti.

2 Energiantuotanto

Energiantuotannossa tuotetaan energiaa eli sähköä ja lämpöä sen kuluttajille. Lämpö voidaan tuottaa höyrynä tai kaukolämpönä. Tässä tapauksessa käsitellään ainoastaan sähkön ja lämmöntuotantoon käytettyjä höyrykattiloita, joiden vedenkäsittelyyn tässä työssä on keskitytty. Lauhdutusvoimalaitoksilla tuotetaan ainoastaan sähköä ja turbiinilta tuleva lauhde jäähdytetään lauhduttimella ympäristöön. Vastapainevoimalaitoksissa turbiinilta tulevalla lauhdeella lämmitetään kaukolämpövettä. Lisäksi lämpövoimalaitoksilla voidaan tuottaa pelkkää lämpöä höyrynä tai lämmittämällä vettä. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 8–15.)

2.1 Höyrykattilan toimintaperiaate

Höyrykattilassa tuotetaan höyryä siihen syötetystä vedestä. Höyryä käytetään yleensä teollisuudessa prosessihöyrynä tai sähköntuotannossa pyörittämässä höyryturbiinin välityksellä generaattoria. Höyrykattilan toiminta perustuu veden ja vesihöyryn kiertoprosessiin, jossa syöttövesi syötetään kattilan vesitilaan ja vesi höyrystetään kattilassa luonnonkierron tai pakkokierron avulla. Tämän jälkeen höyryä tulistetaan ja tulistettu höyry johdetaan turbiiniin tai muuhun käyttökohteeseen. Lopuksi lauhtunut höyry sekoitetaan syöttöveeten. Tätä kiertoa kutsutaan vesihöyrypiiriksi. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 7–10, 111–113.)

Höyrykattiloiden höyrinpaine voi olla erilaisista käyttösovelluksista johtuen yhdestä baarista 240 baariin ja lämpötila jopa 550 °C. Höyrykattilat voidaan jakaa vesihöyrypiirin rakenteen mukaan suurvesitilakattiloihin ja vesiputkikattiloihin. Rakenteensa vuoksi suurvesitilakattiloita ei kannata käyttää kuin matalapainehöyryn ja kaukolämmön tuotantoon. Painetta tai tehoa nostettaessa onkin edullisempaa siirtyä vesiputkirakenteeseen. (Huhtinen ym. 2000, 111–112.) Kattilat voidaan käyttöpaineensa perusteella jakaa matalapaine- (0,5–20 bar), keskipaine- (>20–60 bar), korkeapainekattiloihin (>60–221 bar) ja ylikriittisiin kattiloihin (>221 bar) (SFS-EN 12952-12 2003, 14).

Vesiputkikattiloiden syöttö- ja kattilavedelle on annettu laatuvaatimukset eurooppalaisessa standardissa EN 12952-12:2003 ja sen suomenkielisessä käännöksessä SFS-EN 12952-12 kattilan käytön henkilöstölle, kattilalle ja lähellä sijaitseville rakenneosille aiheuttaman riskin pienentämiseksi. Standardi asettaa vähimmäisvaatimukset vedelle korroosion, lietteen muodostumisen ja kerrostumien syntymisen ehkäisemiseksi, koska ne voivat aiheuttaa vaurioita tai toimintaongelmia kattilalle sekä sen lisälaitteille. Veden laatuvaatimuksia voidaan kuitenkin optimoida termisen hyötysuhteen kasvattamiseksi, laitoksen käytettävyyden ja luotettavuuden parantamiseksi, höyryn laadun parantamiseksi tai kunnossapitokustannusten pienentämiseksi. (SFS-EN 12952-12 2003, 6.) Usein kattilan tai turbiinin valmistaja onkin antanut omat laatuvaatimuksensa syöttöveden ja höyryn laadulle.

2.2 Kokkolan voima

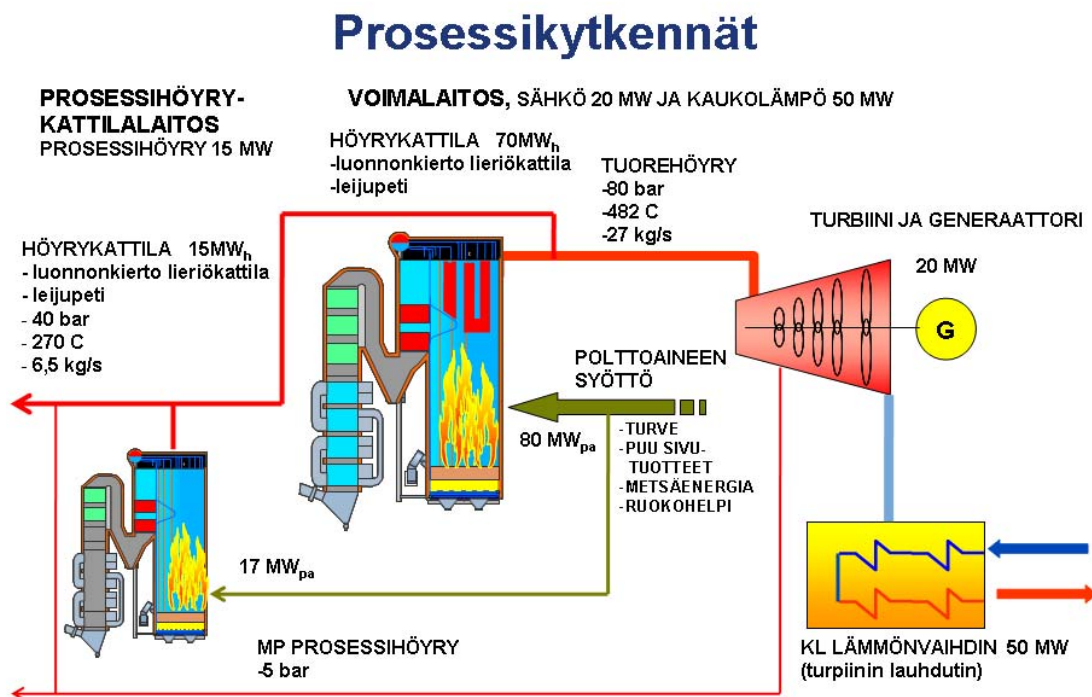
Kokkolan Voima Oy on Pohjolan Voima Oy:n tytäryhtiö, josta Kokkolan kaupunki omistaa Pohjolan Voimassa ne osakkeet, jotka oikeuttavat saamaan Kokkolan Voiman tuottaman energian (prosessihöyry, kaukolämpö ja sähkö). Kokkolan Voima puolestaan myy tuottamansa energian Kokkolan Energialle omakustannehintaan ja Kokkolan Energia jälleenmyy sen asiakkailleen. (Tuliniemi 2009.)

Kokkolan Voimalla on neljä tuotantolaitosta, jotka sijaitsevat Kokkolassa Ykspihlajan suurteollisuusalueella. Kokkolan Voimalla on sähkön ja lämmön yhteistuotantoon tarkoitettu höyrykattila, prosessihöyryn tuotantoon tarkoitettu höyrykattila, rikkihappotehtaan yhteyteen rakennettu prosessilämmöntalteenottoyksikkö ja kaukolämmöntuotantoon tarkoitettu kuumavesikattila.

Sähkön ja lämmön yhteistuotantokattila on BFB-tyyppinen (leijupeti) luonnonkiertolieriökattila, jonka kokonaisteho on 70 MWh, josta 20 MW sähköä ja 50 MW lämpöä. Sen suunniteltu höyrynpaine on 80 bar, lämpötila 482 °C ja höyrystymisnopeus 27 kg/s. Kattila on Kvaerner Powerin vuonna 2001 valmistama. (Tuliniemi 2009.)

Prosessihöyrykattila on myös leijupeti, luonnonkiertolieriökattila, mutta se on teholtaan yhteistuotantokattilaa pienempi eikä sen yhteydessä ole turbiinia sähköntuotantoon. Kattila valmistui talvella 2009 ja sen valmistaja on Putkimaa Oy. Kattilan käyttöpaine

on 40 bar, höyrynlämpötila 270 °C ja höyrystymisnopeus 6,5 kg/s. Kokkolan Voima tuottaa prosessihöyryä Kokkolan suurteollisuusalueen yrityksille. Höyryä voidaan prosessihöyrykattilan lisäksi ottaa myös yhteistuotantokattilan höyrynkierrosta. (Tuliniemi 2009.) Höyrykattiloiden prosessikytkennät on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Kokkolan Voiman kattiloiden prosessikytkennät (Tuliniemi 2009).

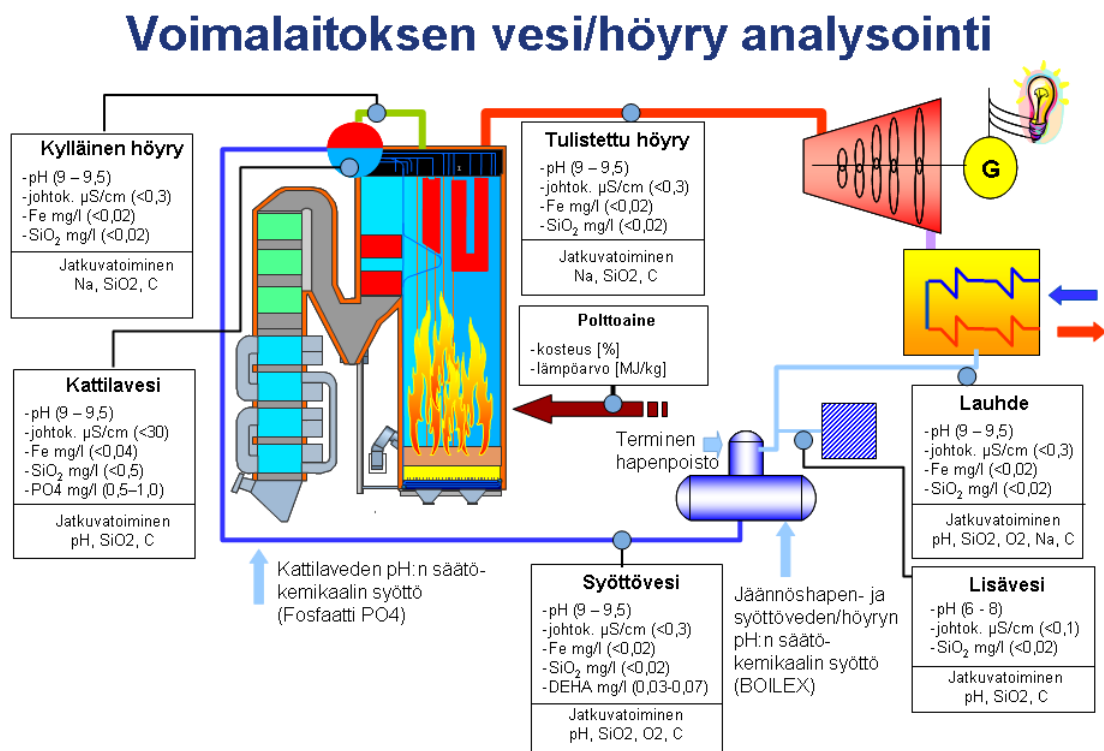
Kaukolämpöä voidaan tuottaa myös lämmittämällä vettä suurteollisuuspuiston rikkihappotehtaan prosessilämmöntalteenoton avulla. Sillä saadaan otettua talteen lämpöä maksimissaan 15 MW teholla prosessissa käytettävistä kaasuista. Kaukolämmön tuottamiseksi kulutushuippujen ja tuotantokatkosten ajaksi on vielä 12 MW öljytoiminen kuumavesikattila. Lisäksi käytössä on kaukolämpöakku, jonne lämmitettyä kaukolämpöä voidaan varastoida noin tunnin tarpeeksi. (Tuliniemi 2009.)

Voimalaitoksen yhteyteen on rakennettu vedenkäsittely laitos, jossa valmistetaan lisä-vettä höyrykattiloille. Raakavetenä laitos käyttää Kokkolan Patamäen vedenpuhdistuslaitoksella puhdistettua Kokkolan kaupungin vesijohtoverkon vettä, josta valmistetaan täyssuolapoistettua lisävetä käyttäen käänteisosmoosia ja ioninvaihtoa. (HOH Separtec Oy 2001.)

3 Syöttövesi ja sen erikoisvaatimukset

Voimalaitoksen vesihöyrypiirin syöttövedelle on asetettu lukuisia vaatimuksia, joilla vaikutetaan kattilan ja turbiinin kuntoon sekä käyttöikään. Luonnonvedet tai edes puhdistettu vesijohtoverkoston vesi ei siis sellaisenaan sovellu kattilan syöttövedeksi, vaan sitä täytyy ensin käsitellä. Veden laatuvaatimukset riippuvat kattilan rakenteesta, käyttöpainesta ja -tavasta, kattilan suurimmasta paikallisesta lämpökuormasta sekä höyryn käyttötarkoituksesta (Huhtinen ym. 2000, 298).

Laatuvaatimuksissa mitattavia ominaisuuksia ovat veden pH, konduktiivisuus, kovuus, alkaliteetti, KMnO_4 -kulutus, eri metallien pitoisuus ja PO_4 -pitoisuus. Vesihöyrykierrossa on yleensä useassa kohdassa jatkuvatoimisia analysaattoreita, joilla veden tai höyryn ominaisuuksia mitataan. Lisäksi tärkeimmät ominaisuudet on mitattava erikseen laboratorioanalyysillä. (Huhtinen ym. 2000, 298–301.) Kuviossa 2 on esitetty Kokkolan Voiman kattila 1:n vesihöyrypiiri, mitattavia ominaisuuksia ja niiden raja-arvoja.



Kuvio 2. Vesihöyrykierron mittaukset (Tuliniemi 2009).

Laiterän (2006, 32) mukaan vakavimmat huonolaatuisesta syöttövedestä aiheutuvat ongelmat ovat korroosio ja kattilakiven muodostuminen. Syöttöveden käsittelyllä vaikutetaan magnetiitti- tai muun suojaavan oksidikerroksen muodostumiseen, korroosion minimoimiseen pH-arvoa optimoimalla, kovuuden tasapainottamiseen ja kattilakiven synnyn minimoimiseen, kemialliseen hapenpoistoon sekä metallipintoja suojaavien pinnoitteiden kehittämiseen (SFS-EN 12952-12 2003, 10).

