

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Kemiantekniikan koulutusohjelma

**Tiina Pakkanen**

**Kaukolämpöverkon lisäveden pehmennyssuodatin**

Insinööriyö 5.5.2009

Ohjaaja: tiimivastaava Jere Espo  
Ohjaava opettaja: lehtori Timo Meros

## Metropolia Ammattikorkeakoulu      Insinööriyön tiivistelmä

Tekijä	Tiina Pakkanen
Otsikko	Kaukolämpöverkon lisäveden pehmennyssuodatin
Sivumäärä	62 sivua
Aika	5.5.2009
Koulutusohjelma	kemiantekniikan koulutusohjelma
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja	tiimivastaava Jere Espo
Ohjaava opettaja	lehtori Timo Meros
<p>Insinööriyössä oli tavoitteena mitoitaa Suomenojan voimalaitokselle hankittu uusi lisäveden pehmennyssuodatin. Tämän pohjustukseksi työssä selvitettiin veden pehmennykseen liittyvää teoriaa. Työ sisälsi sekä teoria- että mitoitussuuden.</p> <p>Teoriaosuudessa käsiteltiin veden pehmennykseen liittyviä käsitteitä. Ensimmäisenä tutustuttiin pehmenysprosessissa käytettävään hartsiin ja sen ominaisuuksiin. Ioninvaihtoa ja siihen vaikuttavia tekijöitä pohdittiin seuraavaksi. Veden pehmentäminen käytiin läpi ajovaiheittain, ja lopuksi käsiteltiin pehmennyssuodatinta.</p> <p>Mitoitusosuudessa optimoitiin Suomenojan voimalaitokselle hankitulle uudelle pehmennyssuodattimelle käyttöarvot. Mitoittamisessa tarkasteltiin käyttövaiheen osalta käyttöjakson pituutta elvytysasteeseen, tuloveden kovuuteen ja virtausnopeuteen nähden. Elvytyksen osalta käytiin läpi jokaisen siihen liittyvän ajovaiheen mitoitussarvot.</p> <p>Työssä päädyttiin käyttöarvoihin, joilla uutta pehmenntä lähdetään koeajamaan. Uusi pehmennin otetaan käyttöön viimeistään toukokuun 2009 alussa, ja se tulee olemaan rinnakkaiskäytössä vanhan kanssa.</p>	
Hakusanat	ioninvaihtohartsit, ioninvaihto, veden pehmenys, pehmennyssuodatin, Suomenojan voimalaitos

Author	Tiina Pakkanen
Title	Water softener of additional water in a district heating net
Number of Pages	62
Date	5 May 2009
Degree Programme	Chemical Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor	Jere Espo, Team Leader, Chemistry
Supervisor	Timo Meros, Lecturer
<p>The aim of this final year project was to size the new water softener bought for Suomenoja power plant. To build a theoretical framework for the sizing work, water softening theory was studied. The project included both a theoretical and a sizing part.</p> <p>In the theoretical part, water softening concepts were examined. First, the focus was on the resin used in the softening process and its properties. Next, ion exchange and the factors affecting it were considered. Finally, the water softening process with its operating stages and the water softener itself were investigated.</p> <p>In the sizing part of the project, the operating values of water softener were optimized. The duration of the operation cycle was examined with respect to the regeneration level, the hardness of incoming water, and the stream velocity. In addition, the sizing values for all the operation stages of regeneration were checked.</p> <p>The sizing project yielded operating values with which the test runs of the new water softener will start. The new softener will be introduced no later than at the beginning of May 2009, and it will be in parallel use with the old water softener.</p>	
Keywords	ion exchange resins, ion exchange, water softening, water softener, Suomenoja power plant

# Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

## *Teoreettinen osa*

1 Johdanto	6
2 Ioninvaihtohartsit	7
2.1 Ioninvaihtohartsien rakenne	8
2.2 Ioninvaihtohartsien luokittelu	9
2.3 Ioninvaihtohartsien fysikaaliset ominaisuudet	9
2.3.1 Turpoaminen	9
2.3.2 Kosteuspitoisuus ja vedenpidätyskyky	10
2.3.3 Vapaa vesi	10
2.3.4 Partikkelikoko	11
2.3.5 Stabiilisuus	12
2.4 DVB-pitoisuus	12
2.5 Vahvat kationinvaihtohartsit	14
2.6 Kationinvaihtohartsien kunnan arviointi	15
2.6.1 Kapasiteetti	16
3 Ioninvaihto	18
3.1 Ioninvaihtoon vaikuttavia tekijöitä	19
3.1.1 Ioninvaihtotasapaino	19
3.1.2 Selektiivisyys	21
3.1.3 Fysikaaliset tekijät	25
4 Kaukolämpöjärjestelmä	26
4.1 Raakavesi	27
4.2 Kovuus	27
4.3 Kovuuden merkitys	29
5 Yleiskuvaus veden pehmennyksestä	30
5.1 Pehmennyksen vaiheet	30
5.1.1 Vastavirtahuuhtelu	30
5.1.2 Regenerointi	30
5.1.3 Hidas pesu	32
5.1.4 Nopea pesu	32
5.1.5 Käyttövaihe	32

6 Pehmennyssuodatin	34
6.1 Suodattimen osat	35
6.2 Suodattimen varusteet	35
6.2.1 Raaka- ja tuoteveden tarkkailu	36
6.2.2 Suolaliuosallas	36
6.3 Huoltotoimenpiteet	36
7 Suomenojan voimalaitos	37
<i>Laskennallinen osa</i>	
8 Mitoittamisen tavoite	38
9 Pehmentimen mitoittaminen/ optimointi	39
9.1 Pehmennyssuodattimen mitat	39
9.2 Putkikoot	39
9.3 Laskennallinen osuus	39
9.3.1 Käyttövaihe	41
9.3.2 Vastavirtahuuhtelu	44
9.3.3 Suolaliuoksen syöttö	45
9.3.4 Syrjäytys	45
9.3.5 Pesu	46
10 Yhteenveto	47
Lähteet	48
Liitteet	53
Liite 1: Kationinvaihtimen rakenne	54
Liite 2: Vahvan kationivaihtajan selektiivisyyskertoimia neljällä ristisilloitusasteella	55
Liite 3: Kiertoveden ohjearvosuositukset 1/2	56
Liite 3: Kiertoveden ohjearvosuositukset 2/2	57
Liite 4: Vesijohtoveden ja prosessiin palaavan veden analyysitulokset 2003-2004	58
Liite 5: Pehmennyssuodattimen säiliön layout	59
Liite 6: Pehmennyssuodattimen mitoituskuvaajien viitearvot	60
Liite 7: Cadix-mitoitusohjelman suunnittelutulokset 1/2	61
Liite 7: Cadix-mitoitusohjelman suunnittelutulokset 2/2	62

## *Teoreettinen osa*

### **1 Johdanto**

Voimalaitoksen vesi-höyrypiirin käyttöön ajateltu luonnonvesi sisältää paljon erilaisia epäpuhtauksia. Epäpuhtauksia voivat olla erilaiset karkeat, orgaaniset ja epäorgaaniset epäpuhtaudet, veteen liuenneet suolat, kaasut ja kiintoaineet. Luonnonvesi ei sovellu käsittelemättömänä voimalaitoksen vesi-höyrykiertoon, joten sen käyttöä varten voimalaitoksissa tarvitaan vedenkäsittelyjärjestelmät. (1, s. 2.) Kaukolämpöjärjestelmissä veden laatu vaikuttaa eri komponenttien käyttöikään, kuntoon sekä järjestelmän käyttötalouteen. Veden pehmennyksellä taataan turvallinen veden käyttö kaukolämpöjärjestelmissä sekä ennaltaehkäistään korroosion kehittymistä.

Vedenpehmennys hoidetaan voimalaitoksissa eri tavoin, riippuen järjestelmän koosta, raakaveden laadusta ja kustannustekijöistä. Riittävän tasokkaalla kaukolämmön lisäveden valmistuksella kaukolämpöverkostoon saadaan sellaiset kemialliset olosuhteet, joissa korroosio- ja kerrostumaongelmat ovat minimissään sekä kaukolämpöjärjestelmien suunnitteluperusteiden mukainen käytettävyys voidaan saavuttaa. (2, s. 1-2.)

Suomenojan voimalaitoksella ajettiin kaukolämpöverkkoon vuonna 2008 yhteensä noin 84701 m<sup>3</sup> lisävettä. Veden pehmennyssuodattimen kautta ajettiin 53071 m<sup>3</sup> ja loput 31630 m<sup>3</sup> tulivat Suomenojan prosessin puhtaiden paluuvesien kautta. Tyypillisellä 3 kg/s käyttövirtauksella pehmennyssuodatin on ollut noin puolet ajasta käytössä. Pehmentimen käytön katsottiin lisääntyvän, koska kaukolämpöverkko kasvaa tulevaisuudessa ja näin ollen pehmennyssuodatinta tarvitaan koko ajan. (3, s. 1; 4; 5.) Kaukolämpöverkon lisäveden pehmennykskapasiteetin lisäämiseksi päädyttiin laitokselle hankkimaan toinen pehmennyssuodatin vanhan rinnalle, joka tulee mahdollistamaan huoltotoimenpiteet myös talviaikaan.

Tässä työssä käsitellään ioninvaihtoteorian perusteita, Suomenojan voimalaitoksen kaukolämpöverkon lisäveden pehmennystä ja voimalaitokselle hankitun pehmennyssuodattimen mitoittamista.

## 2 Ioninvaihtohartsit

Ioninvaihtohartsit ovat yleisesti määriteltäessä, liukenemattomia, kiinteitä materiaaleja, jotka sisältävät vaihdettavissa olevia kationeja tai anioneja. Nämä ionit voidaan vaihtaa stoikiometrisesti ekvivalenttiin määrään saman varauksen omaaviin ioneihin, kun ioninvaihtohartsi on kosketuksissa elektrolyyttiliuoksen kanssa. Vaihdettavissa olevia kationeja sisältäviä hartseja kutsutaan kationinvaihtajiksi ja vaihdettavissa olevia anioneja sisältäviä hartseja anioninvaihtajiksi.

Hartsien tunnusomaisiin piirteisiin kuuluu omalaatuinen runkorakenne, jota pitävät kasassa kemialliset sidokset (cross-linkage) tai hilaenergia. Tämä runko sisältää positiivisen tai negatiivisen sähköisen ylimäärävarauksen, joka korvautuu vapaasti hartsirungon sisällä liikkuvilla vastakkaismerkkisillä ioneilla, niin sanotuilla vastaioneilla. (6, s. 5-6; 7, s. 1.)

Hartsien ioninvaihtotoiminta riippuu esimerkiksi kiinnittyneiden ioniryhmien lukumäärästä. Ioninvaihtotoiminta määrittää hartsin sähkönjohtokyvyn ja ioninvaihtonopeuden, johon vaikuttavat partikkeli- ja filmidiffuusio. (6, s. 15; 8, s. 4.)

Ioninvaihtohartsit ovat valmistettu synteettisistä polymeereistä, kuten styreeni-divinyylibentseeni polymeereistä, jotka on sulfonoitu vahvoiksi kationinvaihtajiksi tai aminoitu vahvoiksi anioninvaihtajiksi (9, s. 1).

Ioninvaihtohartseja käytetään erilaisiin sovelluksiin. Veden pehennyssovelluksissa käytetään vahvoja kationinvaihtohartseja.



*Kuva 1. Ioninvaihtohartsirakeita (10).*

## 2.1 Ioninvaihtohartsien rakenne

Tärkeimmät ioninvaihtohartsit ovat orgaanisia, tyypillisesti geelejä. Ne ovat tavallisesti pallomaisia, säännöllisiä rakeita (kuva 1), joiden rakenne, niin kutsuttu matriisi koostuu epäsäännöllisestä makromolekyyllisestä ja kolmiulotteisesta hiilivetyketjujen verkostosta. Kationinvaihtohartsin matriisi sisältää ioniryhmiä, kuten  $-\text{SO}_3^-$ ,  $-\text{COO}^-$ ,  $-\text{PO}_3^{2-}$ ,  $-\text{AsO}_3^{2-}$ . Ioninvaihtohartsit ovat näin ollen ristosilloitettuja polyelektrolyyttejä. (6, s. 14-15.) Liitteessä 1 on esitetty kationinvaihtimen rakenne (11, kuva 4). Kuvasta nähdään, että matriisin rakenne on molekyyliskaalassa melko avoin ja muistuttaa sientä. Tämä tarkoittaa sitä, että kulkeutuessaan hartsipetiin liuos voi virrata ristosilloitetun polymeerin läpi. (7, s. 1; 12, s. 112.) Hartsien matriisi on hydrofobinen. Hartsit on tehty liukene-mattomiksi ottamalla käyttöön ristosilloitukset, jotka yhdistävät erilaisia hiilivetyketjuja. Matriisi on myös elastinen ja voi turvota absorboimalla liuotinta. (6, s. 15.)

Hartsien tiheys vaihtelee hartsin sisältämän kosteuden ja ristosilloituksen mukaan. Esimerkiksi 4 % hartsin tiheys Na-muodossa on  $1,15 \text{ g/cm}^3$  ja 8 % hartsin tiheys Na-muodossa on  $1,25 \text{ g/cm}^3$ . Yleensä kationinvaihtimien tiheys vaihtelee välillä  $1,10\text{--}1,35 \text{ g/cm}^3$ . (11, s. 9.)



## 2.2 Ioninvaihtohartsien luokittelu

Ioninvaihtohartsit voidaan luokitella eri ryhmiin runkorakenteen tai toimiva ryhmän perusteella. Runkorakenteen mukaan hartsit luokitellaan styreenirunkoisiin ja akryyli-runkoisiin hartseihin. Toimivan ryhmän mukaan kationinvaihtohartsit jaetaan kahteen pääluokkaan taulukon 1 mukaisesti. (11, s. 5.)