Kattilalaitosten vedenkäsittelyyn kuuluu lisäveden valmistus, kaasunpoisto, kemikaalien annostelu, kattilan ulospuhallus ja lauhdeiden puhdistus. Lisäveden valmistus aloitetaan veden puhdistuksella. Siinä oleellista on se, minkälaista vettä käytetään raaka-aineena. Raakavesi voidaan ottaa joesta, järvestä tai jossakin tapauksessa vesijohtoverkosta. Myös merivettä voidaan käyttää, mutta sen suolapitoisuus on yleensä niin korkea, ettei syöttövetä kannata valmistaa siitä. (Huhtinen ym. 2000, 297–300.) Käänteisosmoosi- ja kalvotekniikan kehitys on kuitenkin parantanut meriveden puhdistuksen kannattavuutta.

Valitusta raakavedestä poistetaan ensin mekaanisesti kaikki karkeat epäpuhtaudet (hiukkaskoko $>10^{-4}$ mm). Seuraavaksi poistetaan kolloidiset epäpuhtaudet (10^{-4} - 10^{-6} mm) kuten humus flokkaamalla ja selkeyttämällä tai suodattamalla. Lopuksi poistetaan vielä liuenneet epäpuhtaudet (10^{-6} - 10^{-8} mm), kuten kovuutta aiheuttavat suolat ja liuenneet kaasut, käyttämällä kemiallista käsittelyä. (Huhtinen ym. 2000, 297.)

Veden kovuuden aiheuttaa pääasiassa kalsium- ja magnesiumsuolojen yhdisteet. Ohimenevän eli karbonaattikovuuden aiheuttaa magnesium- ja kalsiumkarbonaatit ja pysyvän- eli mineraalikovuuden puolestaan magnesium- ja kalsiumkloridit ja -sulfaatit. Kokonaiskovuus on karbonaattikovuuden ja mineraalikovuuden yhteismäärä, joka ilmoitetaan kemiassa magnesium- ja kalsiumionien summana, $\text{mmol}(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{kg}$. Yleisemmin käytössä oleva yksikkö on kuitenkin saksalainen kovuusyksikkö °dH. (Huhtinen ym. 2000, 298.) Veden kovuuden poistolla tarkoitetaan karbonaattikovuuden poistoa, joka yleensä riittää alle 60 bar:n käyttöpaineelle. Kovuutta poistetaan termisesti hajottamalla karbonaattikovuutta tai kemiallisesti lisäämällä veteen alkaleja, kalkkia, soodaa tai trinitriumfosfaattia. Kovuudenpoistossa veden kokonaissuolapitoisuus ei vähene. (Huhtinen ym. 2000, 302–303.)

Yli 60 bar:n käyttöpainella pelkkä veden pehmenys ei enää riitä, vaan tarvitaan täyssuolanpoistoa (Huhtinen ym. 2000, 303). Yleensä täyssuolanpoisto hoidetaan käänteisosmoosilla ja ioninvaihdolla, mutta lisäksi uusina tekniikoina käytetään myös elektrodialyysiä ja elektrodeionisaatiota (Kaasalainen 2007, 8).

Kiinteiden epäpuhtauksien lisäksi syöttövedestä poistetaan siihen liuenneita kaasuja, kuten CO₂ ja O₂. Jos veden karbonaattikovuus on suuri, on ioninvaihdinsarjan keskellä usein CO₂-poistotorni pienentämässä vaihtimien kuormaa. Suomessa karbonaattikovuus ei ole ongelma, joten CO₂-poistotornia ei yleensä tässä vaiheessa tarvita. (Huhtinen ym. 2000, 305.) Kaasuja voi kuitenkin liueta veteen useassa kohdassa kattilan vesihöyrypiiriä, ja niitä poistetaan kiertovedestä kemikaalien käytön vähentämiseksi. Ehkä yleisin kaasunpoistopiste vesikierrossa on syöttövesisäiliön yläosa, johon on rakennettu termien kaasunpoistotorni. Siinä vesi valuu tornin yläosasta ja sen alaosaan johdetaan höyryä. (Huhtinen ym. 2000, 305.) Lisäksi ilmaa ja kaasuja poistetaan usein lauhduttimen yhteydessä, koska se on alipaineensa vuoksi herkkä imemään ilmaa vesikierron joukkoon (Kaasalainen 2007, 23).

Lisäveden käsittelyn jälkeen syöttöveden laatuvaatimukset täytetään muokkaamalla sen ominaisuuksia erilaisilla kemikaaleilla. Kattilaveden käsittelylle on useita erilaisia ohjelmia erilaisesta kattilan rakenteesta, -käyttöpainesta ja -ajotavasta johtuen. Nykyisin suosituimpia vedenkäsittelyohjelmia voimalaitoskattiloissa ovat erityyppiset fosfaattikemiat, polymeerikemia, AVT (all-volatile treatment) ja hapetusmenetelmä. Näistä fosfaattikemian eri versiot ovat yleisimmin käytettyjä lieriökattiloissa. (Kaasalainen 2007, 26.)

”Tavoitteena kattilavesikemikaaleilla on pitää pH sekä syöttövedessä, kattilavedessä, höyryssä että lauhhteessa tarvittavan korkealla korroosion pienentämiseksi. Samalla kemikaalien tulisi reagoida jäännöshapen kanssa, suojata magnetiittikerrosta tai edesauttaa sen muodostumista lisäämättä suolapitoisuutta. Lisäksi niiden pitää olla terveydelle vaarattomia, ja niiden hajoamistuotteiden ei tule aiheuttaa lisäongelmia.” (Vidqvist 2008, 26.)

Syöttöveden laadulle siis riittää vaatimuksia, joten sen käsittelyyn tarvitaan usein kolme tai useampaa eri kemikaalia. Näilläkään ei välttämättä löydetä täydellistä ratkaisua, jolloin vaihtoehtoista on valittava paras. (Vidqvist 2008, 26.)

Lisäveden käsittelyllä ei saada poistettua kaikkea siihen liuennutta happea. Lisäksi vesihöyrykierron vuotokohdista voi päästä lisää happea veteen. Niinpä veden käsittelyn täydentämiseksi käytetään hapenpoistokemikaaleja, tavallisimmin hydratsiinia (N_2H_4) tai jotain sen johdannaista. Koska hydratsiini on luokiteltu vaaralliseksi yhdisteeksi, on sille kehitetty korvaavia kemikaaleja. (Kaasalainen 2007, 25–26.) Näitä korvaavia kemikaaleja ovat muun muassa natriumsulfiitti, DEHA (dietyylihydroksyyliamiini), hydrokinoni, karbohyratsidi ja MEKO (metyylietyyliketoksiini) (Vidqvist 2008, 28).

Myös vedenkäsittelystä jäänyttä tai vesihöyrykierrossa syntynyttä kovuutta poistetaan kovuudenpoistokemikaaleilla. Erityisesti lieriökattiloissa käytetään fosfaattia saostamaan kalsiumia ja magnesiumia hienoksi lietteeksi, joka poistetaan kattilavedestä lieriöstä jatkuvalla ulospuhalluksella. (Huhtinen ym. 2000, 306–307.) Fosfaatin sijasta voidaan käyttää matalissa paineissa (5–15 bar) karbonaattikemialia, jossa veteen syötetään lipeää ja natriumkarbonaattia. Tällöin kalsium saadaan saostumaan kalsiumkarbonaatiksi eikä herkästi kattilan seinämiin tarttuvaksi kalsiumsulfaatiksi. (Vidqvist 2007, 50.)

Korroosion estämiseksi on veden pH:n kontrollointi hyvin tärkeää. Veden pH-arvo riippuu vesihöyrypiirissä käytetyistä materiaaleista ja veden happipitoisuudesta. Veden pH on käytännössä aina emäksisen puolella, ja se voi vaihdella erilaisten ajo-ohjeiden mukaisesti 7-10 välillä. (Kaasalainen 2007, 21–22.) Veden pH-arvon nostaminen eli alkalointi ei kuitenkaan saa nostaa pH-arvoa liikaa, sillä emäksinen vesi on altis kuohumaan. Alkalointikemikaaleina voidaan käyttää esimerkiksi ammoniakkaa, sykloheksylamiinia, morfoliinia, butanolamiinia, amiinometyylipropanolia ja joissakin tapauksissa natriumhydroksidia. (Huhtinen ym. 2000, 307.) Alkalointikemikaalien käytössä on otettava huomioon, että esimerkiksi osa hapenpoistokemikaaleista hajoaa lämpötilan sekä paineen noustessa, jolloin hajoamistuotteet nostavat lauhteen pH:ta. Koska höyrykattiloissa käytettävät kemikaalit ovat yleensä yhdistelmäkemikaaleja, pitäisi niitä käytettäessä selvittää niiden kokonaisvaikutukset syöttövedelle, kattilalle, höyrylle, lauhteelle ja ympäristölle. (Vidqvist 2008, 28–29.)

Lieriökattiloissa olennainen osa vedenkäsittelyä on ulospuhallus. Kun syöttövettä höyrystetään kattilassa, se johdetaan lieriöön höyryn ja veden erottamiseksi ennen höyryn kulkua tulistimiin. Lieriössä veden ja höyryn erottuessa rikastuvat syöttöveden mukana tulleet epäpuhtaudet lieriöön, josta ne voidaan poistaa ulospuhalluksella. (Huhtinen ym. 2000, 114.) Vedenkäsittelykemikaaleista juuri fosfaatin tarkoitus on saostaa kalsium- ja magnesiumioneja lietteeksi, joka saadaan poistettua ulospuhalluksella.

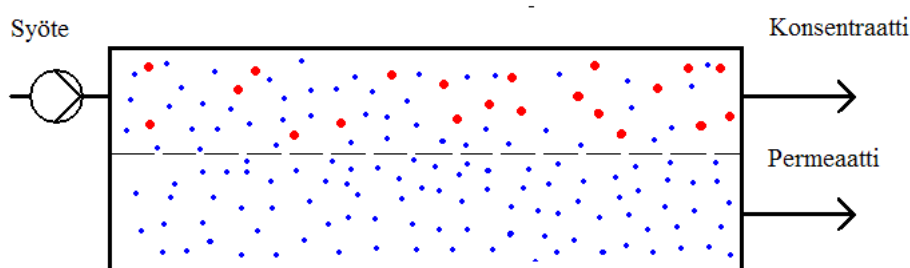
Vedenkäsittelyn viimeisenä vaiheena on lauhteiden puhdistus ennen niiden johtamista syöttövesisäiliöön. Vaikka syöttövesi onkin jo puhdistettu ennen syöttöä kattilaan, lauhteeseen pääsee epäpuhtauksia vesihöyrykierrossa. Epäpuhtauksia ovat kovuutta aiheuttavat ionit, ruoste, rasvat ja öljyt. Näitä epäpuhtauksia pääsee veteen esimerkiksi vuotavista lämmönvaihtimista, pumpuista ja laipoista sekä vesihöyrykierron putkistosta. Lauhteenpuhdistuksessa oleellisinta on saada poistettua kiinteät epäpuhtaudet ja metallit, koska kaasunpoisto ja kemikaalien syöttö sijaitsevat kierrossa usein lauhteiden puhdistuksen ja kattilan välissä. Lauhteiden puhdistuksessa käytetään hiekkasuodattimia, aktiivihiekkasuodattimia, kynttiläsuodattimia, sähkömagneettisia suodattimia sekä ioninvaihtimia. Lauhteen puhdistuksen tarkoituksena on poistaa vedestä korroosiotuotteet, puhdistaa teollisuuden ja kaukolämpökeskusten lauhteet, poistaa lauhdutin- ja lämmönvaihdinvuotojen epäpuhtaudet sekä nopeuttaa prosessin puhdistumista uuden kattilan käyttöönotossa tai huoltotöiden jälkeen. Myös laitoksen ylös- ja alasajo aiheuttavat epäpuhtauksien liikkeellelähtöä. (Huhtinen ym. 2000, 308.)

4 Syöttöveden käsittelytekniikat

Syöttöveden käsittelytekniikoilla tarkoitetaan tässä tapauksessa niitä yksikköprosesseja, joita veden käsittelyssä käytetään tai suunnitellaan käytettäväksi Kokkolan Voimalla. Niitä ovat käänteisosmoosi (RO), ioninvaihto, elektrodialyysi (ED), elektrodeionisaatio (EDI) ja terminen kaasunpoisto.

4.1 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosi (Reversis Osmose) on luonnossa yleisesti esiintyvän osmoosin käänteisreaktio. ”Osmoosi on ilmiö, jossa liuotin kulkee puoliläpäisevän kalvon läpi laimeammasta liuksesta väkevämpään. Osmoottinen paine on paine, millä väkevämpää liuosta on puristettava, jotta osmoosi pysähtyisi.” (Laitinen & Toivonen 2004, 152.) Käänteisosmoosissa väkevään liukseen synnytetään osmoottista painetta suurempi paine, joka saa aikaan virtauksen väkevämmästä liuksesta puoliläpäisevän kalvon läpi laimeampaan. Puoliläpäisevä kalvo läpäisee puhtaan veden, mutta ei sen sisältämiä epäpuhtauksia. Käänteisosmoosin periaate on esitetty kuviossa 3. Raakavettä syötetään laitteistoon, jossa puhdistunut vesiliuos (permeaatti) kulkeutuu kalvon läpi ja epäpuhtauksilla rikastunut vesi (konsentraatti tai rejekti) kulkeutuu viemäriin. (Pihkala 1998, 16.) Käänteisosmoosi on eräs kalvosuodatuksen sovellus.



Kuvio 3. Periaatekuva käänteisosmoosista.

Nykyisin käänteisosmoosi on yleisesti käytetty vedenkäsittelytekniikka, joka on jo monin paikoin korvannut ioninvaihtotekniikan. RO-laitteiston toiminnan ja syöttöveden laadun takia tarvitaan kuitenkin sekä esi- että jälkikäsittelyä. Esikäsittelyn tarkoituksena on estää kalvojen likaantuminen ja tukkeutuminen sekä kalvoille haitallisten hapettavien

aineiden poisto. Esikäsittelynä käytetään raakavedestä riippuen erilaisia suodatuksia, kemikaalin syöttöä kloorin poistamiseksi, pH:n säätöä ja antiscalant-aineen käyttöä kovuusulojen saostumisen estämiseksi. (Vidqvist 2005, 43–44.) Käänteisosmoosin esikäsittelynä käytetään jossain tapauksessa myös veden pehmennystä (HOH Sepertec 2010). Kokkolan Voiman käänteisosmoosikoneikko on esitetty kuviossa 4.



Kuvio 4. Kokkolan Voiman RO-koneikko.

RO-kalvojen suolanpoistoprosentti vaihtelee välillä 98–99,5 % johtuen kalvotyypistä ja valmistajasta. Tämä ei kuitenkaan välttämättä riitä täyttämään syöttövedelle asetettuja laatuvaatimuksia, joten suolojen täydelliseksi poistamiseksi saatetaan käyttää ioninvaihtoa, joko sekavaihdinta tai anionin- ja kationinvaihdinta tai sähköistä ioninvaihtoa eli EDI-tekniikkaa. (Vidqvist 2005, 41–45.)

Käänteisosmoosia pidetään kemikaalittomana suolanpoistomenetelmänä ja sitä käytettäessä selvittääinkin yleensä pienellä kemikaalientarpeella. Käytön aikana käytetään kemikaaleja pH:n säätämiseen ja antiscalantia estämään kalvojen tukkeutumista epäpuhtauksista. Kalvojen pesuun tarvitaan kemikaaleja, kun painehäviö kasvaa tai virtaus pienenee yli laitteiston valmistajan antamien raja-arvojen. Lisäaineina pesussa käytetään kelatoivia aineita tai pinta-aktiivisia aineita sitomaan epäpuhtauksia. (Vidqvist 2005, 45.) Kokkolan Voimalla käytössä olevan HOH Separtec Oy:n laitteiston ohjeiden mukaan pesussa käytetään emäksistä NaOH-EDTA-seosta orgaanisten epäpuhtauksien poistoon ja suola-, sitruuna- tai oksaalihappoa epäorgaanisten suolojen ja metallioksididi-

en poistoon. Kokkolan Voimalla laitteiston pesun suorittaa sen toimittaja HOH Separtec Oy neljä kertaa vuodessa tai tarvittaessa useammin, jopa kuukauden välein. Käänteisosmoosikoneen spiraalikalvotyypiset suodatinpatruunat vaihdetaan 1. vaiheesta 1–2 kertaa vuodessa ja 2. vaiheesta tarvittaessa.

4.2 Ioninvaihto

Ioninvaihto on perinteinen täyssuolanpoistossa käytetty menetelmä, jota kalvotekniikan kehittymisen myötä on korvattu ainakin osittain käänteisosmoosilla. Ioninvaihtoa voidaan käyttää täyssuolanpoistossa, kun raakavettä on esikäsitelty poistamalla siitä karkeat epäpuhtaudet. Perinteisesti ioninvaihto toteutettiin ioninvaihdinsarjalla, jossa on useampi kationin- ja anioninvaihdin sarjaankytkettynä. Käytettäessä ioninvaihtoa RO:n täydentämisenä riittää usein yksi sekavaihdin (Mixed Bed). Ioninvaihtimien ioninvaihtomassa täytyy kuitenkin elvyttää säännöllisesti tai vaihtaa se sen menetettyä tehonsa. Siksi vaihdinsarjoja tai vaihtimia on usein kaksi tai useampia rinnakkain, joita vuorotellaan. (Huhtinen ym. 2000, 303–305.)

Kationinvaihtimien toiminta perustuu siihen, että sellaiset veden kovuutta aiheuttavat metalli-ionit kuin Na^+ , Mg^{2+} ja Ca^{2+} vaihdetaan vetyioneihin, H^+ . Kationit, joilla on suurempi varaus, irrottavat heikompi- ja heikompivarauksisia ioneja ioninvaihtohartsista ja tarttuvat niiden tilalle. Kun vahvavarauksiset kationit ovat syrjäyttäneet liikaa heikompi- ja heikompivarauksisia kationeja hartsista, niitä alkaa kulkeutua vaihtimen läpi ja vaihdin on elvytettävä. Kationinvaihtimet elvytetään rikkihappo (H_2SO_4)- tai suolahappo (HCl)-liuoksilla myötä- tai vastavirtaan. (Huhtinen ym. 2000, 303–304.) Matalapaineisille kattiloille, joille riittää täyssuolanpoiston sijasta pelkkä vedenpehmennys, voidaan Ca- ja Mg-ionien tilalle vaihtaa Na-ioneja. Tällöin veden kovuus vähenee, mutta veteen jää suoloja, jotka paineen noustessa aiheuttaisivat ongelmia. (Pihkala 2003, 115.) Kationinvaihtoreaktio on esitetty reaktioyhtälö 1:ssä, jossa R esittää polymeeristä ioninvaihtohartsia. Elvytys tapahtuu reaktioyhtälö 1:n käänteisreaktiolla vahvalla hapolla elvytettäessä.



Anioninvaihtimien toiminta perustuu negatiivisesti varautuneiden epämetalli-ionien, kuten kloridi Cl^- ja sulfaatti SO_4^{2-} , vaihtamiseen hydroksyyli-ioneiksi OH^- . Anioninvaihtimet elvytetään yleensä natriumhydroksidilla (NaOH), jolloin OH^- -ionit syrjäyttävät ioninvaihtomassaan kiinnittyneet kloridit, sulfaatit, piioksidit yms. Jos vedessä on paljon karbonaattikovuutta, voidaan ioninvaihdinsarjaan ennen vahvaa anioninvaihdinta kytkeä CO_2 -poistin, jolla anioninvaihtimen kuormaa saadaan kevennettyä. Suomalaisissa luonnonvesissä karbonaattikovuutta on kuitenkin yleensä niin vähän, ettei CO_2 -poistinta tarvita. (Huhtinen ym. 2000, 304–305.) Anioninvaihtoreaktio on esitetty reaktioyhtälö 2:ssä. Elvytys suoritetaan yleensä vahvalla natriumhydroksidilla reaktion 2 käänteisreaktion mukaisesti.



Kationin- ja anioninvaihtimia on perinteisesti käytetty sarjassa veden täyssuolanpoistossa, mutta niistä edelleen kehitettynä systeeminä on sekaioninvaihdin, jota käytetään pääasiassa lisäpuhdistimena ioninvaihdinsarjasta tai käänteisosmoosista tulevalle vedelle. Sekaioninvaihtimessa eli ns. Mixed bed -vaihtimessa vahvat kationin- ja anioninvaihtohartsit ovat sekoittuneena samassa säiliössä. (Kaasalainen 2007, 10.) Sekavaihtimien hankaluutena on niiden vaikea elvytettävyyys. Elvytettäessä kationin- ja anioninvaihdinhartsit on saatava erikseen elvytyksen ajaksi, jonka jälkeen ne on taas sekoitettava ennen käyttöönottoa. (Pihkala 2003, 114.) Usein myös vaihtimen kapasiteetin loppuessa niiden käytetty massa vaihdetaan manuaalisesti ja toimitetaan elvytettäväksi sen toimittajalle.



Kuvio 4. Kokkolan Voiman sekaioninvaihtimet.

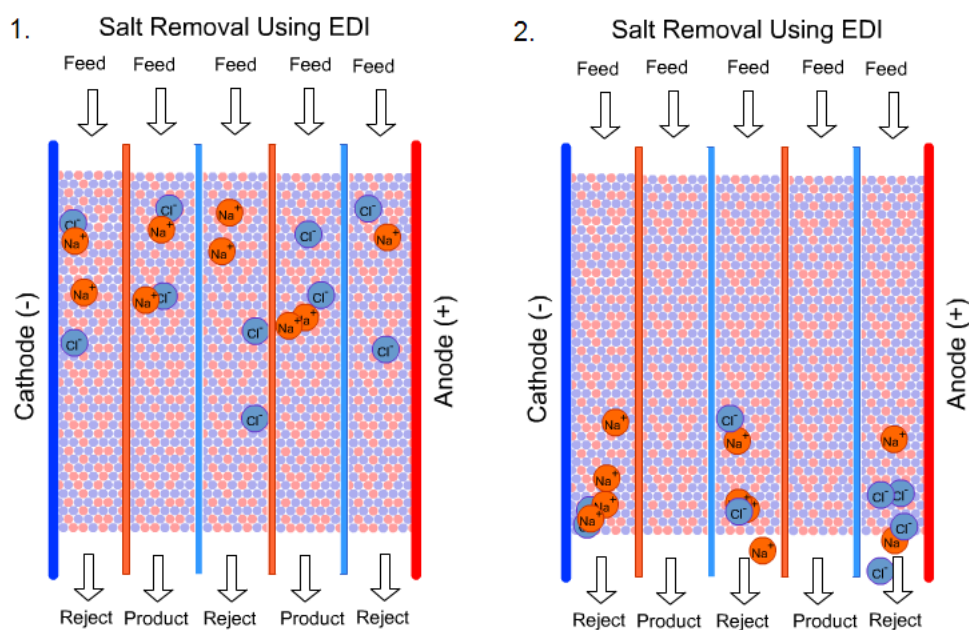
4.3 Elektrodialyysi

Yksi uusista vedenkäsittelyn sovelluksista on elektrodialyysi (ED). Se perustuu käänteisosmoosin tavoin kalvotekniikkaan, mutta siinä epäpuhtauksien poisto perustuu korkean paineen sijasta anodin (+) ja katodin (-) potentiaalieroon. Elektrodialyysisysteemissä joka toinen kalvo on anodit ja joka toinen kalvo kationit läpäisevä ja vesi syötetään niiden väliin. Kun negatiivisesti varautuneet anionit liikkuvat anodia ja positiivisesti varautuneet kationit katodia kohti, jäävät ionit kalvojen väliin. Näin joka toisesta välistä saadaan puhdistettua ionitonta vettä eli permeaattia ja joka toisesta välistä ioneista rikastunutta rejektiä. Tarvittavan vedenlaadun mukaan kalvoja voidaan joko lisätä tai vähentää, mutta parhaimmillaan elektrodialyysillä voidaan poistaa 85 % siihen liuenneista kiintoaineista. Eräs elektrodialyysin sovelluksista on käänteinen elektrodialyysi

(EDR), jossa sähkövarauksen napaisuutta vaihdellaan säännöllisin väliajoin. Tällä pyritään estämään kalvojen likaantumista ja kerrostumien muodostumista. (Kaasalainen 2007, 18–19.) Elektrodialyyysi soveltuu hyvin liuenneiden ionien, kuten kalsiumin, magnesiumin, raudan, ammoniumin ja nitraattien poistoon, mutta se ei ole tehokas varautumattomien aineiden, kuten silikaattien, ammoniakkin ja hiilidioksidin poistossa (Judd & Jefferson 2003, 96).

4.4 Elektrodeionisaatio

Elektrodeionisaatio (EDI) on hyvin pitkälti elektrodialyyysin kaltainen prosessi. Elektrodeionisaatiota on kehitetty elektrodialyyysistä lisäämällä kalvojen väliin anionin- ja kationinvaihtohartsia. Ioninvaihtohartsin lisäyksellä saadaan parannettua elektrodialyyysin puutteita ioninpoistossa ja silikaattien poistossa. EDI-laitteistossa ei tarvita myöskään perinteisessä ioninvaihdossa käytettäviä elvytyskemikaaleja, koska sähkökenttä vapauttaa veteen hydroksidi- ja vetyioneja jotka kulkeutuvat kalvojen läpi katodia ja anodia kohti elvyttämään ioninvaihtohartsia. Elektrodeionisaatiolaitteisto on kohtalaisen herkkä kiinteille epäpuhtauksille, joten sen syöttövedestä pitäisi poistaa liettyneet kiintoaineet. Yhdistämällä käänteisosmoosilaitteisto ja elektrodeionisaatiolaitteisto voidaan saada erittäin puhdasta vettä ilman kemikaaleja. (Kaasalainen 2007, 19–20.)



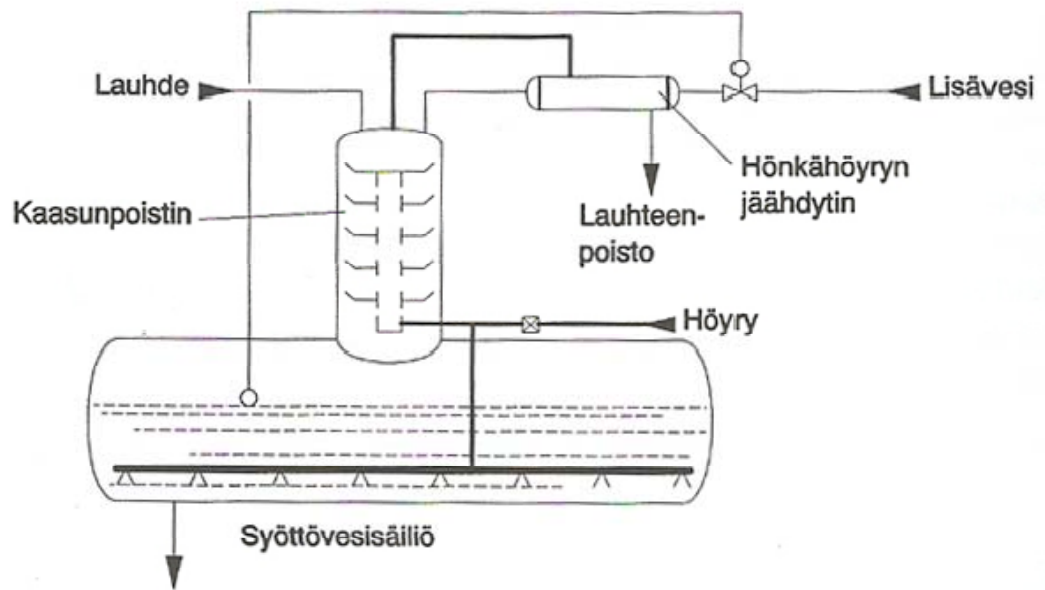
Kuvio 5. Elektrodeionisaation toimintaperiaate (Eurowater 2010).