*Taulukko 1. Kationinvaihtohartsien luokittelu.*

Hartsityyppi	Toimiva ryhmä	pH-toiminta-alue
vahvat kationinvaihtimet	-SO <sub>3</sub> -	0 - 14
heikot kationinvaihtimet	-COO-	6 - 14

## 2.3 Ioninvaihtohartsien fysikaaliset ominaisuudet

Ioninvaihtohartsien mitattavia fysikaalisia ominaisuuksia on esimerkiksi turpoaminen, kosteuspitoisuus ja vedenpidätyskyky, vapaa vesi, partikkelikoko ja stabiilisuus (11, s.9).

### 2.3.1 Turpoaminen

Ioninvaihtohartsit pystyvät absorboimaan liuottimia, johon ne ovat asetettu. Kun ioninvaihtohartsit absorboivat vettä/liuotinta niiden rakeet laajenevat tai turpoavat sekä niihin muodostuu sisäisiä huokosia tai tiehyitä. Näitä myöten ympäröivän veden ionit pääsevät tunkeutumaan aktiivisten ryhmien tuntumaan. Näin ollen, mitä suurempi hartsirakeiden sitoma vesimäärä on, sitä helpompi on ionien sisäänkäynti ja vastaavasti ioninvaihdon kinetiikka on parempi. Kuitenkin suuremman vesimäärän tunkeutumisen edellytyksenä on ketjujen sidoksien vähentäminen, jotta hartsirakeet pystyvät tarpeeksi paisumaan. Toisaalta, mitä pienempi sidosten määrä, sitä huonompi on hartsin mekaaninen kestävyys. Ioninvaihtohartsit turpoavat vain rajattuun pisteeseen, eli tasapaino on saavutettu, kun turpoamista ei enää tapahdu. Turpoamisen tasapainotila on vastakkaisten voimien tasapaino. (6, s. 100-101; 13, s. 3.)

Turpoaminen on suotuisaa polaarisisä liuottimissa, alhaisen verkkoutumisasteen omaavalla hartsilla, korkean kapasiteetin hartsilla, kun vastaionit omaat alhaisen valenssin ja kun ulkoisen liuoksen konsentraatio on alhainen (6, s. 103-104).

### 2.3.2 Kosteuspitoisuus ja vedenpidätyskyky

Hartsien kosteuspitoisuus ilmoitetaan tavallisimmin kosteusprosentteina ja hartsien sisältämän veden määrä vedenpidätyskykyä. Sekä hartsien kosteuspitoisuus että vedenpidätyskyky ovat matriisin ristosilloituksen funktio. Ioninvaihtohartsien sisältämään vesimäärään vaikuttaa hartsin funktionaalinen ryhmä ja matriisin ristosilloitusaste. Vahvan kationinvaihtimen tilavuus on suurimmillaan  $H^+$ -muodossa. Standardivedenkäsittelyhartsin vedenpidätyskyky on ristosilloitusasteen ollessa 8 %,  $Na^+$ -muodossa 44-48 % ja  $H^+$ -muodossa 50-55 %.

Kationinvaihtimien vedenpidätyskyky lisääntyy käytön aikana. Nousun aiheuttaa matriisiketjun katkeilu, mikä puolestaan saa aikaan käsiteltävissä olevat hapettavat aineet. Jos hartsin vedenpidätyskyvyn nousu on yli 2 %, sisältää ioninvaihtimeen tuleva vesi liikaa hapettavia aineita. Kun kationinvaihtimen vedenpidätyskyky kasvaa, ionivuoto hartsista lisääntyy, ja lisäksi se johtaa huonompaan tuotetun veden laatuun. Kun vedenpidätyskyky nousee yli 60 %:n, hartsin olisi syytä vaihtaa uuteen. Vedenpidätyskyky määritetään pitämällä pintakuivaa, regeneroitua hartsia yön yli 105 °C:n lämmössä. Vedenpidätyskyky lasketaan hartsin massan muutoksesta. (11, s. 9,19; 14, s. 4.)

### 2.3.3 Vapaa vesi

Vapaa vesipitoisuutta ei välttämättä rinnasteta kokonaisvesipitoisuuteen eikä hartsin laajenemiseen eli turpoamiseen. Esimerkiksi hartsin turpoaminen kasvaa, kun vastaioni korvataan toisella vastaionilla, jonka hydratoitunut ionikoko on suurempi. Mitä suurempi turpoamisesta aiheutuva paine on, sitä voimakkaammin turvonnut hartsin pusertaa vapaata vettä hartsista pois, näin ollen vähentäen vapaata vesipitoisuutta. (6, s. 106)

Taulukko 2. Kationien hydraatioluku sulfonoiduissa styreenityyppisissä kationinvaihtimissa (6, s. 106).

Ion	Hydration number	Ion	Hydration number
H <sup>+</sup>	3.9	Be <sup>2+</sup>	7.0
Li <sup>+</sup>	3.3	Mg <sup>2+</sup>	7.0
Na <sup>+</sup>	1.5	Ca <sup>2+</sup>	5.2
K <sup>+</sup>	0.6	Sr <sup>2+</sup>	4.7
Cs <sup>+</sup>	0	Ba <sup>2+</sup>	2.0
Ag <sup>+</sup>	0.3	Hg <sup>2+</sup>	4.5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.4		

### 2.3.4 Partikkelikoko

Normaali ioninvaihtohartsien palloskoko vaihtelee välillä 0,3mm–1,2mm.

Ioninvaihtosovelluksissa partikkelikoko vaikuttaa kahteen tapahtumaan:

- Ioninvaihdon kinetiikassa partikkelikoko noudattaa Fickin diffuusiolakia

diffuusio                      ioninvaihdon nopeus

hartsin sisällä                       $1/r^2$

hartsin pinnalla                       $1/r$

Fickin diffuusiolain mukaan partikkelin säteen kasvu pienentää ioninvaihdon nopeutta ja päinvastoin pieni säde nopeuttaa ioninvaihtoa.

- Ioninvaihtohartsien palloskoko vaikuttaa hartsipedin aiheuttamaan painehäviöön.

Ioninvaihtohartsien palloskoko voidaan määrittellä esimerkiksi partikkelihajonnalla, määrittämällä minimi- ja maksimipalloskoko. (11, s. 11.)

### 2.3.5 Stabiilisuus

Ioninvaihtohartsit heikentyvät käytössä sekä fysikaalisesti että kemiallisesti. Elvytys- ja ajojaksojen aikana hartsit turpoavat ja kutistuvat merkittävästi. Jatkuva tilavuuden muutos sekä myös voimakkaat paineenvaihtelut heikentävät hartsin rakennetta. Myös korkea käyttölämpötila sekä nopeat lämpötilan vaihtelut heikentävät hartsin runkoa. Hartsin kemiallinen huonontuminen näkyy rungon katkeiluna, funktionaalisten ryhmien muutoksina, tai hartsien ominaisuudet saattavat muuttua, kun hartsin funktionaaliset ryhmät adsorboivat ja absorboivat puhdistettavasta vedestä epäpuhtauksia.

Vahvat kationinvaihtimet huonontuvat rungon hapettumisen myötä, jolloin esim. veden sisältämä vapaa kloori saattaa katkoa matriisirunkoa. Hapettuminen katkaisee hartsin rungon lisäten täten hartsin sisäisen veden määrää. Samalla myös tilavuuskapasiteetti pienenee. Seurauksena on ajojakson lyheneminen ja painehäviön kasvu. Kipsi ( $\text{CaSO}_4$ ) sekä metallihydroksidit (esim. ruoste,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ) saattavat absorboitua kationinvaihtimeen alentaen tai kokonaan lopettaen hartsin toiminnan. (11, s. 12,18.)

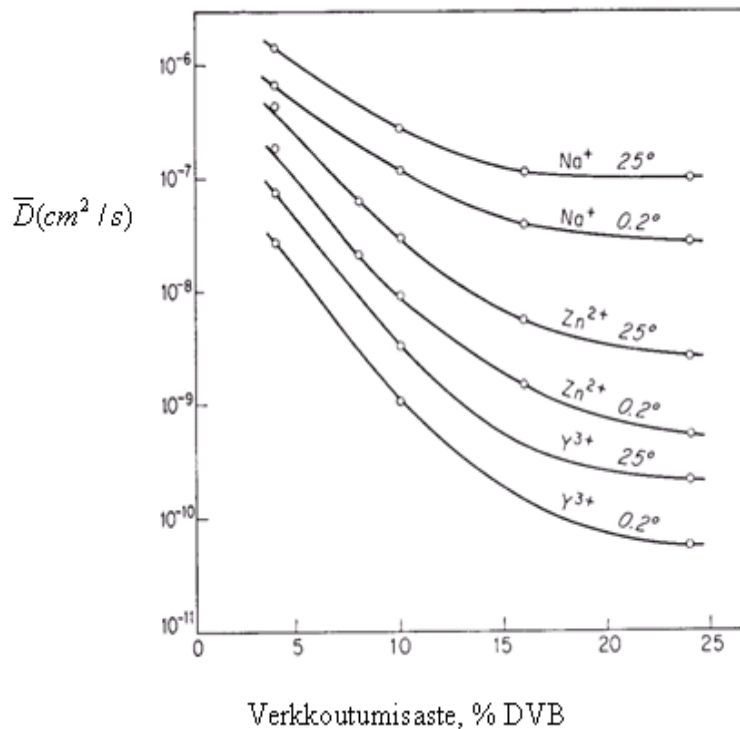
Kemiallinen, terminen ja mekaaninen stabiilisuus riippuvat lähinnä matriisin ristosilloitusasteesta ja rakenteesta sekä kiinnittyneiden ioniryhmien luonteesta ja määrästä (6, s. 15).

### 2.4 DVB-pitoisuus

Nimellistä DVB-pitoisuutta on käytetty ilmaisemaan ristosilloitusastetta, joka viittaa puhtaan divinylibentseenin mooliprosenttiosuuteen polymerisaatioseoksessa. Vaihtelemalla divinylibentseenipitoisuutta voidaan ristosilloitusastetta säätää yksinkertaisemmin ja toistettavammin. Yleiskäyttöön tarkoitettut ioninvaihtohartsit sisältävät 8-12 % DVB:tä.

Alhaisen DVB-pitoisuuden omaavat hartsit laajenevat voimakkaasti ja ovat pehmeitä sekä hyytelömäisiä, joten ne myös hajoavat helpommin. Korkean DVB-pitoisuuden omaavat hartsit tuskin laajenevat, ja ne ovat kovia sekä mekaanisesti stabiilimpia.

Ristisilloitusaste määrätty matriisin verkostoleveyden, hartsin laajentumiskyvyn ja hartseissa olevien vastaionien liikkuvuuden mukaan. (6, s. 35,15.)



Kuva 2. Verkkoutumisaste (8, s. 5).

Kuvassa 2 on esitetty diffuusiokerroimen riippuvuutta verkkoutumisasteesta. Turpoamisen ja verkostoleveyden vaikutukset diffuusioon ovat ilmeisiä. Hidastuvuus runkorakenteella lisääntyy vähentämällä pientä huokostilavuutta ja matriisin verkostolevyttä.

(6, s. 305.) Kuvassa esitetty diffuusiokerroin,  $\bar{D}$ , pienenee verkkoutumisasteen (tiheyden) kasvaessa, lämpötilan laskiessa ja ionivarausten kasvaessa.

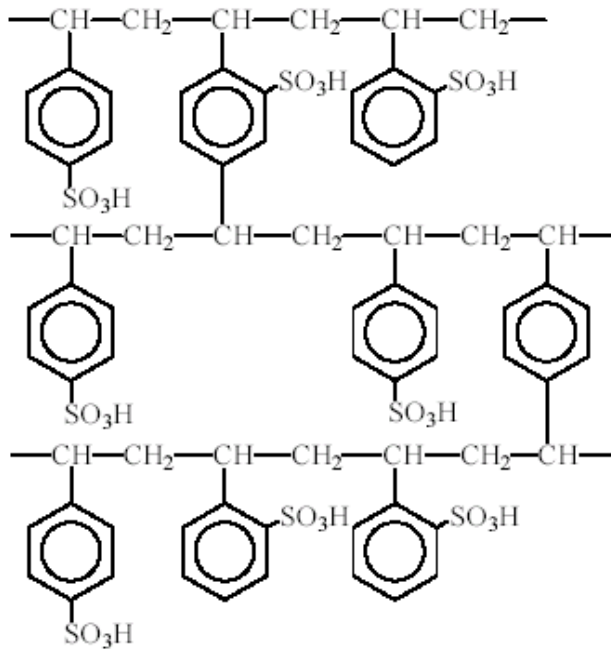
Hartseilla diffuusiokerroin vaihtelee välillä  $10^{-6}$ – $10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s. (8, s. 6.) DVB-prosentilla voidaan vaikuttaa kahden selektiivisyydeltään lähellä olevan komponentin erottamiseen toisistaan. Kasvatetaan DVB-prosenttia, kunnes riittävä selektiivisyyksien ero on saavutettu. (4.)

## 2.5 Vahvat kationinvaihtohartsit

Yleisimmät ja tärkeimmät hartsityypit vahvoista kationinvaihtajista ovat ristosilloitettuja polystyreenejä, jotka sisältävät sulfonihapporyhmiä ( $-\text{SO}_3^-$ ). Tämän tyyppisiä hartseja ovat esimerkiksi Amberlite IR-120 ja Lewatit S-100, joissa divinyylibentseeniä käytetään ristosilloitusaineena. (6, s. 29,35.)