EDI-laitteistojen suomalaiset jälleenmyyjät HOH Separtec Oy ja Hyxo Oy suosittelevat elektrodeionisaatiota erityisesti RO-laitteen jälkeen korvaamaan sekaioninvaihdinta. Laitteen etuina mainostetaan kemikaalittomuutta, vähäistä huoltotarvetta, jatkuvatoimisuutta ja vähäistä esikäsitelystä- sekä tilantarvetta. (HOH Separtec Oy 2010; Eurowater 2010.) EDI-laitteistot myydään yleensä standardilaitteina ja kokonaisina paketteina. Uutta vedenkäsittelylaitosta rakennettaessa pyritään myymään kokonaisuuksia, joissa on yhdistetty esimerkiksi RO- ja EDI-laitteisto, jolla pyritään varmistamaan vedenkäsittelyn onnistuminen. (Lempiäinen 2010.)

HOH Separtecin toimittamissa laitteistoissa on koneiston pesumahdollisuudet, jotka useista ensimmäisen sukupolven laitteistoista puuttuivat. Normaalisti EDI-laitteessa on pesusekvenssi, jota käytetään harvoin, esimerkiksi kerran vuodessa laitoksen seisokin tai huoltotöiden aikana. Pesusekvenssiä on mahdollista käyttää myös tarvittaessa, esimerkiksi RO-koneikon mahdollisten kovuusvuotojen jälkeen. (Lempiäinen 2010.)

4.5 Terminen kaasunpoisto

Voimalaitoksilla käytettävässä raakavedessä on liuenneena kaasuja, kuten hiilidioksidia (CO_2) ja happea (O_2). Lisäksi vesihöyrykierron vuotojen takia voi veteen liueta kaasuja myös kierron aikana, joten pelkkä raakaveden kaasunpoisto ei riitä. Yleensä, ja niin myös Kokkolan Voimalla, rakennetaan syöttövesisäiliön päälle kaasunpoistin, johon syötetään sekä lisävesi että johdetaan lauhteet. Kaasunpoistin on rakenteeltaan tornimainen, johon on asennettu välipohjia hajauttamaan virtausten kulkua. Syöttövesi syötetään kaasunpoistimeen sen yläosasta ja kaasunpoistohöyry johdetaan tornin alaosaan. Kaasunpoiston onnistumisen kannalta oleellisinta on saada vesi lämmitettyä mahdollisimman nopeasti kiehumispisteeseen, saada vesi pysymään kiehumispisteessä ja saada vesi jakaantumaan mahdollisimman pieninä pisaroina tasaisesti koko tornin alalle. Terminen kaasunpoisto perustuu siihen, että kaasujen liukeneminen veteen riippuu sekä lämpötilasta että paineesta ja veden kiehumispisteessä liukenemista ei tapahdu, joten höyryn avulla kaasut saadaan keitettyä vedestä pois. (Huhtinen ym. 2000, 305–306.)



Kuvio 6. Syöttövesisäiliö, jonka päällä kaasunpoistotorni (Huhtinen ym. 2000, 306).

4.6 Lauhteiden käsittely

Kun vesihöyrykiertoon syötettävä lisävesi on jo kertaalleen puhdistettu, voidaan usein loput syöttövedessä olevat epäpuhtaudet poistaa ulospuhalluksen avulla. Lauhteiden puhdistus on usein tarpeen teollisuuden prosessihöyryä tuottavissa voimalaitoksissa, kaukolämpöä tuottavissa voimalaitoksissa sekä sellaisissa laitoksissa, joita joudutaan usein ajamaan alas. Virtausten muuttuessa epäpuhtaudet lähtevät helposti liikkeelle. (Huhtinen ym. 2000, 308.)

Yleensä lauhteiden kovuus on pieni, mutta lauhteessa saattaa olla vesihöyrykierrosta tai lämmönvaihtimista irronneita kiinteitä epäpuhtauksia, kuten ruostetta tai kuparia. Lauhteiden joukossa saattaa joissakin tapauksissa olla myös öljyisiä epäpuhtauksia, jolloin saatetaan tarvita suodatinten lisäksi öljynerotin. Kuitenkin yleensä lauhteiden puhdistus hoidatetaan kiinteiden epäpuhtauksien poistolla suodattamalla ja mahdollisesti suolan poistolla ioninvaihdon avulla. Lauhteiden puhdistuksen ioninvaihtimia tarvitsee yleensä elvyttää harvemmin kuin lisäveden valmistuksessa käytettyjä ioninvaihtimia. (Huhtinen ym. 2000, 308.)

5 Sekaioninvaihtimen korvaaminen EDI-laitteistolla

Kokkolan Voimalla on hyvin toimiva vedenkäsittelylaitos lisäveden valmistukseen. Kuitenkin koko laitoksen toiminnan kehittämistä mietittäessä ja kahvipöytäkeskusteluissa on tullut esiin sen kehittäminen ja yksi varteenotettavimmista ehdotuksista on ollut sekaioninvaihtimien korvaaminen sähköisellä ioninvaihhdolla eli elektrodeionisaatiolla. Tällä muutoksella on haettu kustannusten pienenemistä ja työmäärän vähentymistä ioninvaihtohartsien manuaalisen vaihdon loppuessa.

5.1 Nykyinen vedenkäsittely ja sen tarkoitus

Syöttö- ja kattilavedelle on asetettu laatuvaatimukset standardissa SFS-EN 12952-12, mutta kattilavalmistajat asettavat yleensä kattiloidensa kattilavesille omat laatuvaatimukset. Kuitenkin syöttövedelle ja kattilavedelle on asetettu raja-arvot, joiden välissä niiden ominaisuuksien täytyy olla. Kun otetaan huomioon, että vesihöyrykierrossa veteen liukenee ja irtoaa epäpuhtauksia, täytyy lisävedestä tehdä syöttö- ja kattilaveden vaatimuksia parempaa. Näin ulospuhalluksen määrä voidaan pitää mahdollisimman pienenä, jolloin myös lisäveden tarve pienenee.

Syöttöveden tärkeimmät ominaisuudet ovat, ettei se muodosta kattilakiveä eikä syövytä putkistoja. Tämän takia sen pH-arvo pitää säätää lievästi emäksiseksi ja veden kovuus pitää saada erittäin pehmeäksi. Prosessimittauksissa veden kovuuden sijasta mitataan usein sähkönjohtavuutta eli konduktiivisuutta, joka on likimain verrannollinen sen kovuuteen. (Huhtinen ym. 2000, 297–299.)

Taulukko 1: Syöttöveden laatuvaatimukset

	Kokkolan Voima	SFS-standardi	Yksikkö
pH	8,8–9,8	>9,2	—
C	0,2 ¹⁾	0,2	μS/cm
SiO ₂	20	20	μS/cm
O ₂	10	15	μg/l

1) Turbiinintoimittajan ohjearvo kestotoiminnalle. Kattilavalmistaja sallii huonompilaatuisemman veden käytön. Turbiininvalmistajan ohjearvot käyttö- ja käynnistystoiminnalle liitteissä 1 ja 2.

Kokkolan vesijohtoverkoston vesi on luokittelultaan keskikovaa, kovuus noin 1,3 mmol/l, ja sen pH on n. 8,1 - 8,2 (Kokkolan Vesi 2010). Vedenkäsittelyssä sen kovuus poistetaan ja syöttöveden kokonaiskovuus saa olla vain 0,005 mmol/l (SFS-EN 12952-12 2003, 12). Kovuudenpoiston yhteydessä myös pH laskee neutraaliksi tai jopa lievästi happamaksi, joten pH:ta säädellään kemikaalien syötöllä. Vedenkäsittelyssä raakaveteenä käytettävästä vesijohtoverkoston vedestä valmistetaan vähintään taulukossa 1 esitettyjen vaatimusten mukaista lisävetä.

Kokkolan Voiman nykyiseen vedenkäsittelylaitokseen kuuluu kaksivaiheinen käänteisosmoosikoneikko sekä kaksi vuorottelevaa sekaioninvaihdinta. Lisäksi käytetään kemikaaleja vedenkäsittelyn apuaineina ja syöttöveden ominaisuuksien säädössä. Laitos on automatisoitu niin, että se käynnistyy ja pysähtyy automaattisesti lisävesisäiliön pinnan mukaan. (HOH Separtec Oy 2001.)

Korvaamalla sekaioninvaihdin elektrodeionisaatiolaitteistolla, vältetään ioninvaihtohartsin elvytykseltä tai vaihdolta ja näin säästetään kustannuksissa. EDI-laitteiston etuina ioninvaihtimeen on kemikaalittomuus, vähäisempi huoltotarve ja jatkuvatoimisuus, jonka avulla veden tasalaatuisuutta voidaan parantaa. (HOH Separtec Oy 2010.)

Elektrodeionisaatio vaatii ultrapuhtaan veden tuottamiseen raakavettä, joka on laadultaan RO-permeaattivettä tai parempaa. Hoh Separtec Oy:n toimittamien EDI-laitteiden syöttöveden laadulle asetetut vaatimukset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. EDI-laitteiston syöttöveden vaatimukset. (HOH Separtec Oy 2010.)

Johtokyky	<20	µS/cm
pH	4,0 – 11,0	—
Kovuus (CaCO ₃)	<1	mg/l
Silikaatit	<1,0	mg/l
TOC	<0,5	mg/l
Vapaa kloori	<0,05	mg/l
FE, Mn, H ₂ S	<0,01	mg/l
TEA sis. CO ₂	<25	mg/l

Kokkolan Voimalla taulukossa 2 esitetyt vaatimukset täyttyvät käänteisosmoosilaitteiston jälkeen, joten elektrodeionisaation käyttäminen RO:n jälkeen lisäveden valmistuksessa on mahdollista. Elektrodeionisaatiota käyttämällä myös tuoteveden laatu täyttää lisävedelle asetetut vaatimukset. Valmiin lisäveden johtokyvyn tulisi olla $<0,1 \mu\text{S}/\text{cm}$ ja nykyisellä sekaioninvaihtimella se on normaaliajotilanteessa $0,04\text{--}0,09 \mu\text{S}/\text{cm}$. EDI-laitteistojen jälleenmyyjät lupaavat laitteidensa tuoteveden olevan vähintään $<0,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ ja parhaimmillaan $<0,06 \mu\text{S}/\text{cm}$ (HOH Separtec Oy 2010; Eurowater 2010). Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva ja veden ominaisuuksien mittausarvot eri käyttö tilanteissa sekä prosessin eri vaiheissa näkyvät liitteissä 3–9.

EDI-laitteistot ovat yleensä vakiomalleja, joiden kapasiteettia voidaan nostaa yksinkertaisesti kennoja lisäämällä. Tarvittaessa niitä voidaan myös räätälöidä täyttämään erikoisvaatimuksia. (Eurowater 2010.) Niinpä vedenkäsittelyn kapasiteetin mahdollinen nostaminen tulevaisuudessa onnistuu tarvittaessa helposti ja laitteistoa hankittaessa sitä ei tarvitse ylimitoitaa, jolloin säästetään myös kustannuksissa.

5.2 Ioninvaihdon ja EDI-laitteiston tekniset erot

Luvuissa 4.2 ja 4.4 on käsitelty ioninvaihdon ja elektrodeionisaation periaatteet yksityiskohtaisesti, mutta niiden molempien periaatteina on vaihtaa veden pehmennyksessä jäljelle jääneet kationit H^+ -ioneihin ja anionit OH^- -ioneihin. Ioninvaihdossa tämä toteutetaan vaihtamalla ioneja veden ja hartsin välillä ja elvyttämällä hartsi happojen tai emästen avulla kapasiteetin loppuessa (Kaasalainen 2007, 8–9). Elektrodeionisaatiossa puolestaan on yhdistetty kalvotekniikka, elektrodialyysi ja ioninvaihto. Varautuneet epäpuhtaudet kulkeutuvat kalvojen läpi katodia tai anodia kohden rejektiksi. Lisäksi kalvojen välissä on ioninvaihtohartsi, jota elvytetään hajottamalla vesimolekyylejä vety- ja hydroksyyli-ioneiksi. (Kaasalainen 2007, 19–20.)

Perinteisen ioninvaihtimen huonona puolena on sen säännöllinen elvyttämisen tarve tai hartsin vaihtaminen elvytettynä. EDI-laitteisto puolestaan elvyttää itse itsensä, mutta vaatii toimiakseen sähkövirtaa. EDI:n tuoteveden pitäisi olla ioninvaihtimen tuotevettä tasalaatuisempaa, koska sen kapasiteetti ei kulu käytön aikana. EDI-laitteiston tilantarve on myös pienempi kuin ioninvaihtimien.

Laitetoimittaja HOH Separtec Oy:n kokemusten perusteella EDI-laitteistot tulevat pienissä vedenkäsittelylaitoksissa lähes poikkeuksetta perinteistä ioninvaihtoa edullisemmiksi. Ioninvaihdon käyttökulut ovat EDI:ä suuremmat, ja kun EDI-laitteistot ovat käyttökokemusten perusteella osoittautuneet pitkäikäisiksi, maksavat ne perinteistä ioninvaihtoa suuremmat hankintakustannuksensa takaisin. Suuremmissa laitoksissa, joissa kapasiteetti nousee lähelle 100 m³/h, on perinteinen ioninvaihto usein elektrodeionisaatiota edullisempaa. (Lempiäinen 2010.)

EDI-laitteiden nimellinen tuotto on noin 90–95 %, koska 5–10 % siihen syötetystä vedestä johdetaan rejektiksi. Syntyvä rejekti vesi on kuitenkin hyvälaatuista, vaikka ei lisävedeksi kelpaakaan. Siksi se kannattaa mahdollisuuksien mukaan käyttää hyödyksi esimerkiksi RO-koneikon raakavetenä. Rejekti täytyy kuitenkin saada purettua paineetomaan tilaan, joten jos RO:n syöttövesi on paineellista, on rejektin syöttö hankalaa. (Lempiäinen 2010.)

EDI-laitteistot, kuten myös RO-koneikot, on suunniteltu jatkuvaan käyttöön ja niiden seistessä pidempään, esimerkiksi kesän yli, on ne säilöttävä. Laitteistojen käyttöohjeiden mukaan ne on säilöttävä, mikäli ne seisovat yli kolme päivää. Jos säilömistä halutaan välttää, voidaan niitä käyttää ajamalla turhaa ajoa ja johtamalla tuotevesi viemäriin. EDI-laitteistoissa ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, ettei hartsi välttämättä ehdi elpymään kunnolla lyhyessä ajossa. Pidempi säilöntä toteutetaan tyhjentämällä laitteen sisältö, täyttämällä se säilöntäliuoksella ja tulppaamalla se. Säilöntäliuoksena käytetään usein 1-2 % natriummetabisulfiitin vesiliuosta. (Lempiäinen 2010.)

HOH Separtec Oy:n toimittamien E-Cellin elektrodeionisaatio kennojen nimellinen kapasiteetti on 3,4 m³/h. Kennot vaativat toimiakseen tarpeeksi virtausta, joten liika ylitoimitaminen ei ole toimiva ratkaisu. Liian suurella virtauksella kennojen kapasiteetti ei välttämättä riitä, eivätkä lisäveden laatuvaatimukset täyty. Yhdelle kennolle todetut toimivat minimi- ja maksimivirtaukset ovat 2,5–3,6 m³/h. (Lempiäinen 2010.) Kokkolan Voimalla RO-koneikolta tulee vettä ioninvaihtimelle noin 7,2 m³/h kalvojen ollessa puhtaat. Käytön myötä kalvot likaantuvat ja tuotto huonontuu, joten Kokkolan Voimalle voisi riittää 2-kennoinen EDI-laitteisto. Kennojen määrässä täytyy kuitenkin ottaa huomioon myös syötettävän veden laatu, esimerkiksi silikaattipitoisuus. Laitteeseen voidaan jättää tilaa lisäkennoille, jos laitokselle tulee tarvetta nostaa kapasiteettia myöhemmin.

6 Päätelmät

Elektrodeionisaation ja ioninvaihdon vertailu osoittaa, että elektrodeionisaatiosta on tullut merkittävä vaihtoehto perinteisille ioninvaihtimille voimalaitosten lisäveden täys-suolanpoistossa. EDI-laitteistot toimitetaan yleensä valmiina kokonaisuuksina, joiden asennus onnistuu vain kytkemällä laite paikalleen ja toimintaan. Uusia laitoksia rakennettaessa samassa paketissa toimitetaan yleensä myös RO-koneikko tai muu vastaava vedenkäsittelylaitteisto.

Kokemusten perusteella EDI-laitteistoja on suositeltu pieniin ja keskisuuriin vedenkäsittelylaitoksiin. Suurissa laitoksissa perinteinen ioninvaihto voi kuitenkin olla taloudellisempi ratkaisu. Elektrodeionisaatiolaitteistot on myös suunniteltu jatkuvaan käyttöön tasaiselle raakaveden virtaukselle. Jos laitteisto käy vain lyhyitä jaksoja kerrallaan tai virtaaman määrä vaihtelee suuresti, voi elpymisen kanssa tulla ongelmia, jolloin tuotteen laatuvaatimukset eivät täyty. Myös liian pitkät tauot käymisjaksojen välillä voivat tuottaa ongelmia.

Kokkolan Voima Oy:llä tilanne on juuri sellainen, että jos lisävettä aletaan toimittaa Kokkola Power Oy:ltä, vähenee oman vedenkäsittelylaitoksen käyttö ja sen taukoajat pidentyvät. Kun tällä hetkellä käytössä oleva käänteisosmoosikoneikko- sekä ioninvaihdin yhdistelmä on kuitenkin täysin toimiva, kannattaa vedenkäsittelylaitoksen tulevaisuutta ja uusia investointeja harkita kokonaisuutena. Koska ulospuhalluksen määrä Kokkolan Voimalla on voitu pitää pienenä, voidaan päätellä tämänhetkisen vedenkäsittelyn toimineen hyvin.

Jos lisävettä valmistetaan entiseen tapaan itse, sekavaihtimen korvaaminen EDI-laitteistolla todennäköisesti parantaa lisäveden laatua ja on käyttökustannuksiltaan edullisempaa. Jos lisävettä puolestaan otetaan lauhdeverkostosta ja lisävettä tuotetaan omalla laitoksella vain poikkeustapauksessa, sekavaihtimen säilyttäminen on varteenotettava ja täysin toimiva ratkaisu. Nykyinen vedenkäsittelylaitos on esitetty lohkoaviona liitteessä 10. Tässä tapauksessa kannattaa kuitenkin selvittää, onko lauhdeiden käsittelyn lisäämiselle tarvetta ja voidaanko nykyisen vedenkäsittelylaitoksen laitteita käyttää siinä apuna. On mahdollista, että lauhdeiden käsittelyä ei ole tarpeellista lisätä, vaan epäpuhtaudet saadaan poistettua ainoastaan ulospuhallusta ja kemikaalien käyttöä lisäämällä.

Lisäksi vedenkäsittelylaitosta uudistettaessa laitoksella tarvitaan mahdollisesti pieniä putkistomuutoksia. Ainakin EDI-laitteistoa hankittaessa kannattaa selvittää laitteiston konsentraattivesien hyötykäyttömahdollisuudet. Viemärin sijasta konsentraatti on mahdollista käyttää käänteisosmoosin raakavetenä. Tällöin RO-koneikon syöttöpuolelle tarvittaisiin syöttövesisäiliö, jonne konsentraatti voitaisiin purkaa paineettomaan tilaan. Liitteissä 11 ja 12 on esitetty kytkentä vaihtoehdot, jos sekaioninvaihtimet korvataan EDI-laitteistolla. Kytkentävaihtoehtojen ero on konsentraattivesien hyödyntämisessä. Syöttövesisäiliössä voitaisiin myös varmistaa raakaveden tarpeeksi korkea lämpötila. Veden lämmityksessä voitaisiin käyttää sähkövastusta tai sekoittamalla siihen lauhteita, jolloin jo käytettyä vettä saataisiin kierrätettyä. Tällaisella muutoksella saataisiin vähennettyä liian kylmästä raakavedestä johtuvaa käänteisosmoosin tuoton laskua. Tällainen kytkentävaihtoehto on esitetty liitteessä 13.

Muutoksen avulla on myös mahdollista säästää kustannuksissa vähentämällä käytetyn vedenkäsittelyn raakaveden määrää kierrättämällä lauhteita sen joukkoon. Lauhteita pitäisi kuitenkin jäähdyttää, jotta vedenkäsittelyn syöttöveden lämpötila saataisiin matalle 20–30 °C välille. 30 °C:n lämpötilaa ei ole kalvojen kestävyys takia suotavaa ylittää. Lämpötilan lisäksi huomioitavia ominaisuuksia ovat kovuus ja raudan määrä. Ne saadaan kuitenkin poistettua sallitulle tasolle suodattamalla tai viimeisenä vaihtoehtona kovuuden poistimen avulla. Tällaisessa tilanteessa vedenkäsittelylaitos olisi jatkuvassa käytössä, jolloin myös EDI-laitteiston hankinta olisi todennäköisesti kannattava. Muutoksen toteuttaminen vaatisi kuitenkin vielä yksityiskohtaista suunnittelua.

Lähteet

Eurowater 2010. EDI (elektrodeionisaatio). [online] [viitattu 10.3.2010].

<http://www.eurowater.fi/Default.aspx?ID=3121>

HOH Separtec Oy 2010. EDI-laitteet. [online] [viitattu 10.3.2010].

<http://www.hoh.fi/index.php?pageid=3&aid=47&lang=fi>

HOH Separtec Oy 2001. Vedenkäsittelylaitoksen käyttöohjeet.

Huhtinen, Markku; Kettunen, Arto; Nurminen, Pasi & Pakkanen, Heikki 1997. Höyrykattilatekniikka. 2. painos. Helsinki: Oy Edita Ab.

Kaasalainen, Joonas 2007. Voimalaitoksen vedenkäsittelyn uudet menetelmät. Kandidaatintyö. [pdf] Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Lappeenranta.

<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/30957/TMP.objres.718.pdf?sequence=1>

Kokkolan Vesi. [www-sivu]. [viitattu 16.4.2010] Saatavissa:

<https://www.kokkola.fi/asuminen/vesihuolto/>

Judd, Simon & Jefferson, Bruce 2003. Membranes for Industrial Wastewater Recovery and Re-use. Oxford, UK: Elsevier Ltd.

Laitinen, Risto & Toivonen, Jukka 2004. Yleinen ja epäorgaaninen kemia. 16. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Laiterä, Satu 2005. Vesikemia voimalaitosprosessissa. Kunnossapito. [online] [viitattu 14.2.2010]. www.promaint.net/downloader.asp?id=1445&type=1 [Julkaistu painettuna: Kunnossapitoyhdistys ry, 5/2005, 32–34.]

Lempiäinen, Ari, toimitusjohtaja. Puhelinkeskustelu 26.4.2010. HOH Separtec Oy.

Pihkala, Juhani 1998. Prosessitekniikan kokonaisprosessit. Helsinki: Hakapaino Oy.

Pihkala, Juhani 2003. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Kolmas painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

SFS-EN 12952-12. Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 12: Laatuvaatimukset syöttö- ja kattilavedelle. 2006. Suomen standardoimisliitto SFS ry.

Tuliniemi, Veli-Matti 2009. Kokkolan Voima Oy. Yritysesitelmä (Powerpoint).

Vidqvist, Maija 2005. Käänteisosmoosilla puhdasta vettä. Kunnossapito. [online] [viitattu 4.3.2010]. http://www.promaint.net/alltypes.asp?menu_id=500 [Julkaistu painettuna: Kunnossapitoyhdistys ry, 5/2005, 41–45.]

Vidqvist, Maija 2007. Karbonaattikemiasta fosfaattiin – lieriökattiloiden kattilavesiohjearvoja. Kunnossapito. [online] [viitattu 26.2.2010]. www.promaint.net/downloader.asp?id=2347&type=1 [Julkaistu painettuna: Kunnossapitoyhdistys ry, 3/2007, 50-52.]

Vidqvist, Maija 2008. Kattilavesikemikaalit – hydratsiini, ammoniakki vai amiinit? Promaint. [online] [viitattu 26.2.2010]. http://www.promaint.net/alltypes.asp?menu_id=698 [Julkaistu painettuna: Kunnossapitoyhdistys Promaint ry, 2/2008, 26-29.]

Liitteet

Liite 1: Turbiinin höyryn ominaisuuksien ohjearvot kestotoiminnassa

T6227

**Turbosarja
Toiminta**

Ohjearvot kestotoiminnalle

Häiriöttömässä kestotoiminnassa täytyy noudattaa pääasiassa seuraavan taulukon mukaisia ohjearvoja (vastaa VGB-R 450 L - painos 1988) ja tavoitella normaalitoiminta-arvoja. Vain siten voidaan pitkälti välttää turpiinoinnin häiriöitä ja haittoja. Väärinkäsityksien välttämiseksi mainitaan, että myös ohjearvoja noudattamalla ei voida sulkea pois kerrostumien muodostumista turpiineissa. Mm. höyrynpölypuhtausien sekoitussuhde on yksi tärkeä, valittavasti ei vielä lopullisesti selvitetty tekijä. Jos on mahdollisuus vielä parantaa höyrynpölypuhtautta annettuihin ohjearvoihin nähden, pitäisi tavoitella tai alentaa normaalitoiminta-arvoja kestotoiminnalle.

Veden-höyrynkulun jatkuva tarkkailu täytyy tapahtua tuorehöyryn- ja turpiinikondensaatin sähköistä johtokykyä kirjaavalla mittauksella vahvasti happaman kationivaihtajan jälkeen. Suolan sisääntunkeutumisen jälkeen on suoritettava välittömästi huuhtelu kyllästetyllä höyryllä, jotta saadaan turpiiniin saostuneet suolat poistettua.

Parametri	Yksikkö	Ohjearvo ¹⁾	Normaalitoiminta-arvo ²⁾ (kondensaationsvoimalle)
Johtokyky 25°C vahvasti happaman näytteenotto-kationivaihtajan jälkeen, jatkuva mittaus näytteenottokohdassa	µS/cm	< 0,2	0,1
Piihappo (SiO ₂)	mg/kg	< 0,020	0,005
Kokonaisrauta (Fe)	mg/kg	< 0,020	0,005
Kokonaiskupari ³⁾ (Cu)	mg/kg	< 0,003	0,001
Natriumi ⁴⁾ (Na)	mg/kg	< 0,010	0,002

Taulukko 1

Ohje- ja normaalitoiminta-arvoja tuorehöyrykondensaateille ohjeen VGB-R450L mukaisesti häiriöttömälle kestotoiminnalle

- 1) Suosittelemme, että ohjearvot alitetaan normaalitoiminta-arvojen alueelle, jotta vältytään höytysuhteen pienenemiseltä.
- 2) Normaalitoiminta-arvo voidaan saavuttaa ainoastaan jatkuvalla toiminnalla ja kondensaatin suolanpoistolla. Kaikissa muissa tapauksissa on ohjearvo normaalitoiminta-arvo.
- 3) Cu-arvojen valvontaa ei tarvitse tehdä Cu-vapaassa vesi-höyrykiertokulussa.
- 4) Jos ei käytetä ns. kiinteiden aineiden alkalisoitainaineita (NaOH, Na₃PO₄), ei Na-arvoja tarvitse välttämättä valvoa.

Veden-höyrynkierokulun ehdot, alkaalille, neutraalille tai yhdistetylle toiminnalle määrätään yksilöllisesti. Alkaalisella toiminnalla saa pH-arvo turpiinikondensaateissa olla maks. 9,3 messingisellä kondensaatti-putkistolla. Kupari-nikkeliseokseisilla kondensaatti-putkilla pH-arvoa 9,5 ei saa ylittää. Kondensaatti-putkilla ruostumattomasta teräksestä tai titaanista ei pH-arvolle ole ylärajaa

Happipitoisuuden suhteen on noudatettava juomavesiehtojen määräyksiä.