Kationinvaihtohartsit ovat täysin veteen liukenematon, mutta se voi vapaasti läpäistä vettä. Se sisältää kuivapainostaan noin 50 % vettä. (15, s. 1.) Tyypillinen esimerkki vahvasta kationinvaihtohartsista on styreenin ja p-divinyylibentseenin muodostama verkkomainen polymeeri, johon on liitetty sulfonihapporyhmiä (kuva 3). Polymeerissä olevien ristosiltojen lukumäärää voidaan säädellä käyttämällä lähtöaineena erilaisia määriä divinyylibentseeniä. Sulfonihappoa voidaan pitää vahvana haponä, joka vedessä protolysoituu likimain täydellisesti. Tällöin ioninvaihtimen toiminta on riippumaton liuoksen pH:sta. (16, s. 119.)

Vahvoja kationinvaihtohartseja voidaan valmistaa sulfonoimalla rusko- ja bitumista hiiltä tai antrasiittia oleumilla eli savuavalla rikkihapolla. Sulfonihappo- ja karboksyylihapporyhmät muodostuvat hapettumalla, samaan aikaan kun rikkihappokäsittely aiheuttaa polykondensaatioreaktioita, jolloin kivihiili ”geelii” ja hartsin kemiallinen ja mekaaninen stabiilius kehittyvät. (6, s. 17-18.)



*Kuva 3. Osa vahvasti happaman sulfonoidun polystyreenipohjaisen kationinvaihtohartsin rakennetta (7, s. 2).*

Natriumelvytyssä kationinvaihtimessa kovuutta sisältävän tuloveden  $\text{Ca}^{2+}$ - ja  $\text{Mg}^{2+}$ -ionit vaihtuvat NaCl-elvytteisessä kationinvaihtohartsissa  $\text{Na}^+$ -ioneihin (yhtälöt 6-7, kuva 5) ja vesi näin ollen pehmenee (13, s. 5).

## 2.6 Kationinvaihtohartsien kunnan arviointi

Asiallisissa olosuhteissa käytetty ioninvaihtohartsi palvelee helpostikin 7-10 vuotta, jotkut kationinvaihtohartsit saattavat palvella jopa 20 vuotta. Jossain vaiheessa hartsit on kuitenkin vaihdettava uusiin joko osittain tai kokonaan. Vaihdon ajankohta voidaan määrittää varsin tarkastikin seuraamalla hartsin kuntoa esimerkiksi vuosihuoltojen yhteydessä tehtävällä laatutarkkailulla. Näytteenotto on erityisen tärkeässä asemassa, kuten se on kaikessa analytiikassa. Hartsinäytteen on oltava edustava. Sitä ei saa ottaa hartsipatjan pinnalta tai pohjalta, ja se on otettava regeneroinnin jälkeen. (14, s. 3-4.)

Hartsin visuaalinen tarkastus sisältää hartsin ulkonäön sekä rikkoutuneen hartsin määrän. Jos esimerkiksi hartsit ovat voimakkaasti punaruskeita, on syytä epäillä rautakontaminaatiota. Tällöin hartseista on tehtävä metallianalyysi jatkotoimien selvittämiseksi. Rikkoutunut hartsi aiheuttaa suuremman painehäviön hartsipedin yli sekä myös virtauksen kanavointia, mikä puolestaan huomataan ajojaksojen lyhentyminä. Lisäksi rikkoutunut hartsi poistuu helposti vastavirtahuuhtelun yhteydessä viemäriin. Jos rikkoutuneen hartsin määrä on yli 20 %, on hartsi vaihdettava uuteen. (11, s. 20.)

Suomenojan voimalaitoksella pehmennyssuodattimen kationinvaihtohartsin laatu-tarkkailu on ajoittunut tähän asti kesäkauteen, mutta uuden pehmentimen myötä huoltoja voidaan tehdä myös talvella (4). Kationinvaihtohartsien uusimistarpeen kannalta keskeisimmät laatu- ja kuntotarkkailumääritykset ovat vedenpidätyskyky ja kokonaiskapasiteetin määrittäminen (14, s. 4.)

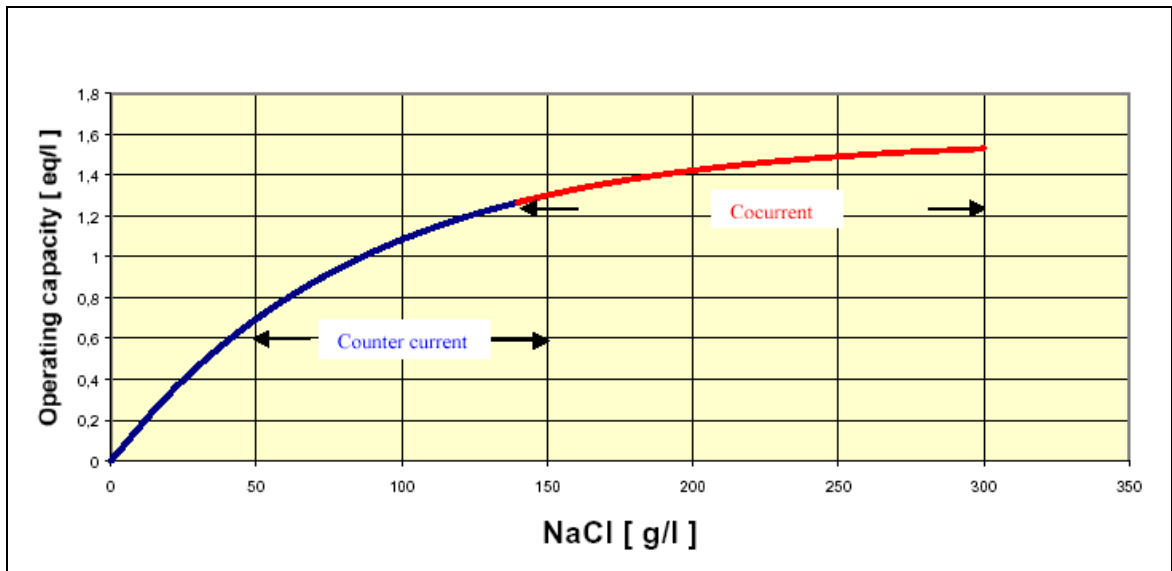
### 2.6.1 Kapasiteetti

Ioninvaihtohartsien kapasiteetti määritellään ioninvaihtohartsiin kemiallisesti sitoutuneiden toimivien ryhmien kykyä vaihtaa ioneja. Hartseissa ensi käytön yhteydessä oleva kapasiteetti on kokonaiskapasiteetti, joka mittaa hartsin sisältämien toimivien ryhmien kokonaismäärän. (11, s. 10.) Kokonaiskapasiteetti on ioninvaihtohartsin sisältämien toiminnallisten ryhmien konsentraatio (ekv/l), jossa ekvivalenttipainoksi (ekv) sanotaan ionien keskinäiseen reagoimiseen suhteessa olevaa painoa (11, s. 19; 18, s. 4). Kationinvaihtohartsilla 25–30 % kapasiteetin lasku kertoo siitä, että hartsin vaihto alkaa olla ajankohtaista. Kapasiteetit määritetään titraamalla. (14, s. 4.)

Käyttökapasiteetti on osa kokonaiskapasiteetista, joka voidaan hyväksikäyttää elvytyksen jälkeen todellisessa ajotilanteessa. Ioninvaihtohartsien käyttökapasiteetti riippuu mm. elvytykemikaaleista, niiden määrästä ja laadusta, ajotavasta sekä muista laitoskohtaisista tavoista. (11, s. 10.) Käyttökapasiteettia voidaan lisätä elvytysastetta kasvattamalla, kuten kuvasta 4 voidaan havaita. Suomenojalla on käytössä myötävirtaelvytys (co-current), joka kuluttaa selvästi enemmän suolaa kuin vastavirtaelvytys.



Alussa elvytysasteen kasvattaminen lisää voimakkaammin kapasiteettia, mutta lopussa kapasiteetin kasvu tasaantuu.



Kuva 4. Käyttökapasiteetti elvytysasteen funktiona (19, s. 5).

Taulukko 3 kertoo, että myös tilavuuskapasiteetti riippuu hartsin ioninmuodosta. Kun ristisilloitus purkautuu hapettumisen takia, laskee myös hartsin kapasiteetti. (11, s. 10,19.)

Taulukko 3. Ioninvaihtokapasiteetteja (11, s. 10).

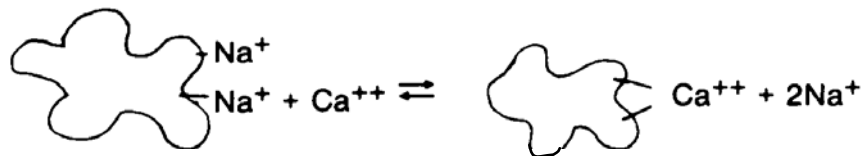
Hartsityyppi	Teoreettinen kapasiteetti	Käyttökapasiteetti
vahva kationinvaihtaja	2 ekv/l ( $\text{Na}^+$ )	0,8 - 1,4 ekv/l ( $\text{Na}^+$ )
vahva kationinvaihtaja	1,8 ekv/l ( $\text{H}^+$ )	0,7 - 1,2 ekv/l ( $\text{H}^+$ )

### 3 Ioninvaihto

Ioninvaihto voidaan määritellä ionien vuoroittaiseksi vaihtumiseksi toiminta- ja elvytysvaiheiden aikana (13, s. 2). Ioninvaihdoksi kutsutaan menetelmää, jossa eluettina toimivan vesiliuoksen sisältämät ionit vaihdetaan kiinteän eli stationääri-faasina toimivan polymeerin (jonka rakenteessa on ionien sitomiseen soveltuvia funktionaalisia ryhmiä) ioneihin, kuten kuvassa 5 on esitetty (9, s. 1).

Ioninvaihto tapahtuu aina samanmerkkisten ionien välillä, joten kationinvaihtajat vaihtavat vain kationeja (+) ja anioninvaihtajat vain anioneja (-) (12, s. 112).

Tarkastellaan seuraavaa tilannetta: Pallomainen ioninvaihtohartsin helmi, johon on sidottu vastaioni A (AR), lisätään elektrolyyttiliuokseen B(aq), jossa B on toinen vastaioni. Tasapainotila saavutetaan, kun liuoksessa oleva ioni B diffusoi hartsiin vaihtamalla paikkaa vastaionin A diffusoiduttua hartsista liuokseen (6, s. 250,251). Tämä reaktio havaitaan yhtälöiden 3,6 ja 7 avulla.



Kuva 5. Ioninvaihtoreaktio (9, s. 1).

Diffuusio on ilmiö, jossa molekyylit pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan tasoittaen mahdolliset pitoisuuserot ajan mittaan. Diffundoitumissuunta määräytyy todennäköisyyden mukaan siten, että todennäköisimmin partikkeli siirtyy paikaltaan sellaiseen paikkaan, missä ei ole partikkelia. Pohjimmiltaan diffuusio johtuu entropian kasvusta ja termodynamiikan toisesta laista. Konsentraatiogradientin tasoituessa, vähentää se systeemin erilaisten olotilojen määrää ja siten kasvattaa entropiaa. Näin ollen diffuusio on spontaani prosessi.

Diffuusiossa partikkeli pyrkii alueelle, jossa kemiallinen potentiaali pienenee. Kemiallinen potentiaali on Gibbsin energian muutos ainemäärän muuttuessa, kun paine ja lämpötila ovat vakiot (1).

$$\mu = \left( \frac{\partial G}{\partial n} \right)_{p,T} \quad (1)$$

Entropia toisin sanoen on Gibbsin energian muutos lämpötilan muuttuessa, kun paine on vakio. (20; 21, s. 165,170.)

Reaktio (3) osoittaa ioninvaihtotapahtuman olevan puhtaasti diffuusioilmiö. Ioninvaihtonopeus on riippuvainen vastaionien liikkuvuudesta ja ioninvaihtimessa tapahtuvista erilaisista diffuusioprosesseista. Lisäksi nopeuteen vaikuttavat mm. ionien koko, käytettävän hartsin kemiallinen luonne, ionien varaus Donnan potentiaalın kautta, joka vaikuttaa sähkövarausten kautta siihen, mitkä ionit pääset parhaiten hartsin sisälle. Tästä seuraa selektiivisyys. (6, s. 8,136; 16, s. 119-120.)

Ioninvaihtotapahtuma voidaan osoittaa myös olevan stoikiometrinen, koska hartsista vapautuva vastaioni voidaan vaihtaa ekvivalenttiin määrään samankaltaisiin toisiin ioneihin. Tämä on seurausta elektroneutraalisuudesta. Kun vastaioni siirtyy liuokseen, hartsiin jää elektroninen ylimäärä, joka on korvattava toisella vastaionilla. Näin ollen kokonaisvastaionimäärä jää vakioksi, huolimatta ionikoostumuksesta (6, s. 251.)

### 3.1 Ioninvaihtoon vaikuttavia tekijöitä

Ioninvaihtoon vaikuttavia tekijöitä ovat ioninvaihtotasapaino, selektiivisyys, kilpaileva ioni H<sup>+</sup>, fysikaaliset ominaisuudet, kuten lämpötila ja paine.

#### 3.1.1 Ioninvaihtotasapaino

Liuoksessa olevien ionien ja hartsin toiminnallisiin ryhmiin kiinnittyneiden ionien välillä vallitsee tasapaino, ts. ioninvaihto on reversiibeli prosessi (11, s. 14).