Liite 2: Turbiinin höyryn ominaisuuksien ohjearvot käynnistettäessä

Turbosarja
Toiminta

T6227

Ohjearvot käynnistystoiminnalle

Uusien laitteistojen käyttöönotossa ja jokaisessa käynnistystoiminnassa ei ohjearvoja voida toteuttaa taloudellisella panostuksella. Näille erityisille tapauksille pätee seuraavassa taulukossa esitetyt arvot.

Tässä taulukossa ovat tällaisten tapausten ohjearvot koottu ns. "Action Levels" muodossa.

Kulloisen Action Levels'in arvot ovat tarkoitettu myös tapauksille, joissa ei ole mahdollista noudattaa kestotoiminnanarvoja edellisen taulukon mukaan häiriöiden takia (esim. ilmalisäys, lisäveden organimismien lisääntyminen lisäveden käytössä). Action Level tarkoittaa, että "toiminnot" on aloitettava, jotta normaalitila saavutetaan määrätyn ajan sisällä. Aikajaksot, joilla turpiini kyseisessä Action Level:ssa saa olla edelleen toiminnassa, on määritelty. Ensimmäinen rivi kuvaa suurimman sallitun aikajakson tapausta kohti, toinen rivi suurimman sallitun aikajakson vuotta kohti (riippuen tapahtumien lukumäärästä).

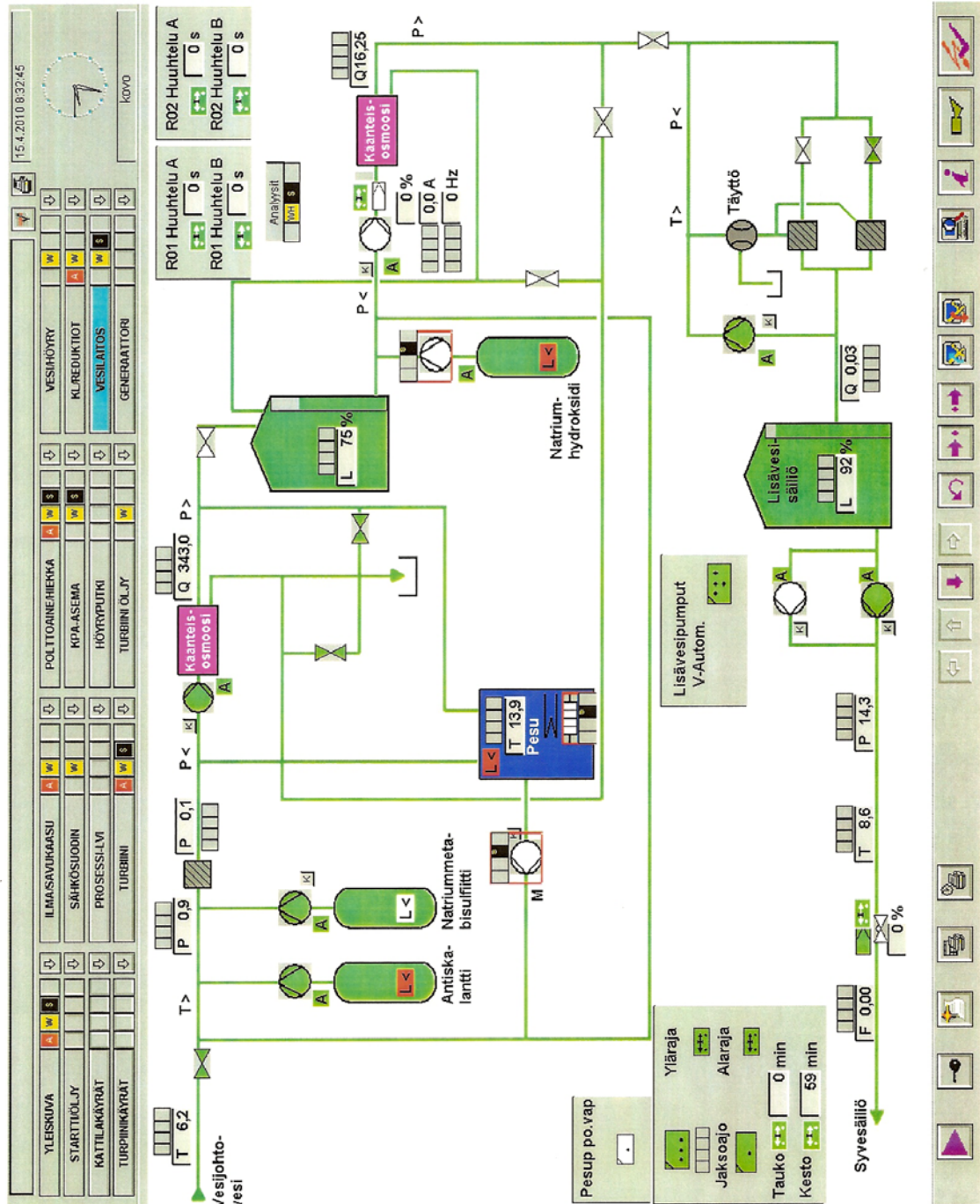
Parametri	Yksikkö	Action Level 1	Action Level 2	Action Level 3	Action Level 4
Johtokyky 25°C vahvasti happaman näytteenotokationivaihtajan jälkeen, jatkuva mittaus näytteenotokohdassa	µS/cm	> 0,2 < 0,35	> 0,35 < 0,5	> 0,5 < 1,0	1,0
Piihappo (SiO ₂)	mg/kg	> 0,020 < 0,030	> 0,030 < 0,040	> 0,040 < 0,050	0,05
Kokonaisrauta (Fe)	mg/kg	> 0,020 < 0,003	> 0,030 < 0,040	> 0,040 < 0,050	0,05
Kokonaiskupari ³⁾ (Cu)	mg/kg	> 0,003 < 0,005	> 0,005 < 0,008	> 0,008 < 0,010	0,010
Natriumi ⁴⁾ (Na)	mg/kg	> 0,010 < 0,015	> 0,015 < 0,020	> 0,020 < 0,025	0,025
Aikajakso, jonka turpiini saa olla toiminnassa kyseessä olevilla arvoilla, tapahtumaa kohti.	h	< 100	< 24	< 4	0 ²⁾
Yhteenlaskettu kokonais-aika vuotta kohti	h/a	< 2000	< 500	< 80	0 ²⁾

Taulukko 2

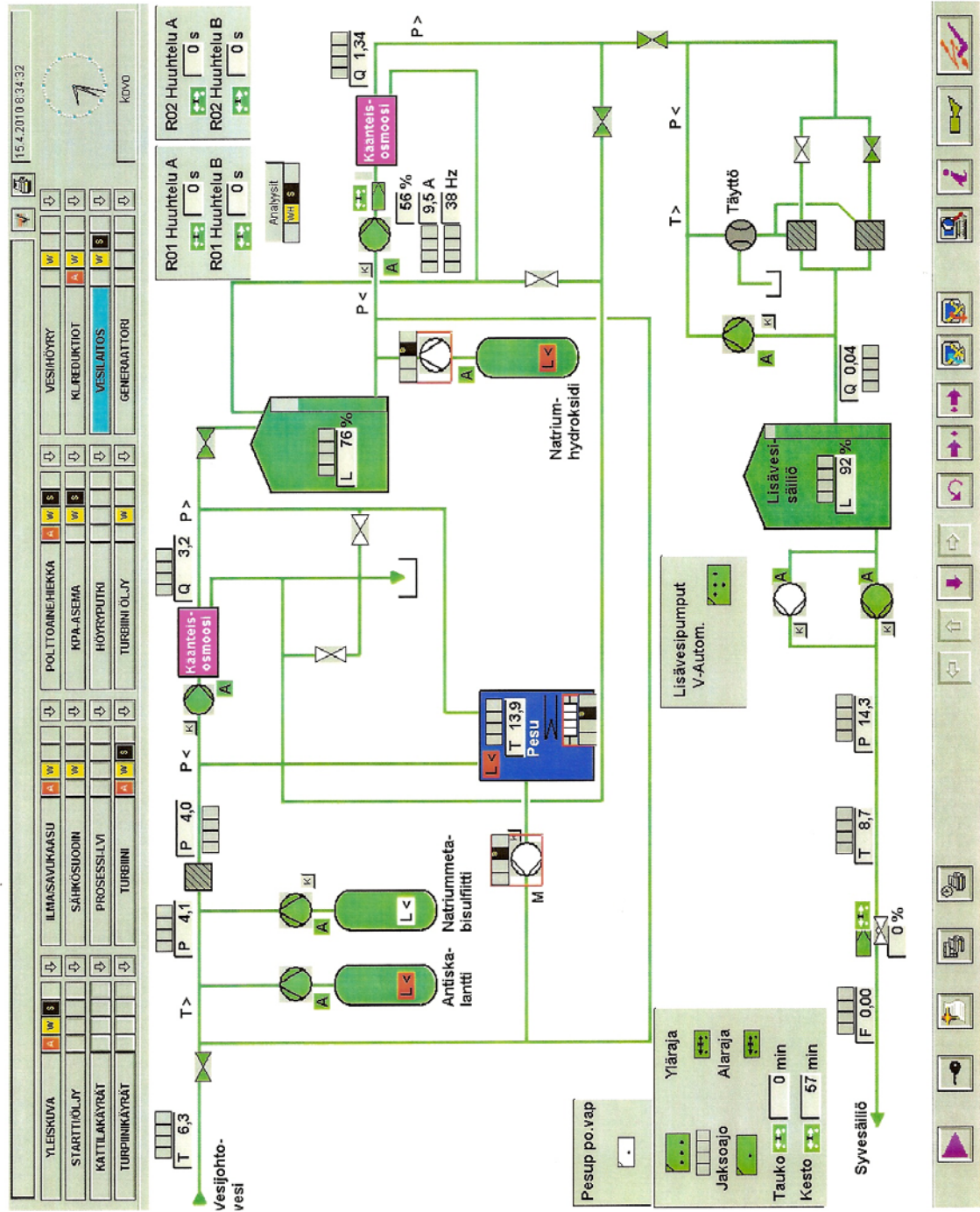
Ohjearvot ainoastaan käynnistystoiminnalle ¹⁾ ja suositeltujen kestotoiminta-arvojen (taulukko 1 / VGB-R 450L poikkeamille)

- 1) Jotta vältetään hyötysuhteen pienenemistä ja kestoian huononemista, suosittelemme, että turpiini käynnistetään mahdollisesti arvoilla < Action Level 2.
- 2) Action Level 4: Arvot tarkoittavat, että on kyseessä huomattava vaikutus höyryn laatuun, joka voi äkillisesti johtaa turpiinin vaurioitumiseen (korrosio ja/tai kerrostumia). On erittäin suositeltavaa ajaa turpiini alas.
- 3) Cu-arvojen valvontaa ei tarvitse tehdä Cu-vapaassa vesi-höyrykiertokulussa.
- 4) Jos ei käytetä ns. kiinteiden aineiden alkalisoitainia (NaOH, Na₃PO₄), ei Na-arvoja tarvitse välttämättä valvoa.

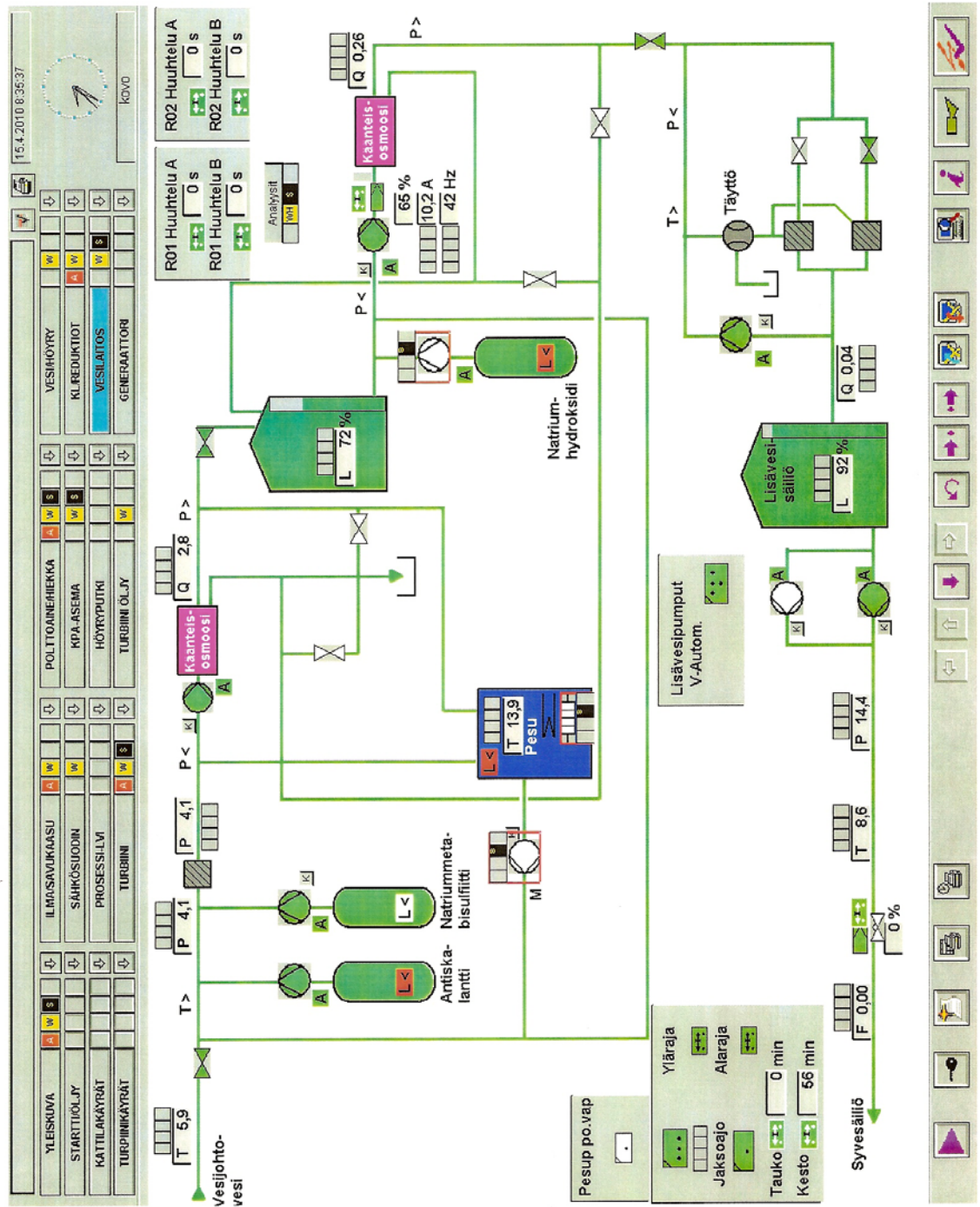
Liite 3: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva ennen laitoksen käynnistymistä, 15.4.2010