Kun reaktio on saavuttanut tasapainotilan, sillä ei ole pyrkimystä muutokseen, koska  $\Delta G_r = 0$ , eikä reaktio ole spontaani kumpaankaan suuntaan.

$$-\Delta G_r^\circ = RT \ln K \quad (2)$$

Vakiota  $K$  kutsutaan reaktion termodynaamiseksi tasapainovakioksi. Yhtälöstä 2 nähdään, että  $K > 1$ , jos  $\Delta G_r^\circ < 0$ . Yleisesti ottaen  $K > 1$  tarkoittaa sitä, että tuotteet ovat hallitsevia tasapainossa. Tästä voidaan päätellä, että reaktio on termodynaamisesti mahdollinen. (21, s. 147-148.)

Ioninvaihtotasapaino saavutetaan, kun ioninvaihtohartsit sijoitetaan elektrolyyttiliuokseen, joka sisältää vasta-ionin, joka on eri kuin ioninvaihtohartsissa. Tasapainossa sekä ioninvaihtohartsit että liuos sisältävät kilpailevia vasta-ionilajeja, A:ta ja B:ta. (6, s. 151.)

Ioninvaihtotasapainoja voidaan käsitellä massavaikutuksen lain mukaan kuten muitakin tasapainoja. Oletetaan, että hartsissa ionilla B on suurempi affiniteetti kuin ionilla A. Jos hartsit sisältää ionin A ja ionin B on liuenneena veteen, veden kulkiessa hartsin läpi tapahtuvat seuraavat ioninvaihtumiset (yhtälö 3) reaktion kulkiessa oikealle (7, s. 2):



Yhtälössä (3) R tarkoittaa ioninvaihtohartsia, jonka runkoon on liittynyt happoioni A ja  $B^{n\pm}$  on ioninvaihdossa vesiliuoksesta ioninvaihtomassaan siirtyvä kationi. Vesiliuoksessa tapahtuvaan ioninvaihtoprosessiin liittyy hartsin sitoutuneiden ionien A reversiibeli korvautuminen saman sähkövarauksen omaavilla ioneilla B. (16, s. 119,121.)

Kemiallisessa reaktiossa lähtöaineiden ainemäärät vähenevät ja reaktiotuotteiden ainemäärät kasvavat. Samalla yksittäisten komponenttien kemialliset potentiaalit muuttuvat ja myös systeemin Gibbsin energia ( $G = H - TS$ ) muuttuu.

Edellä mainitusta kaavasta näkee sen, että valitsemalla tietyn lämpötilan, missä reaktio tapahtuu, voidaan reaktion suuntaa ehkä kääntää. Vakio- $\mu$ -lämpötilassa ja -paineessa tapahtuu systeemissä vapaaehtoinen kemiallinen reaktio, kunnes Gibbsin energia on saavuttanut minimiarvonsa. Tasapainotilassa siten  $G = G_{\min}$ . Tasapainotilassa molemmat vastakkaiset reaktiot (1) tapahtuvat samanaikaisesti yhtä suurena määrinä. Systeemin Gibbsin energia voidaan määrittellä kaikkien läsnä olevien osasten kemiallisten potentiaalien summana:  $G = \sum \mu_i n_i$ . (16, s. 13; 21, s. 164.)

Kun hartsin ioninvaihtokapasiteetti on lähellä ehtymistä, se on useimmiten BR - muodossa. Massa vaikutussuhde pätee hakasulkujen sisällä (yhtälö 4). Hakasuluissa esiintyvät merkinnät tarkoittavat ionien A ja B konsentraatiota hartsissa [BR], [AR] ja vedessä [A], [B].

$$\frac{[BR][A]}{[AR][B]} = Q \quad (4)$$

Ioninvaihtoprosessiin liittyvää tasapainovakiota  $Q$  kutsutaan reaktion selektiivisyyskertoimeksi. Se on vakio-ominaisuus ionipareille ja hartsityypille. Yhtälö 2 merkitsee sitä, että jos ionin A sisältävä konsentroitunut liuos kuljetetaan ehtyneen hartsipatjan läpi, hartsi regeneroituu muotoon AR valmiiksi uudelleen käytettäväksi, samalla kun ioni B uuttuu veteen. (7, s. 2; 16, s. 121.)

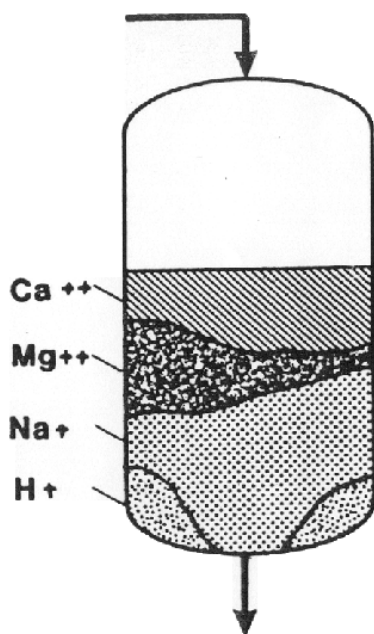
### 3.1.2 Selektiivisyys

Kahden kilpailevan vasta-ionin pitoisuusasteet ovat yleensä erilaiset ioninvaihtohartsissa ja liuoksessa. Ioninvaihtohartsin selektiivisyys havaitaan ioninvaihtohartsin mieltymyksenä valita pääsääntöisesti toisen lajin ioneja. (6, s. 151.)

Ionien selektiivisyyskertoimet voidaan kokeellisesti määrittää erityyppisille ioninvaihtimille. Hartsiin sitoutuneena ionien A ja B konsentraatiot ilmoitetaan useimmiten yksikössä mekv/g ja ionien ollessa liuenneena veteen yksikössä mekv/ml. Selektiivisyyskertoimien lukuarvot ilmoittavat eri ionien suhteelliset affiniteetit tiettyä ionin-

vaihtomassaa kohtaan. Mikäli reaktiossa (1) tasapainovakio  $Q_A^B > 1$ , ioni B sitoutuu voimakkaammin ioninvaihtomassaan kuin ioni A. Jos taas  $Q_A^B < 1$ , hartsi suosii ionia A. Vaikka selektiivisyyskertoimen yhtälö on johdettu massavaikutuslain perusteella, riippuu sen arvo paitsi mm. ioninvaihtimen luonteesta ja kaikista ionilajeista, myös elektroneutraalisuutta ylläpitävistä vastaioneista, jotka osallistuvat prosessiin. Täten sitä voidaan pitää vakiona vain hyvin laimeissa liuoksissa. (16, s. 122.) Liitteessä 2 on lueteltu vahvan kationinvaihtajan selektiivisyyskertoimia neljällä eri ristosilloitusasteella (22, s. 3).

Ioninvaihtohartsin toiminnalliset ryhmät käyttäytyvät selektiivisesti eri ioneja kohtaan. Ioniselektiivisyys voidaan havaita seuraavalla kokeella. Ioninvaihtohartsikoloni on täytetty vahvalla kationinvaihtimella. Hartsi elvytetään ylimäärällä siten, että se on 100 %  $H^+$  -muodossa. Kun hartsin läpi valutetaan eri ioneja ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ) sisältävää vettä niin runsaasti, että hartsipeti ehtyy, ovat veden sisältämät ionit jakautuneet hartsin kuvan 6 mukaisella tavalla.



Kuva 6. Ionien kromatografisen jakauma (17, osa 5, kuva 6).

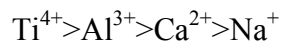
Näiden ns. kromatografisten vyöhykkeiden muodostumissyy on eri ionien ja hartsin toiminnallisen ryhmän välillä vallitseva affiniteettiero. (11, s. 14.)

Epäorgaanisten ionien jakaantumiseen ioninvaihtimen ja liuoksen kesken vaikuttavat mm. seuraavat tekijät:

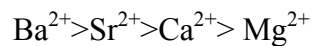
- Ionien sähkövaraukset.

Laimeissa liuoksissa normaalilämpötilassa affiniteettierot noudattavat seuraavia yleissääntöjä;

- mitä suurempi ionin valenssi, sen suurempi affiniteetti toiminnallista ryhmää kohtaan:



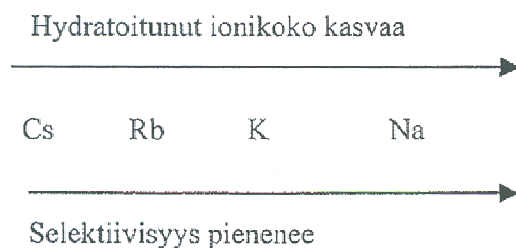
- kun kahden ionin valenssi on sama, suuremman atomipainon omaava ioni on selektiivisempi:



(11, s. 14.)

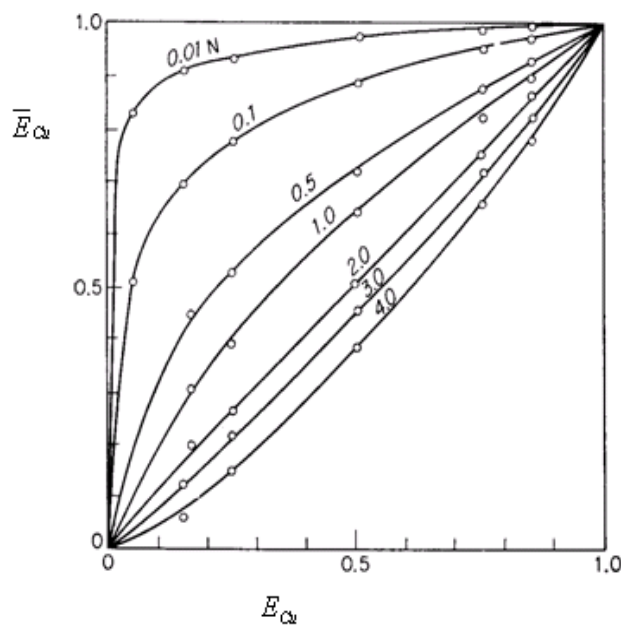
- Hydratoituneen ionin koko.

Ioninvaihdin suosii pienemmän ionikoon omaavaa ionia, esimerkiksi alkalimetalli-ioneilla kuvan 7 osoittamassa järjestyksessä.



Kuva 7. Ionikoon vaikutus selektiivisyyteen (8, s. 7).

- Ionivaihtimen luonne.  
Ioninvaihdin suosii ionia, joka assosioituu voimakkaammin vaihtimen funktionaalisten ryhmien kanssa.
- Kilpailevat tasapainot.  
Le Chatelierin periaatteen mukaan ioninvaihdin suosii ioneja, joka eivät osallistu ioninvaihdon kanssa kilpaileviin reaktioihin liuoksessa.
- Elektroselectiivisyys.  
Ioninvaihdin suosii korkeamman varauksen omaavaa ionia, joka tarkoittaa ionien elektroselectiivisyyttä. Kuvassa 8 on esitetty kationinvaihtimen elektroselectiivisyys, josta nähdään, että korkeamman varauksen omaavan ionin suosiminen lisää liuoksen laimenemista ja se on voimakkainta ioninvaihtimilla, joilla on korkea sisäinen molaalisuus. (6, s. 157.)



Kuva 8. Elektroselectiivisyys (8, s. 7).

- Selectiivisyys muuttuu vaihtimen tiheyden (vesipitoisuuden) muuttuessa (8, s. 7; 16, s. 122,123.)



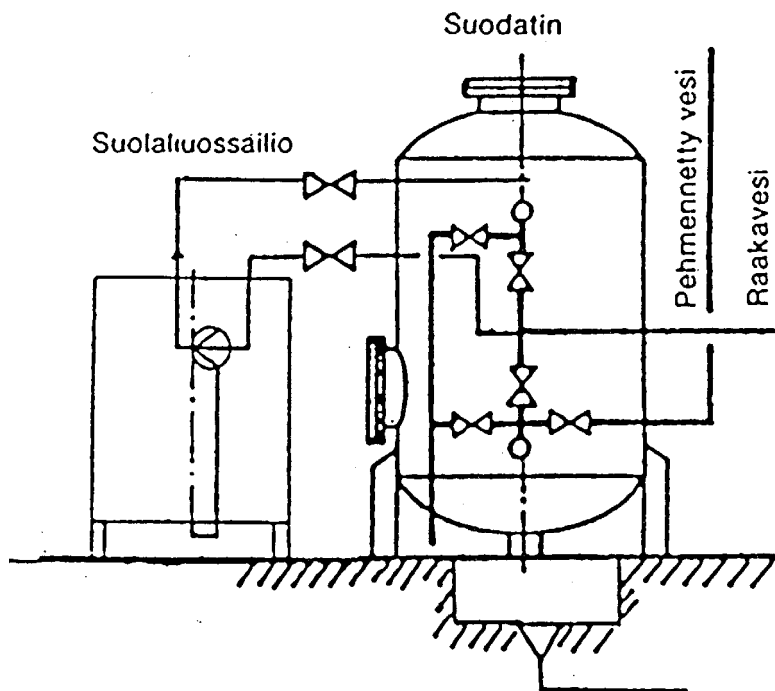
### 3.1.3 Fysikaaliset tekijät

Ioninvaihtoon vaikuttavia fysikaalisia tekijöitä ovat muun muassa lämpötila, paine, virtausnopeus, elvytyksessä ja ajovaiheessa käytettävän suolan pitoisuus ja säiliön mitat. Tavallisesti suolojen liukoisuus veteen paranee veden lämpötilan noustessa. Kovuus-suolat, Ca- ja Mg-suolat, käyttäytyvät päinvastoin, sillä niiden liukoisuus pienenee jyrkästi veden lämpötilan noustessa (2, s. 8).

Paine vaikuttaa tasapainoon vastapaineen kautta. Virtausnopeus vaikuttaa kontaktiaikaan, joka vaikuttaa myös tasapainoon. Suolapitoisuus vaikuttaa kilpailevien ionien kautta tasapainoon ja ehkä selektiivisyyteen. Säiliön mitat, ensinnäkin hartsin korkeus määrää riittävän teoreettisten pohjalukujen määrän eli sen montako kertaa ioninvaihto tehdään, jotta saavutetaan haluttu puhtausaste/ioninvaihtoaste. Teoreettinen pohjaluku kuvaa kolonnin erotuskykyä ja ilmoittaa, kuinka monta teoreettista pohjaa erotusprosessissa yhteensä on (23, s. 9).

## 4 Kaukolämpöjärjestelmä

Kaukolämpöjärjestelmissä lämpöenergiaa siirretään asiakkaalle veden välityksellä käyttäen kaukolämpöjohtoina useimmiten teräsputkia. Näiden putkistojen sisäpuolinen korroosio on tavallisimmin happikorroosiota, mutta myös korroosiotuotteet ja saostuvat yhdisteet, kuten kovuus, aiheuttavat ongelmia. Oikealla täyttöveden ja kiertoveden käsittelyllä korroosio- ja saostusongelmat voidaan poistaa tai ainakin vähentää niin, että suunniteltu käyttöikä verkolla ja kattiloilla saavutetaan. (24, s. 1.) Kaukolämpöverkkoon lisättävän veden ja kiertoveden kovuuden saa pois pehmentämällä vesi pehennyssuodattimella. Kuvassa 9 nähdään esimerkki pehennyssuodatinjärjestelmästä.



Kuva 9. Pehennyssuodatinjärjestelmä (17, osa 5, kuva 1).

Kaukolämpöjärjestelmien rakennemateriaalin vesipuoleisen korroosion ja kerrostumien muodostumisen estämiseksi tulee kiertoveden olla laadultaan käyttöolosuhteisiin

soveltuvaa. Kiertoveden ohjearvosuositukset, jotka riippuvat laitospuolesta ja kytkentävasta voimalaitoksella, on esitetty liitteessä 3. (24, s. 1-2.) Suomenojan voimalaitoksella pyritään noudattamaan laitospuolesta 10...100 MW suoran kytkennän ohjearvosuosituksia (4).

Ohjearvosuositusten mukainen kiertovesi saadaan aikaan täyttöveden sekä kiertoveden käsittelyllä. Lisäksi kaukolämpöjärjestelmien vesipuolen korroosio-ongelmat sekä saostumien ja kerrostumien aiheuttamat ongelmat voidaan pitää kurissa ylläpitämällä ohjearvosuositusten mukaista vesikemialla. (24, s. 2; 2, s. 2.)

#### 4.1 Raakavesi

Raakavedellä tarkoitetaan käsittelemätöntä luonnonvettä, jonka käsittelytarve vaihtelee hyvin paljon riippuen käyttökohteesta ja raakaveden laadusta (17, osa 4, s. 1). Suomenojan voimalaitoksella raakaveden lähteenä käytetään Espoon kaupungin vettä ja käänteisosmoosilaitoksen tuotevettä (käänteisosmoosilaitoksen raakavetenä käytetään merivettä), jotka käsitellään raakavedessä esiintyvien liuenneiden suolojen, dissosioituneiden ionien eli kationien takia veden pehmentimen kautta. Lisäksi kaukolämpöverkon lisävedestä poistetaan kaasut höyryllä kaasunpoistimessa, jossa on 0,2 bar ylipaine. Tätä vastaa kylläisen höyryn lämpötila n. 105 °C, ennen kuin lisävesi johdetaan kaukolämpöverkkoon. (17, osa 4, s. 1; 4; 25.)

#### 4.2 Kovuus

Kaikissa luonnonvesissä on vaihtelevia määriä kalsium- ja magnesiumsuoloja, jotka muodostavat ns. veden kovuuden. Kovuus voidaan kemiallisesti määrittää seuraavasti:

$$\text{Kovuus} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] \quad (5)$$

Kokeellisesti kovuus voidaan määrittää titraamalla vesi näyte EDTA (= etyleenidiamiinitetraetikkahappo) -liuoksella. (26, s. 342.)

Kovuussuolat saostuvat lämpötilan ja suolapitoisuuden kasvaessa karbonaateina ja sulfaatteina. Saostuminen tapahtuu sitä helpommin, mitä kovempaa vesi on ja mitä korkeampi lämmönsiirtopintojen lämpötila on. Tavallisimmin kovuussuolat esiintyvät bikarbonaateina, kalsiumbikarbonaattina  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  ja magnesiumbikarbonaattina  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , jolloin puhutaan karbonaattikovuudesta. Karbonaattikovuudesta eli ohimenevästä kovuudesta voidaan suurin osa saostaa kuumentamalla (27, s. 170). Kalsium ja magnesium voivat esiintyä myös kalsiumsulfaattina  $\text{CaSO}_4$  tai magnesium-sulfaattina  $\text{MgSO}_4$ , jolloin puhutaan mineraalihappokovuudesta eli pysyvästä kovuudesta. Karbonaattikovuuden ja mineraalihappokovuuden summaa kutsutaan kokonais-kovuudeksi, ja se ilmaistaan tavallisimmin saksalaisina asteina, °dH. Kovuuden kasvaessa lisääntyvät veden kovuuden haittavaikutukset. (18; 28, s. 22; 29, s. 6.)

Veden kovuus voidaan jakaa eri luokkiin taulukon 4 mukaisesti.

*Taulukko 4. Veden luokittelu kovuuden mukaan (30, s. 2).*

<b>Luokitus</b>	<b>°dH</b>	<b>mmol/dm<sup>3</sup></b>
Erittäin pehmeä	0 - 2,1	0,0 - 0,3
Pehmeä	2,1 - 4,9	0,3 - 0,9
Keskikova	4,9 - 9,8	0,9 - 1,8
Kova	9,8 - 21	1,8 - 3,8
Erittäin kova	yli 21	3,8 -

Kovuuden yksiköt vaihtelevat maakohtaisesti, joten ne voidaan tarvittaessa muuntaa taulukon 5 mukaisesti.

*Taulukko 5. Kovuusasteiden muuntotaulukko (28, s. 36).*

m val/l val/m <sup>3</sup>	Saksa °dH	Ranska °	Englanti »Clark» °	USA CaCO <sub>3</sub> mg/l	CaO mg/l	USA Grains
1	2,80	5,00	3,50	50,0	28	773,6
0,357	1	1,78	1,25	17,8	10	276,2
0,200	0,561	1	0,701	10,0	5,6	154,9
0,285	0,799	1,43	1	14,3	8,0	220,6
0,020	0,056	0,10	0,07	1	0,56	15,5

### 4.3 Kovuuden merkitys

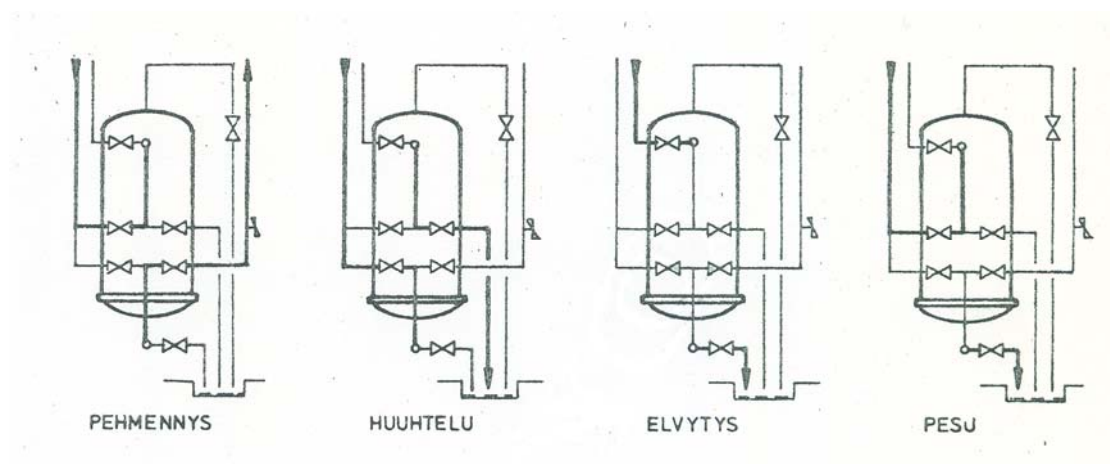
Kovuus merkitsee nykyään lämmönvesijärjestelmissä tapahtuvia saostumisia ja kattilakiven muodostusta. Seurauksena ovat tukkeutumiset ja lämmönsiirtokapasiteetin heikkeneminen. Kalsiumkovuudella on yhdessä veden hiilihappotasapainon kanssa myös merkitystä veden korroosiolle. Pehmeä vesi on korrodoivampaa kuin kova, koska siinä ei synny suojaava kerrosta putkien pinnoille. Joissakin tapauksissa lisätäänkin kalkkia vesijohtoveteen.

Kovuuden poisto voi perustua saostukseen tai ioninvaihtoon. Veden pehmenys perustuu kovuuden poistoon ioninvaihdolla. Ioninvaihtajilla pyritään yleensä erittäin alhaisiin jäännöspitoisuuksiin. (27, s. 170, 173-174.) Veden pehmenyksessä saadaan kovuus-suolojen tilalle natriumsuoloja, jotka ovat vesiliukoisia lämpötilan noustessa, joten ne eivät saostu kerrostumia aiheuttaen.

## 5 Yleiskuvaus veden pehennyksestä

### 5.1 Pehennyksen vaiheet

Suomenojalla pehmentimen ajovaiheet jakautuvat viiteen vaiheeseen, jotka ovat vastavirtahuuhtelu, regenerointi eli elvytys, hidas pesu (syrjäytys), nopea pesu (loppuhuuhdtelu) ja käyttövaihe (4). Pehennyksen ajovaiheet on esitetty kuvassa 9.



Kuva 10. Pehennyksen ajovaiheet (18, s. 13).

#### 5.1.1 Vastavirtahuuhtelu

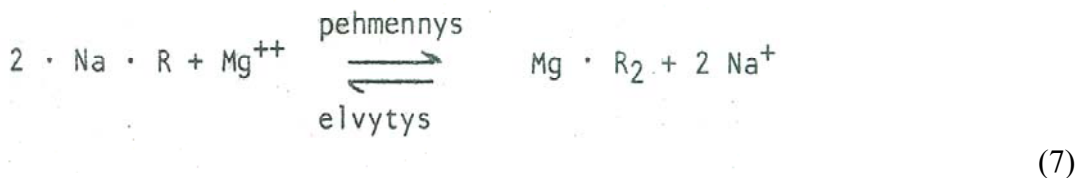
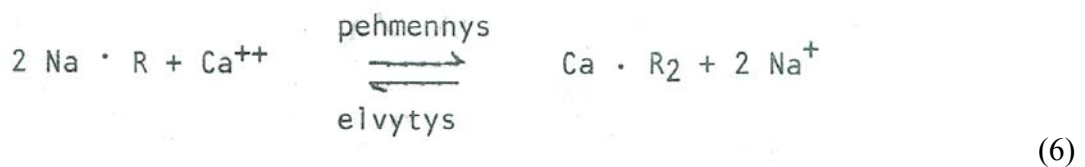
Massa huuhdellaan manuaalisesti alhaalta ylöspäin eli vastavirtaan. Vastavirtahuuhtelun tarkoituksena on ”laukaista” ajon aikana pakkaantunut hartsipeti eli sekoittaa massa. Lisäksi vastavirtahuuhtelu poistaa veden mukana tulleita epäpuhtauksia ja rikkoutunutta hartsia. Vastavirtahuuhtelussa hartsipedin tilavuus kasvaa n. 50–80 %. Vesi johdetaan ylijouksuna viemäriin. (11, s. 16; 13, s. 7.)

#### 5.1.2 Regenerointi

Kun ioninvaihtomassan kyky pehmentää vettä vähitellen vähenee, kapasiteetin loppuessa eli suodattimen alkaessa päästää kovuutta läpi, toisin sanoen hartsissa on jäljellä enää vain vähän natriumioneja eikä näin syötetyn veden kalsium- ja

magnesiumioneja enää pystytty poistamaan ja pehmennyssuodatin täytyy ”ladata uudelleen” eli elvyttää (29, s. 7; 31. s. 1).

Ioninvaihtomassan elvyttäminen tapahtuu johtamalla normaalisti käyttövirtauksen suunnassa natriumkloridia (NaCl) eli tavallista keittosuolaa ioninvaihtomassaan pehmennyssuodattimen läpi. Tällöin ioninvaihtomassa ottaa vastaan natriumioneja ja luovuttaa ne kationit, magnesiumin ja kalsiumin, jotka se sitoi itse pehmen- nysprosessissa. Nämä kationit joutuvat huuhteluveteen, ja sitä kautta ne johdetaan viemäriin. (28, s. 56; 17, osa 6, s. 6; 29, s. 7.) Veden pehmenyksessä tapahtuvat elvytysreaktiot (18, s.13) on esitetty seuraavissa reaktioyhtälöissä:



Regenerointikemikaalien määrä riippuu käytettävästä elvytyskemikaalista, hartsi- tyypistä sekä veden laadulle asetettavista puhtausvaatimuksista. Suomenojan voima- laitoksella käytettävä elvytyskemikaali on NaCl-liuos. Elvytyskemikaalien ajotapa hartsipetiin on joko myötä- tai vastavirtaelvytys. Kuvassa 9 on esitetty myötävirtaelvy- tyksen periaate, jota käytetään Suomenojalla. Elvytyskemikaalien kykyä regeneroida hartsi mitataan regenerointiasteella (8) (pitoisuuden ja ajan yhdistelmä) (11, s. 16). Suomenojalla elvytykseen vaikuttavia tekijöitä ovat virtausnopeus, vaikutusaika ja NaCl-liuoksen pitoisuus (suolaliuoksen lisävesi on hieman kaupungin vettä lämpimäm- pää, joten vesi on lähes vakiolämpöistä) (4).

$$\text{Regenerointiaste} = \frac{\text{ekv regenerointikemikaali}}{\text{ekv hartsin kapasiteetti}} \quad (8)$$

Kuvasta 4 nähdään vahvan kationinvaihtohartsin regenerointi- eli elvytysasteet.