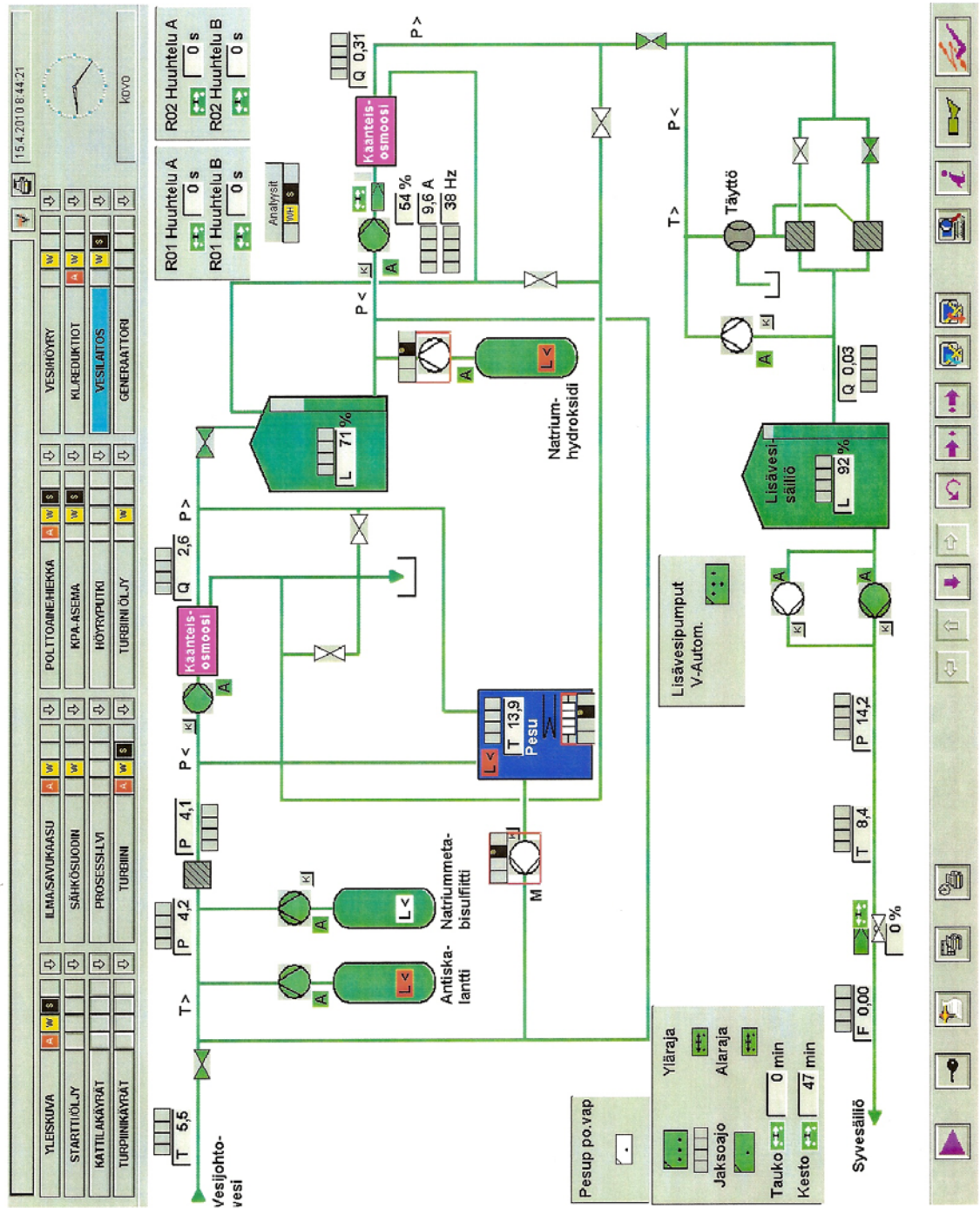
**Liite 4: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva 2 min käynnin jälkeen,
15.4.2010**



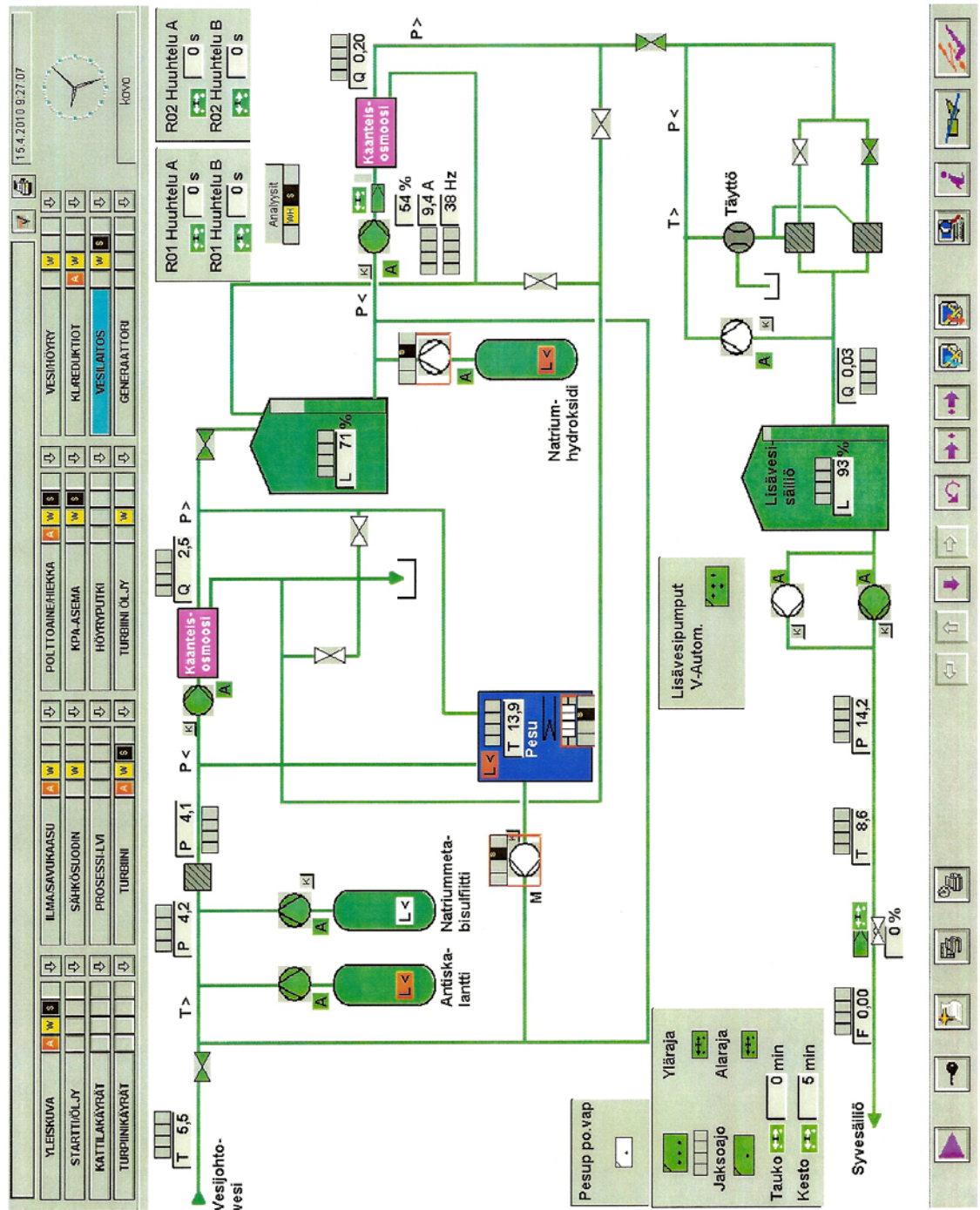
Liite 5: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva 3 min käynnin jälkeen, 15.4.2010



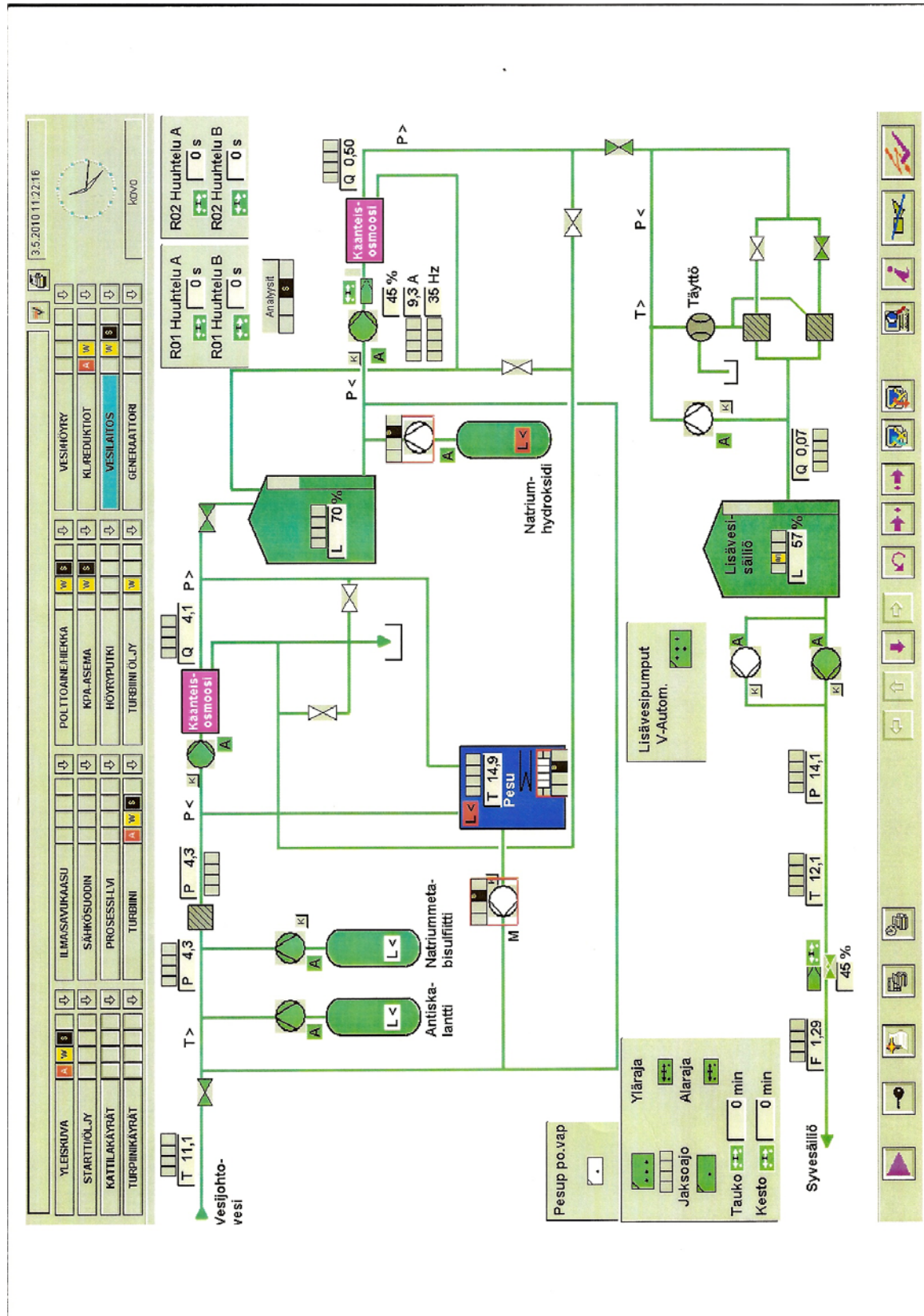
**Liite 6: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva 12 min käynnin jälkeen,
15.4.2010**