### 5.1.3 Hidas pesu

Kun elvytyskemikaali on syötetty hartsipetiin, jatketaan samalla virtausnopeudella käyttövirtauksen suunnassa pelkän veden valutusta hartsipedin lävitse noin kahden petitilavuuden verran. Hidas pesu on yhtä tärkeä vaihe kuin varsinainen elvytys. (11, s. 17.) Hitaan pesun aikana huuhdotaan elvytyslaitteistot, ettei suola jää ruostuttamaan putkistoja eli estetään korroosiota. Hitaassa pesussa puhdistusteho on parempi kuin nopeassa pesussa, koska käytetään (täyssuolapoistettua) suolatonta vettä. (4.)

### 5.1.4 Nopea pesu

Hidasta pesua seuraa nopea pesu, jolloin suurella vesimäärällä huuhdellaan/poistetaan nopeasti hartsista jäljelle jääneet regenerointikemikaalit (11, s. 17). Nopeassa pesussa käytetään samaa raakavettä, millä pehmennetty vesi valmistetaan. Huuhtelu lopetetaan, kunnes kovuus on riittävän pieni ulostulevassa vedessä. (4.)

### 5.1.5 Käyttövaihe

Nopean pesun jälkeen aloitetaan raakaveden käsittely myötävirtaan. Virtausnopeus riippuu lisäveden käyttötarpeesta. Ajojakso loppuu, kun ulostulevan veden kovuus on 0,01-0,10 °dH (0,004-0,036 val/m<sup>3</sup>). (4.)

Ajon aikainen toiminta on esitetty reaktioyhtälöiden 6-7 avulla (oikealle etenevät reaktiot). Käyttövaiheessa käsiteltävä, suodatettava raakavesi sisältää Ca/Mg - bikarbonaattia, Ca/Mg (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ja Ca/Mg-sulfaattia, Ca/Mg SO<sub>4</sub> (17, osa 6, s. 6). Pehmennyksen aikana tapahtuu ionien vaihtuminen hyvinkin nopeasti, mistä johtuu, että aluksi vain ioninvaihtomassan uloin osa ottaa osaa prosessiin. Vyöhyke, jossa tämä pehmeneminen tapahtuu, ulottuu sitä alemmas, mitä suurempi on veden virtausnopeus.



Tällöin muodostuu hyvin selvä rintama, joka painuu alaspäin suodatinmassassa sitä mukaa kuin massan ioninvaihtokyky huononee. Periaatteessa voidaan ioninvaihtomassa saattaa alttiiksi kovallekin mekaaniselle rasitukselle ilman että se vahingoittuu ja voidaan käyttää suuria virtausnopeuksia, mutta tästä seuraa aina aktiivisen kerroksen leviäminen. Kun tämä kerros vähitellen painuu alas lähelle suodatinkerroksen pohjaa, kovuus vuotaa läpi eli pehmentämätöntä vettä joutuu pehmenneen veden mukaan. Jos tällöin suodatinta kuormitetaan suurella virtauskapasiteetilla, täytyy ottaa huomioon että pehennysvaihe täytyy keskeyttää ja elvyttäminen aloitetaan aikaisemmin. Siinä tapauksessa pyrkivät käyttökustannukset nousemaan, ja jos halutaan välttää suuri jäännöskovuus, täytyy suodatinnopeus pitää kohtuullisena myös suuren kuormituksen aikana.

Pehmennettäessä vaihtuu kaksi tai useampia ioneja ekvivalenttiin määrään natriumioneja, jolloin veden pH-arvo kohoaa hiukan. Ioninvaihtomassan vaihtokyky kasvaa sitä suuremmaksi, mitä enemmän suolaa käytetään elvytyksessä. Tämä merkitsee, että jollei käytetä ioninvaihtoon suurinta mahdollista vaihtokykyä, vähenee suolan kulutus ja siis myös käyttökustannukset. (28, s. 56-57.)

## 6 Pehmennyssuodatin

Pehmennyssuodatin on yksinkertaisimmassa muodossa säiliö, joka sisältää ioninvaihtomassaa. Tavallisessa pehmennyksessä on ns. vahvasti hapan styreeni-tyyppinen ioninvaihtomassa suositeltavin, koska sillä on suurin pehennysteho elvytysvälillä ja se on mekaanisesti hyvin kestävä. (28, s. 56.) Säiliössä on myös putkistot raaka- (tulo) ja käsiteltylle (ulostulo) vedelle. Putkien tulee olla valmistettu muovista, joka on hapon kestävä. Säiliön pinnoitteen tulee olla materiaaliltaan korroosionkestävää regeneroinnissa käytettävän liuoksen takia. (31, s. 1.) Pehmennyssuodattimen toimintaa valvotaan, ettei kovuuspitoista vettä pääse kaukolämpöverkkoon. Pehmennyssuodattimen toiminta on riippuvainen tuloveden kovuudesta, elvytystasosta, hartsin kemiallisesta ja fysikaalisesta kunnosta. Pehmennyssuodatin ei poista kovuutta 100-prosenttisesti, sillä osa kovuudesta menee läpi ns. vuotona. (18, s. 13.)



*Kuva 11. Suomenojan uusi pehmennyssuodatin (32).*

## 6.1 Suodattimen osat

Pehmennyssuodattimen osia ovat itse säiliö, pohjasuuttimet, miesluukku, näkölasit, jalat, nostokorvakkeet, hartsinpidäin, venttiilit ja painemittarit. Kuvassa 11 nähdään Suomenojan uusi pehmennyssuodatin, jossa vasemmalla etualalla näkyvät putkistot ja niihin liittyvät venttiilit. Suodattimen yläosassa nähdään oikealla puolella miesluukku ja keskellä kaksi näkölasia, jotka tarvitaan manuaalisesti tapahtuvan elvytyksen vuoksi.

## 6.2 Suodattimen varusteet

Pehmennyssuodattimen varusteita ovat virtausmittari SO, tarvittaessa jatkuvatoimisia mittareita ja sähkönjohtavuusmittari. Suomenojalla suodattimen yhteydessä on näytteenottoyhte elvytysvaiheessa tehtävää sähkönjohtavuusmittausta varten. Sen jatkuvatoimiseen mittaamiseen ei kuitenkaan ole tarvetta.

Näytteenottoyhteet tarvitaan raakavedestä ja tuotevedestä tehtäviä analyysejä varten. Lisäksi suodattimen ulkoisia varusteita ovat pumppu, suolaliuosallas, annostelulaitteet suolaliuosta sekä laimennus- ja huuhteluvettä (hidas pesu) varten. (4.) Kuvassa 12 nähdään esimerkki virtausmittarista.



*Kuva 12. Rotametri (33).*

### **6.2.1 Raaka- ja tuoteveden tarkkailu**

Raaka- ja tuoteveden valvonta perustuu pääasiassa näytteenottoon ja näytteiden analysointiin sekä jatkuvatoimisten mittareiden ja analysaattoreiden seurantaan. Saatuja analyysi- ja mittaustuloksia verrataan sitten ohjearvoihin, ja mikäli poikkeamia havaitaan, ryhdytään korjaaviin toimenpiteisiin arvon palauttamiseksi sallitulle alueelle. (17, osa 8, s. 1.)

Raakaveden pehmenystä valvotaan vesimäärämittarilla ja tuotevettä jäännöskovuusanalysein. Pehmentimestä tulevan veden kovuutta seurataan jakson loppupuolella lähes päivittäin ja vaihtelevalla vesilaadulla mahdollisesti useamminkin, jotta elvytysjakso voitaisiin ajoittaa oikein. (24, s. 15.) Suomenojan voimalaitoksella raakaveden tarkkailu keskittyy vesijohtovedestä tehtäviin analyysihin 2-4 kertaa kuukaudessa (4).

### **6.2.2 Suolaliuosallas**

Suolaliuosallas tarvitaan väkevän 20-25 % natriumkloridiliuoksen (NaCl-liuos) valmistamiseen. Väkevä NaCl-liuos pumpataan rotametrin kautta putkilinjaan, johon syötetään toisesta pumpusta ja rotametrin kautta tuleva lisävesi. NaCl-liuos laimenee tämän seurauksena elvytykseen soveltuvaksi eli noin 8-10-prosenttiseksi. (4.)

### **6.3 Huoltotoimenpiteet**

Pehmennyssuodattimelle kerran vuodessa tehtäviä huoltotoimenpiteitä ovat pohjaisuuttimien tarkistus, pinnoitemateriaalien kunnon tarkastus ja massojen pesu/vaihto tarvittaessa sekä hartsinpidättimen puhdistus (4).

## 7 Suomenojan voimalaitos

Espoon Suomenojalla sijaitseva Suomenojan voimalaitos tuottaa kaukolämpöä Espoon, Kauniaisten ja Kirkkonummen asukkaille sekä sähköä valtakunnan verkkoon. Laitos tuottaa sähköä noin 800 gigawattituntia ja kaukolämpöä noin 1700 gigawattituntia vuodessa.

Suomenojan voimalaitoksen pääpolttoaineet ovat maakaasu ja kivihiili. Pääosa Espoon kaukolämmöstä tuotetaan Suomenojalla hiiltä ja maakaasua käyttävissä yhteistuotantolaitoksissa. Suomenojan voimalaitoksen yhteistuotanto kattaa nykyisin noin 60 - 70 % Espoon tarvitsemasta kaukolämmöstä. Loput kaukolämpötarpeesta tuotetaan eri puolilla kaukolämpöverkkoa sijaitsevilla lämpökeskuksilla. Espoon, Kauniaisten ja Kirkkonummen alueiden kaukolämmön voimakas kasvu on tehnyt mahdolliseksi uuden, tehokkaan sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksen rakentamisen Suomenojan nykyisen voimalaitoksen yhteyteen. Uusi laitos valmistuu tuotantoon vuoden 2009 loppuun mennessä.

Rakennettava voimalaitos käyttää polttoaineenaan maakaasua. Sen sähköntuotantoteho tulee olemaan 234 megawattia (MW) ja kaukolämpöteho 214 MW. Uuden yksikön valmistuttua Suomenojan kaukolämpötuotanto vastaa noin 90 000 omakotitalon lämmöntarvetta. Nykyisen voimalaitoksen tuotantokapasiteetti on seuraava: sähköteho noin 130 MW ja kaukolämpöteho noin 345 MW. (34.)

## *Laskennallinen osa*

### **8 Mitoittamisen tavoite**

Suomenojan voimalaitoksella pehmennetään Espoon vesijohtovettä ja käänteisosmoosin tuotevettä kaukolämpöverkoston lisävedeksi. Koska pehmenneen veden tarpeen katsottiin lisääntyvän uuden laitoksen valmistumisen myötä, hankittiin laitokselle uusi veden pehmentin. Uusi pehmentin vaati omat putkilinjansa ja tietysti paikkansa, joten nämä olivat rajoituksena jo pehmentimen kokoa suunniteltaessa. Vanha ja uusi pehmentin ovat erikokoisia. Laskennassa pystyttiin kuitenkin hyödyntämään vanhalla pehmentimellä hyväksi havaittuja käyttöarvoja sekä olemassa olevaa putkistoa ja elvytyslaitteistoa viitteenä.

Tässä työssä mitoittamisen tavoitteena oli määrittää/optimoida uuden pehmentimen eri ajovaiheille käyttöarvot. Käyttövaiheen mitoittamisessa tarkasteltiin käyttöjakson pituutta elvytysasteeseen, tuloveden kovuuteen ja virtausnopeuteen nähden. Hartsin määrän muutosta edellä mainituissa tarkasteluissa tutkittiin prosessiteknisistä syistä. Myös tulevan veden kovuuden vaikutusta tutkittiin, jotta jatkossa voitaisiin miettiä muidenkin vesilähteitä käyttöä nykyisten rinnalla tai sijaan.

## 9 Pehmentimen mitoittaminen/ optimointi

### 9.1 Pehmennyssuodattimen mitat

Pehmennyssuodattimen mitat on esitetty säiliön layout-kaaviossa, liitteessä 5 (32). Lisäksi suodattimen mittoja ja niiden avulla laskettuja käyttösuureita on kirjattu taulukkoon 8.

### 9.2 Putkikoot

Suomenojan pehmennyssuodattimen säiliöön on liitetty kolme eri putkilinjaa, jotka ovat raakaveden annosteluputki DN100, suolaliuoksen syöttöputki DN40 ja tuoteveden poistoputki DN100. Putkikokojen tarkastelussa pidettiin kriteereinä säiliön jälkeistä 2 bar:n vastapainetta ja maksimivirtausnopeutta 3 m/s, joka on määritetty melutason mukaisesti. Taulukossa 6 on esitetty edellä mainittujen putkien koolle sallitut virtausnopeudet, joista havaitaan, ettei virtausnopeus 3 m/s ylity (35).

*Taulukko 6: Pehmennyssuodattimen putkikoot.*

Putkikoko	D [mm]	Seinämä [mm]	Q [l/s] v = 3 m/s	m <sup>3</sup> /h
DN40	48,3	2	4,6	16,6
DN100	114,3	1,5	29,2	100,8

### 9.3 Laskennallinen osuus

Uuden pehmennyssuodattimen mitoituksessa käytettiin käsiteltävälle vedelle kovuuden arvoa 4,1 °dH, joka vastaa arvoa 1,48 meq/l (36; 37). Laskennallinen osuus perustuu vesianalyysiin, joka on kokooma vuoden 2003-2004 aikana tehdyistä raakavesianalyyseistä, liite 4 (38). Käyttöjakson pituus on laskettu jäännöskovuuteen 0,01 meq/l ja kovuus vuotoon 0,02 meq/l, joka vastaa noin 0,05 °dH:ta.

Käänteisosmoosiveden ajamista pehmentimen läpi ei tarkasteltu tässä yhteydessä, vaikka sitäkin käytetään Suomenojalla raakavetenä prosessiteknisistä syistä.

Käänteisosmoosiveden kovuus on keskimäärin  $< 0,01$  °dH, joten on kyseenalaista, kannattaako tällaista vettä enää ioninvaihdolla pehmentää. (39, s. 1.)

Säiliön mittojen, Microsoft Excel -ohjelmiston sekä Cadix-mitoitusohjelman (versio 6.1.0) avulla saatiin laskettua taulukossa 7 esitetyt pehennyssuodattimen käyttösuureet. Laskennassa tuloveden lämpötilana käytettiin 15 °C:ta, mutta veden lämpötila voi vaihdella välillä 8–20 °C.

*Taulukko 7. Pehennyssuodattimen mittoja ja suureita.*

<b>Pehennyssuodatin</b>		
		esim. Lewatit MP S100, Lewatit S1467, Marathon C
Hartsityyppi		
Tuloveden lämpötila	°C	15
Suodattimen ulkohalkaisija	mm	1800
Suodattimen sisähalkaisija	mm	1782
Suodatuspinta-ala	m <sup>2</sup>	2,49
Suodattimen vaippakorkeus	mm	1500
Hartsipatjan korkeus	mm	1060
Hartsipatjan tilavuus	l	2644
Paisuntavara	%	42
Virtausalue pehennettäessä	m <sup>3</sup> /h	11 - 40
Lineaarinen virtausnopeus	m/h	4,4 - 16,0
	BV/h	4,2 - 15,1
Käyttökapasiteetti	meq/l	1335
Nettotuotto	m <sup>3</sup>	3334
Ionikuorma	eq (Ca <sup>2+</sup> ja Mg <sup>2+</sup> )	3467
Painehäviö 15 °C:ssa	kPa	17,2
Elvytystapa		myötävirtaan
Elvytyskemikaali		NaCl
Elvytysaste	g/l (NaCl / hartsi)	150
Kemikaalimäärä 100 %:na	kg	390
Elvytyskemikaalin suhde ionikuormaan	%	192



Cadix-ohjelmalla mitoitukset tehtiin kahdella tuloveden lämpötilalla, 8 °C ja 15 °C, koska tuloveden lämpötila voi olla myös 8 °C. Lisäksi oletettiin elvytyskemikaalin annostukseksi 150 g/l hartsia. Tämä elvytysaste valittiin suositusalueen perusteella (kuva 4), jossa suolanlisäyksellä on suurempi vaikutus kapasiteettiin kuin loppupäässä käyrää eli elvytysasteen kasvaessa. Lisäksi käyttötalous ja elvytyslaitteiston koko vaikuttavat elvytysasteen valintaan. Cadixilla saadut tulokset on esitetty liitteessä 7. Tuloksista havaitaan, että alhaisemmalla veden lämpötilalla (alueella 8-15 °C) on vähentävä vaikutus nettotuottoon, käyttökapasiteettiin, ionikuormaan, painehäviöön ja elvytyskemikaalin suhteessa ionikuormaan.

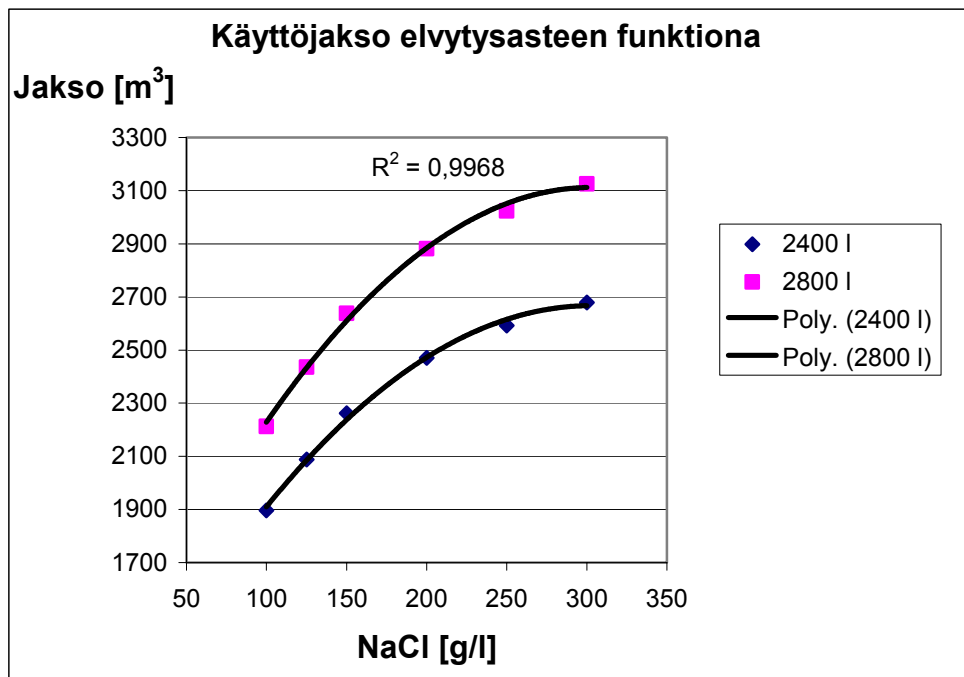
Cadix-ohjelmalla saatiin mitoitettua myös elvytysohjelma molemmilla veden lämpötiloilla (liite 7). Tuloksista havaitaan, että tuloveden lämpötila vaikuttaa vastavirta-huuhtelun arvoihin siten, että alhaisemmalla lämpötilalla virtausnopeus on pienempi. Tosin Suomenojalla ei käytetä suolaliuoksen syötössä ja syrjäytyksessä raakavettä, vaan lisävettä eli suolatonta vettä, joten näiden osalta arvot ovat vain viitteellisiä. Seuraavaksi tarkasteltiin eri ajovaiheiden mitoitusarvoja.

### 9.3.1 Käyttövaihe

Pehmennettyä vettä valmistettaessa käytetään virtausaluetta 3,0 - 11,1 kg/s (=11 - 40 m<sup>3</sup>/h). Tällä mahdollistetaan tehokas ioninvaihtotapahtuma ja samalla estetään liian hitaasta virtauksesta johtuva hartsipatjan kanavoituminen, joka voidaan estää vastapaineella. Toisin sanoen, jotta pehmentimen jälkeinen kaukolämpöverkon lisäveden kaasunpoistin toimisi, on virtauksen oltava vähintään 3 kg/s. (18; 25, s. 3.) Suomenojalla käytössä olevan LEWATIT monopluus S 100-hartsin lineaarisen virtausnopeuden maksimiarvo on 60 m/h (40,8 kg/s) ja LEWATIT S 1467-hartsille 30 - 50 m/h (20,4 - 34 kg/s) (40, s. 3; 41).

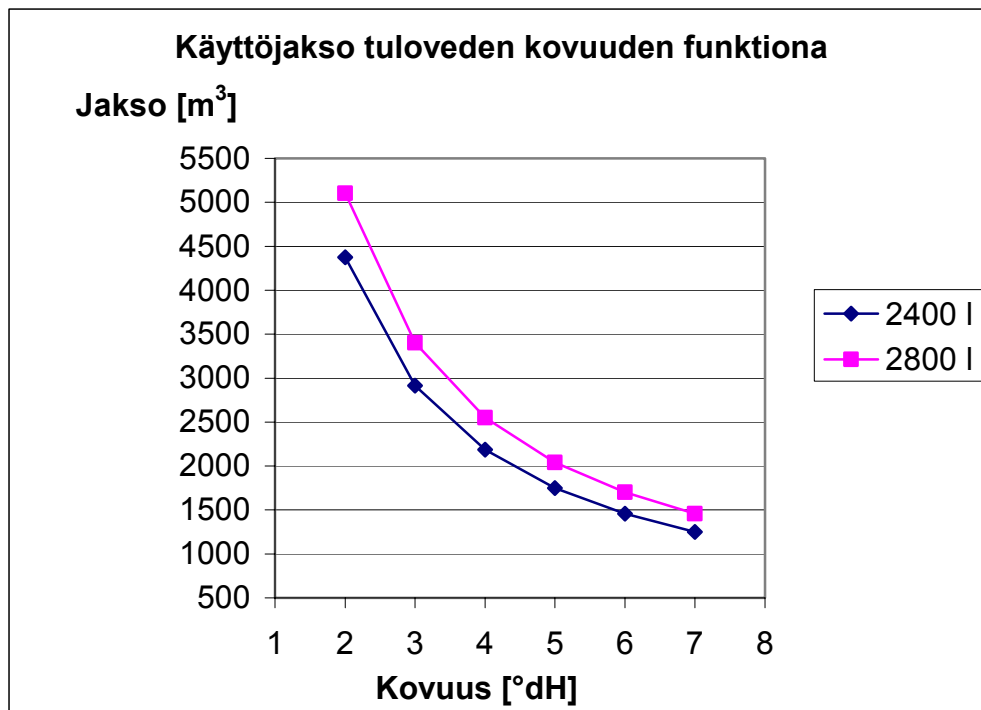
Käyttövaiheen mitoittamisessa käytettiin LANXCESSin mitoituskuvaajia, jotka perustuvat LEWATIT S 1467-hartsin ominaisuuksiin (19, s. 5-8). LEWATIT monopluus S 100- ja LEWATIT S 1467-hartsit omaavat lähes samat käyttöarvot, joten mitoituskuvaajien käyttö oli siinä mielessä järkevää.

Ensimmäisenä tarkasteltiin käyttökapasiteetin suuruutta eli käyttöjakson pituutta elvytysasteeseen nähden. Säiliön mittojen mukaan laskettu säiliöön laitettava hartsimäärä on noin 2600 l (taulukko 7), joten mitoituksessa ja kuvaajien tarkastelussa päätettiin käyttää lasketun arvon molemmin puolin olevia arvoja, 2400 l ja 2800 l. Käyttökapasiteetin määrittämisessä otettiin huomioon natriumin konsentraation ja kokonaiskovuuden vaikutus (19, s.6, kuvaajat 2-3). Käyttökapasiteettia ei kuitenkaan voitu tarkastella kokonaiskovuuden mukaan, koska raakavesianalyyseistä (liite 4) saatu kokonaiskovuuden arvo ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = 1,039 \text{ meq/l}$ ) oli liian pieni kuvaajan asteikkoon nähden. Liitteessä 6 on esitetty laskentataulukko (11), josta nähdään käytettyjä elvytysasteita vastaavat käyttöjaksot. Lasketuista arvoista piirrettiin kuvaaja (kuva 13), jonka sovitus on polynominen. Kuvaajasta nähdään, että suuremmalla, 2800 l:n hartsimäärällä saavutetaan pidempi käyttöjakso samalla elvytysasteella verrattaessa 2400 l:n hartsimäärään.



Kuva 13. Käyttöjakso elvytysasteen funktiona.

Toisena tarkasteltiin käyttöjakson pituutta tuloveden kovuuteen nähden. Oletusarvoksi valittiin optimaalinen käyttökapasiteetti 1,3 ekv/l, jota vastaa elvytysaste 150 g/l (taulukko 10). Tämän käyttökapasiteetin mukaan laskettiin valituille tulevan veden kovuuden arvoille (2-7 °dH) käyttöjaksot. Liitteessä 6 on esitetty tätä tarkastelua varten lasketut arvot (taulukko 11). Kovuuden arvot muutettiin käyttämällä valmista kovuuden muutostaulukkoa (42). Kuvasta 14 nähdään veden kovuuden vaikutus käyttöjaksoon, eli mitä pienempi tulevan veden kovuus, sitä pidempi on käyttöjakso. Hartsin määrällä on suurempi vaikutus pienemmillä veden kovuuksilla kuin suurilla.



Kuva 14. Käyttöjakso tuloveden kovuuden funktiona.

Tässä yhteydessä tarkasteltiin vielä, paljonko suolan määrä vaikuttaa hintaan (taulukko 8). Natriumkloridin hinta on 340 €/t (43).

*Taulukko 8. Suolan määrä ja hinta.*

NaCl [g/l]	Hinta [€]	Hinta [€]	Hinta [€]
100	82	88	95
150	122	133	143
200	163	177	190
250	204	221	238
300	245	265	286
	<b>Hartsin määrä [l]</b>	<b>Hartsin määrä [l]</b>	<b>Hartsin määrä [l]</b>
	2400	2600	2800

Viimeisenä tarkasteltiin virtausnopeuden vaikutusta käyttöjaksoon, kuvaajan 4 avulla (19, s. 7). Kuvaajan asteikko ei kuitenkaan riittänyt pehmentimen virtausalueelle 3-11,1 kg/s, vaan kuvaajan virtausalue alkoi liian suuresta arvosta verrattaessa pehmentimen tulevaan käyttövaiheen virtausalueeseen. Kuvaajasta voidaan kuitenkin todeta, että käyttöjakso lyhenee virtausnopeuden kasvaessa.

Jäännöskovuuden noustua yli sallitun arvon  $> 0,05$  °dH tai turvalliseksi todetun käyttöjakson jälkeen suoritetaan elvytys. Teoreettinen jakso 3334 m<sup>3</sup> (taulukko 8). Kun elvytys tulee suorittaa, otetaan toinen pehmentin käyttöön. (4.) Elvytys koostuu seuraavista tarkastelluista vaiheista.