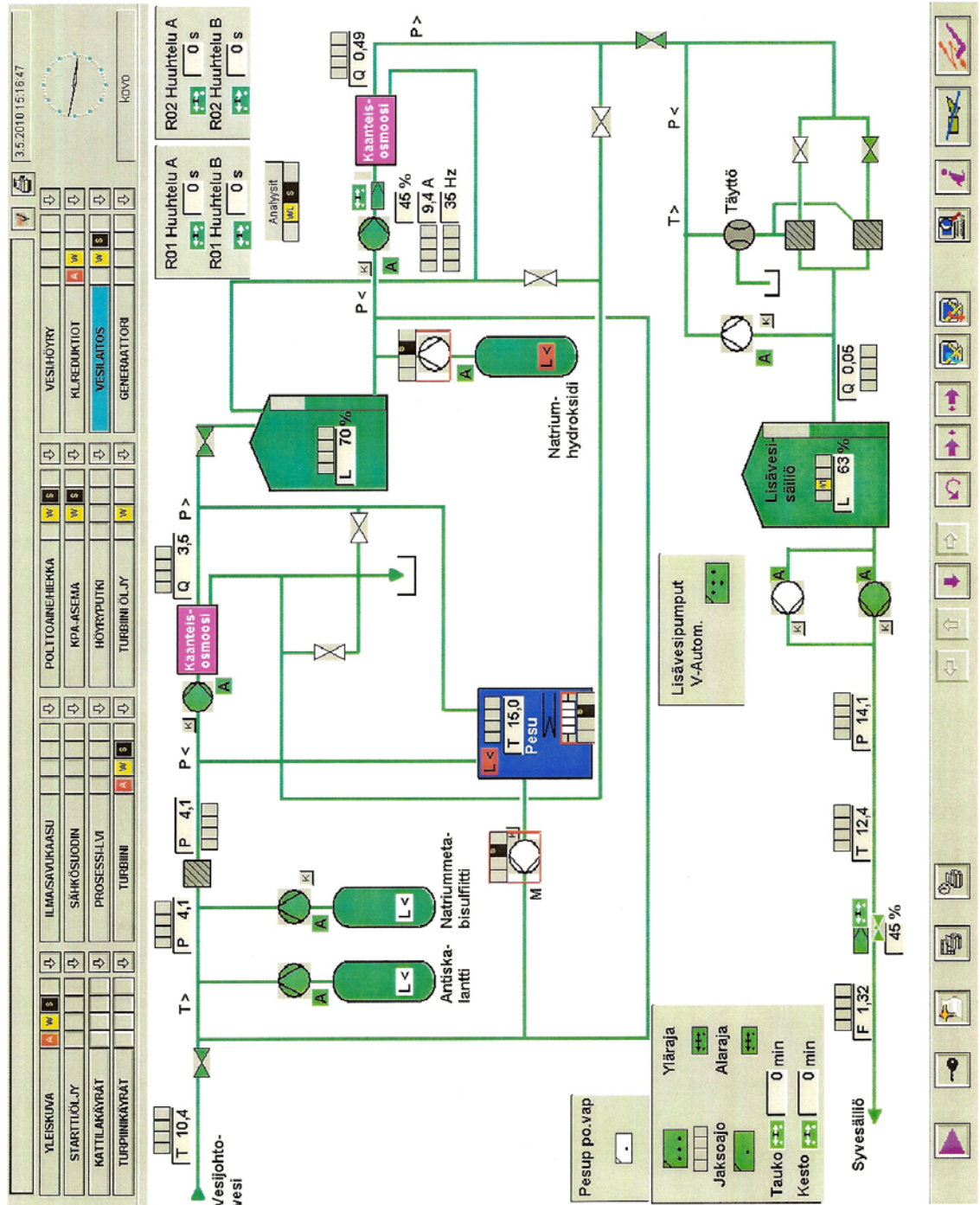
Liite 7: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva 54 min käynnin jälkeen, 15.4.2010

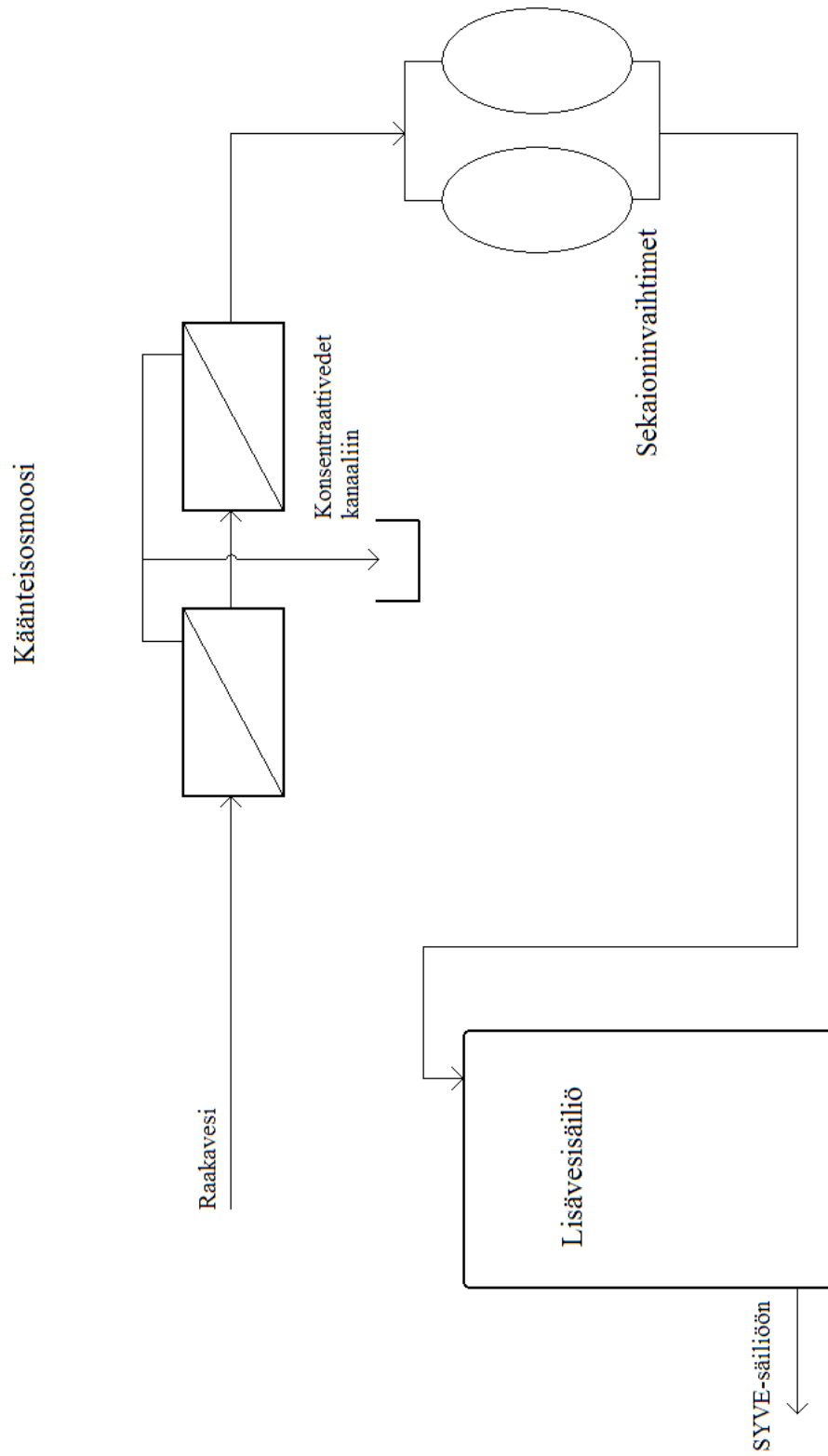


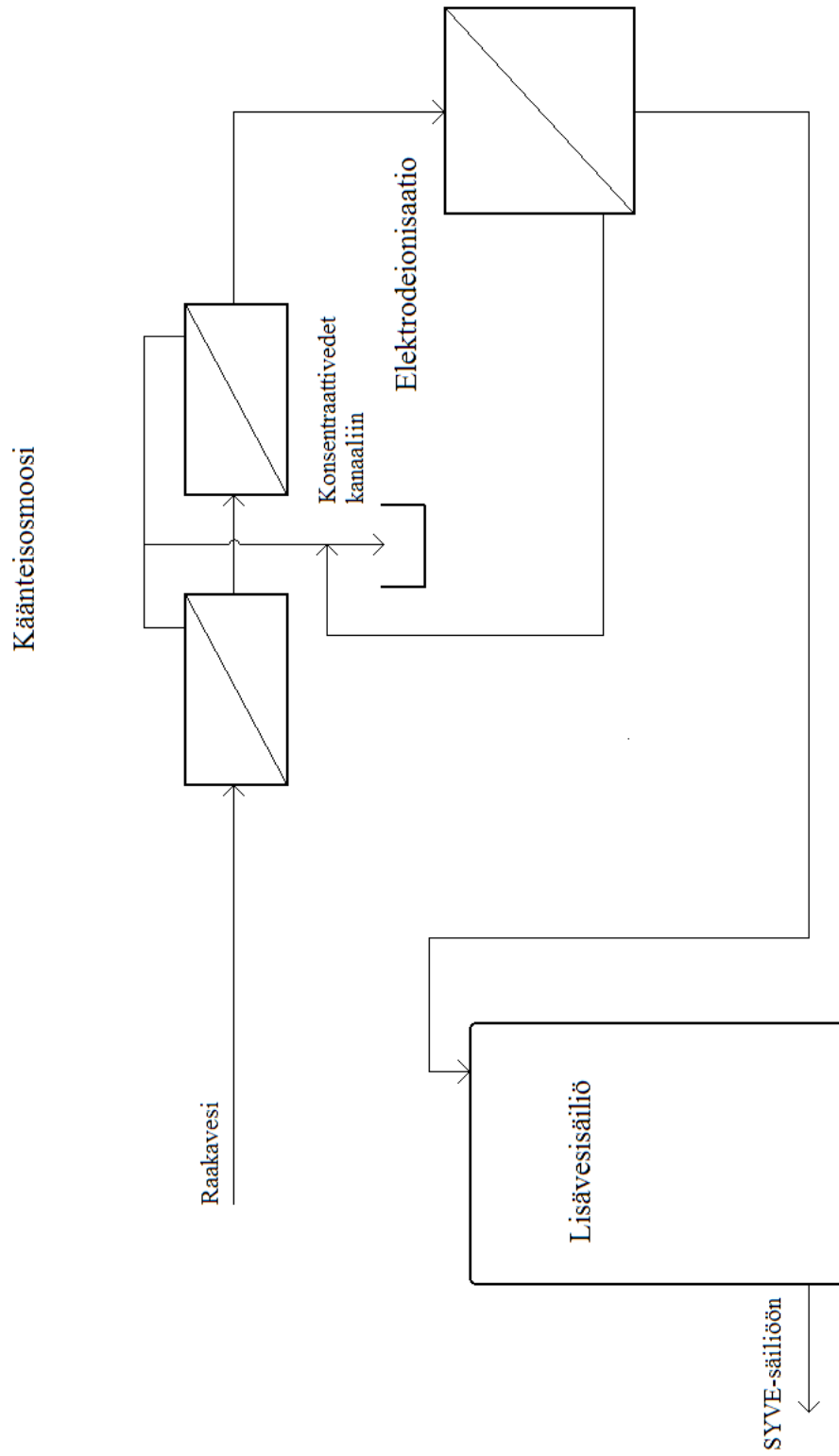
Liite 8: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva jatkuvassa ajossa, 3.5.2010

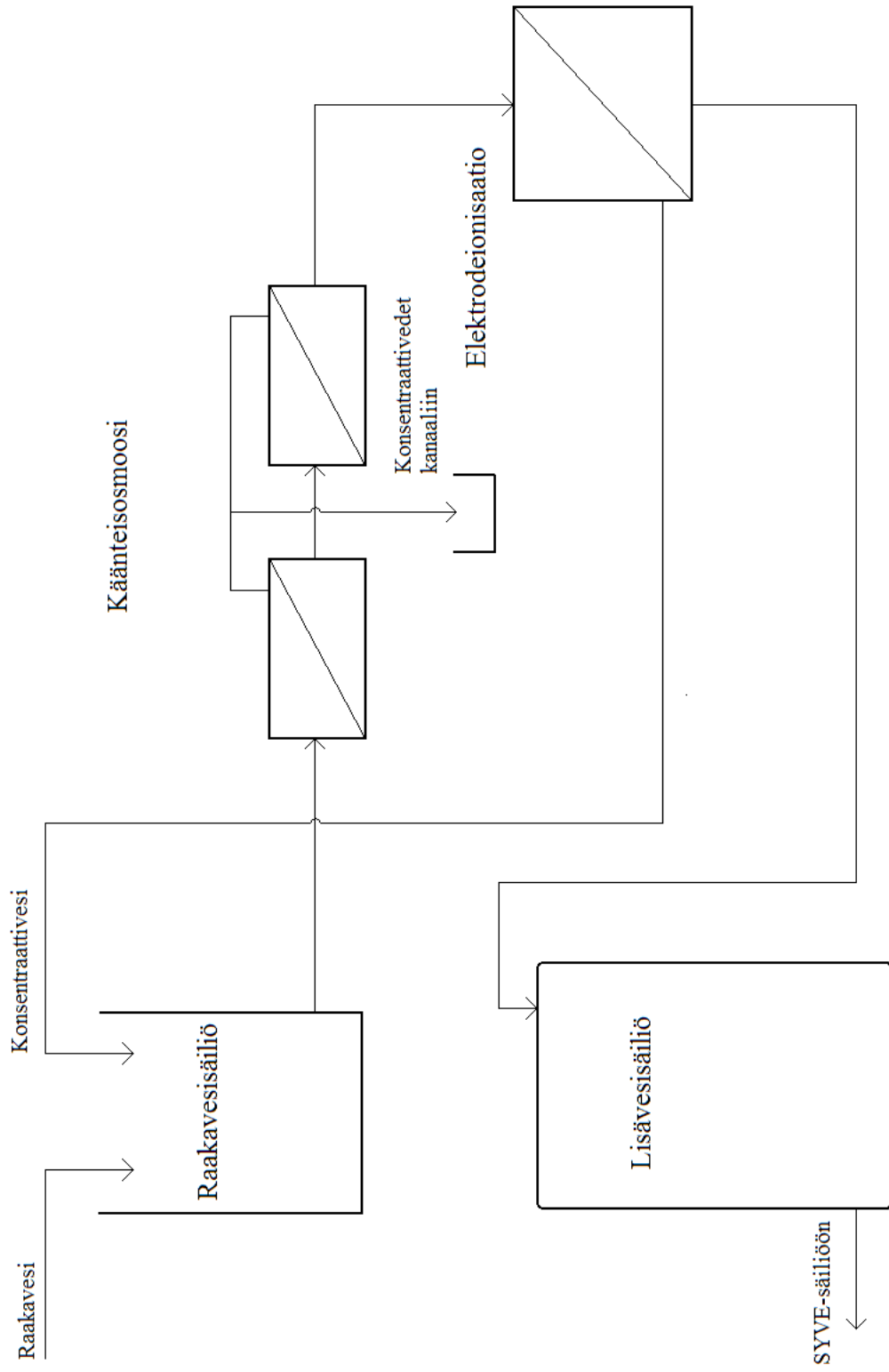


Liite 9: Vedenkäsittelylaitoksen kaaviokuva jatkuvassa ajossa, 3.5.2010



Liite 10: Vedenkäsittelylaitoksen kytkentävaihtoehto VE0

Liite 11: Vedenkäsittelylaitoksen kytkentävaihtoehto VE1

Liite 12: Vedenkäsittelylaitoksen kytkentävaihtoehto VE2

Liite 13: Vedenkäsittelylaitoksen kytkentävaihtoehto VE3