### 9.3.2 Vastavirtahuuhtelu

Vastavirtahuuhteluun suositeltava virtausnopeus on 10 - 12 m/h käytettäessä LEWATIT monopluks S100-hartsia (40, s. 3). Ajallisesti huuhtelu kestää vähintään 15 min (liite 7). Virtausnopeuden määrää hartsipatjan leijutus. Maksimikorkeutena leijutuksessa pidetään säiliön ylempää näkölasia (kuva 12). Vastavirtahuuhtelua jatketaan katsomalla silmämääräisesti, paljonko hajonnutta hartsia tai epäpuhtauksia on vedessä (4).

### 9.3.3 Suolaliuoksen syöttö

Suolaliuoksen syötön optimivirtausnopeus on 5 m/h (40, s. 3). Lisäksi suolasyötön aikana on suodattimessa oltava noin 2 bar:n paine. Elvytyssuolan ajo pehmenyys-suodattimeen toteutetaan tekemällä suola-altaaseen 25 % NaCl-liuos, joka sekoitetaan/laimennetaan lisävedellä ja rotametrien avulla 8-massaprosenttiseksi putkilinjassa, ennen kuin se johdetaan pehmenyys-suodattimeen. Rotametrien virtausnopeusrajat ovat lisävedelle 0-7500 l/h ja suolaliuokselle 0-3000 l/h (44).

Elvytykskemikaali menee suodattimeen DN40-putkilinjaa pitkin. Elvytykseen käytetty suolaliuos valmistetaan suola-altaaseen liuottamalla 400 kg eli 16 kappaletta 25 kg säkkejä NaCl:a 1200 l:aan suolatonta vettä. Jotta saadaan elvytykseen sopiva 8 m-%:n suolaliuos aikaiseksi, altaasta tuleva 25 % suolaliuos syötetään nopeudella 3 m<sup>3</sup>/h ja laimennosvetenä käytetty lisävesi nopeudella 7,5 m<sup>3</sup>/h. Kokonaisvirtaus on tällöin 10,5 m<sup>3</sup>/h, joka on 84 % optimaluueesta. Tämä on yksi syy, ettei suodatinta voitu hankkia suurempana. Tähän ajovaiheeseen menee aikaa 27 minuuttia. Minimikontaktiaika pehmentimen elvytyksessä on 15 minuuttia (45).

### 9.3.4 Syrjäytys

Syrjäytyksessä syötön optimivirtausnopeus on 5 m/h (40, s. 3). Virtausnopeus 5 m/h vastaa nopeutta 4,7 BV/h, hartsipatjan korkeuden ollessa 1,06 m. Jos ajettaisiin vettä yksi petitilavuus hartsinpatjan lävitse, saadaan syrjäytysajaksi 12 minuuttia. Kokonaisvirtaus syrjäytyksessä olisi tällöin 3,5 kg/s (=12,5 m<sup>3</sup>/h). Syrjäytyksessä on kuitenkin otettava huomioon rotametrien säädettävissä oleva maksimivirtausnopeus 7500 l/h, joka vastaa arvoja 7,5 m<sup>3</sup>/h ja 2,1 kg/s. Tämän vaiheen ajoajaksi tulee 21 minuuttia.

### 9.3.5 Pesu

Elvytyksen loppupesuu suoritetaan jäännöskovuuteen noin  $< 0,01$  °dH. Ajallisesti vaihe kestää 20 - 30 min. Pesussa on huomioitava 2 bar:n vastapaine kanavoitumisen estämiseksi. Sopiva virtausalue loppupesulle selviää käytännössä kokeilemalla. Loppupesussa käytetään samoja viemäriinjoja kuin suolaliuoksen syötössä ja syrjäytyksessä.

(4.)

## 10 Yhteenveto

Suomenojan voimalaitokselle hankittiin uusi pehmenyysuodatin vanhan rinnalle. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tulevaisuudessa kaksi pehmenintä mahdollistaa keskeytymättömän pehmenetyn lisäveden ajon kaukolämpöverkkoon. Yhdellä pehmentimellä elvytyksen ajoittaminen heti kapasiteetin ehdyttyä ei aiemmin aina ollut mahdollista. Lisäksi kaksi pehmenintä mahdollistaa sen, että vuosihuolto/vuosihuollot voidaan tehdä myös tästä lähtien talven aikana. Aiemmin huolto on suoritettu kesäelokuun aikana, koska muulloin lisäveden tarve on liian suuri. Näin ollen pehmenytapahtuma voidaan jaksottaa siten, että toinen kolonni on ioninvaihtovaiheessa ja toinen on regenerointivaiheessa. Käyttämällä kahta kolonnia rinnan voidaan vettä juoksuttaa jatkuvasti prosessin läpi. (3, s. 1.)

Laskennallisessa osassa päädyttiin taulukossa 9 esitettyihin käyttöarvoihin, joilla pehmentimen toimintaa lähdetään testaamaan. Uusi pehmenyysuodatin otetaan käyttöön viimeistään toukokuun alkupuolella.

*Taulukko 9. Elvytysohjelma.*

Elvytys			kesto (min)	kulutus (m <sup>3</sup> )
	m <sup>3</sup> /h	m/h		
Vastavirtahuuhtelu	25 - 30	10 - 12	15	-
NaCl syöttö 8 %	10,5	4,2	27	4,7
Syrjäytys	7,5	3,0	21	2,6
Pesu	18 - 21,6	7,2 - 8,7	-	-

## Lähteet

- 1 Kaasalainen, Joonas. Voimalaitoksen vedenkäsittelyn uudet menetelmät. (WWW-dokumentti.)  
<<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/30957/TMP.objres.718.pdf?sequence=1>>. 27.4.2007. Luettu 10.5.2008.
- 2 Sonninen, Risto. Kaukolämpöveden käsittely. Imatran Voima Oy. 1996.
- 3 Espo, Jere. Kemiantiimin vastaava, Fortum Oy, Suomenojan voimalaitos. Uusi kaukolämpöverkon lisäveden pehmenyysuodatin. Muistio. 4.7.2007.
- 4 Espo, Jere. Kemiantiimin vastaava, Fortum Oy, Suomenojan voimalaitos. Keskustelut 31.10.2008 ja 5.12.2008.
- 5 Espo, Jere. Kemiantiimin vastaava, Fortum Oy, Suomenojan voimalaitos. Vesimäärien laskentataulukko, Microsoft Excel. 16.1.2009.
- 6 Helfferich, Friedrich. Ion Exchange. New York: Dover Publications, Inc., 1995.
- 7 Ion Exchange Resins. (WWW-dokumentti.)  
<<http://www.nzic.org.nz/ChemProcesses/water/13D.pdf>>. Luettu 20.9.2008.
- 8 Ioninvaihto ja sen käyttö teollisten jätevesien käsittelyssä. Helsingin yliopisto, radiokemianlaitos. Helsinki. 2003.
- 9 Introduction to industrial ion exchange. (WWW-dokumentti.) McGarvey. Sybron Chemicals Inc.  
<[http://www.sybronchemicals.com/service/pdf/reprints/Intro\\_Indust\\_IX.pdf](http://www.sybronchemicals.com/service/pdf/reprints/Intro_Indust_IX.pdf)>. Luettu 10.5.2008.



- 10 Ion exchange resin. Wikipedia. (WWW-dokumentti).  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Ion\\_exchange\\_resin](http://en.wikipedia.org/wiki/Ion_exchange_resin)>. Luettu 20.9.2008.
- 11 Mononen, H. Ioninvaihtohartsit. Tampere: Cultor Oy, 1989.
- 12 Prosessitekniikan yksikköprosessit. Pihkala, Juhani & Opetushallitus. Hakapaino Oy., Helsinki. 2003.
- 13 Santasalo, Pentti. Vesien käsittely. Voimalaitoskemia. Insko. Helsinki. 1983.
- 14 Vuorinen, Jani. Teollisuuden Vesi Oy. Ioninvaihto täyssuolanpoistossa. (WWW-dokumentti.) <[www.promaint.net/downloader.asp?id=3095&type=1](http://www.promaint.net/downloader.asp?id=3095&type=1)>. Luettu 28.2.2009
- 15 Rousseau, Ronald W. Handbook of separation process technology.  
<[http://books.google.fi/books?id=gmnWZ1zNON0C&pg=PA697&lpg=PA697&dq=michael+streat+and+francis+louis+dirk+cloete&source=bl&ots=69IvI9ueR3&sig=GGrqSQN1UR9GG-fQTi4Rkg-1eO0&hl=fi&ei=9pPESdTIACSOsAaulenUCw&sa=X&oi=book\\_result&resnum=1&ct=result#PPA698,M1](http://books.google.fi/books?id=gmnWZ1zNON0C&pg=PA697&lpg=PA697&dq=michael+streat+and+francis+louis+dirk+cloete&source=bl&ots=69IvI9ueR3&sig=GGrqSQN1UR9GG-fQTi4Rkg-1eO0&hl=fi&ei=9pPESdTIACSOsAaulenUCw&sa=X&oi=book_result&resnum=1&ct=result#PPA698,M1)>. Luettu 20.3.2009
- 16 Saarinen, Heikki. Lajunen, Lauri H.J. Analyttisen kemian perusteet. Kemian kustannus Oy. Helsinki. 1992.
- 17 Silvennoinen, Seppo. Höglund, Esa. EKONO Oy. Voimalaitoksen vesikemian perusteet. Syöttövedenkäsittelyn kurssi 17.-18.5.1988. Energiataloudellinen yhdistys.
- 18 Höyryvoimalaitoksen vedenkäsittely. Kurssimateriaali. EKONO.
- 19 Engineering information. Softening with lewatis. Moniste. Lanxess.

- 20 Diffuusio. Wikipedia. (WWW-dokumentti).  
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Diffuusio>>. Luettu 20.1.2009.
- 21 P.W.Atkins. Physical Chemistry, 5<sup>th</sup> edition. Oxford University Press. 1994.
- 22 DOWEX™ Ion Exchange Resins. (WWW-dokumentti.)  
<[http://www.dow.com/PublishedLiterature/dh\\_0054/0901b803800541d8.pdf?filepath=liquidseps/pdfs/noreg/177-01755.pdf&fromPage=GetDoc.](http://www.dow.com/PublishedLiterature/dh_0054/0901b803800541d8.pdf?filepath=liquidseps/pdfs/noreg/177-01755.pdf&fromPage=GetDoc.)>  
Luettu 15.10.2008.
- 23 Robert, Franzen. KEM-4350 Kromatografia ja massaspektroskopia. 2.9 & 9.9.2005(WWW-dokumentti).  
<<http://www.tut.fi/units/ymp/kem/opintojaksot/KEM-4350/luennot1ja2.pdf>>  
Luettu 16.3.2009.
- 24 Kaukolämmön kiertoveden käsittely. Lämpölaitosyhdistys ry., 1988.
- 25 Kylläisen höyryn laskentataulukko. Spirax Sarco. (WWW-dokumentti).  
<<http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-tables/saturated-steam.asp>>. Luettu 4.4.2009.
- 26 Baird, Colin. University of Western Ontario. Environmental chemistry. 1995.  
W.H.Freeman and Company. New York. 1995
- 27 Isoaho, Simo & Valve, Matti. Vesikemian perusteet. Otakustantamo. Helsinki. 1986.
- 28 Salmi, Veli. Vesikirja. Insinööritoimisto Kaiko Oy. Helsinki: Uusi Kivipaino Oy, 1984.
- 29 Berg, Timo & Haakana, Mikko. Lämpöaalto Oy. Vedenkäsittely.

- 30 Veden kovuus. (WWW-dokumentti.)  
<<http://www.chemistry.hut.fi/eokem/courses/KE359220/Veden%20kovuus.pdf>>  
Luettu 24.11.2008.
- 31 Ion exchange units: cation exchange (Softeners) and anion exchange. Alabama A&M and Auburn universities. (WWW-dokumentti.)  
<<http://www.massengineers.com/Documents/PDF/ion%20excangers.pdf>>. Luettu 20.3.2009
- 32 Peltola, Hannu. Myyntipäällikkö. Kaiko Oy. Sähköpostiviesti 19.12.2008. Helsinki.
- 33 Virtauksen mittaaminen. Rotametri. (WWW-dokumentti.)  
<[http://www.tp.spt.fi/~salabra/automaatio/ProsSim/Doc/Sensors/Virtaus.html#\\_Toc174184455](http://www.tp.spt.fi/~salabra/automaatio/ProsSim/Doc/Sensors/Virtaus.html#_Toc174184455)>. Luettu 26.8.2008.
- 34 Fortum, Energiatuotanto, Lämmöntuotanto, Suomenojan voimalaitos. (WWW-dokumentti.)  
<[http://www.fortum.fi/dropdown\\_document.asp?path=14020;14028;14029;14055;14244;14248;41108;41111](http://www.fortum.fi/dropdown_document.asp?path=14020;14028;14029;14055;14244;14248;41108;41111)>. Luettu 7.10.2008.
- 35 Huopalainen, Jorma. Suunnittelija, Fortum Oy, Suomenojan voimalaitos. Putkiluettelo; Putkien tilavuudet ja painot. Excel-taulukko. 15.5.2008.
- 36 Karaste, Suvi. Asiantuntija, Fortum Oy, Suomenojan voimalaitos. Päivittäiset vesianalyysit 2008-2009, excel-taulukko.
- 37 Water hardness conversion. (WWW-dokumentti.)  
<<http://users.tinyonline.co.uk/chrisshort/waterhard.htm?startconc=1.27&gunit=milligrammes+per+litre+%28mg%2F%29+as+calcium+%28Ca%29&runit=milliequivalents+per+litre+%28meq%2F%29+or+mval%2F%29&answers=The+answer+will+appear+here>>. Luettu 29.1.2009.

- 38 Tap water + process return water. Vesianalyysien kooste 2003 – 2004 tehdyistä RAVE kokeista. Pollab.
- 39 Vuorinen, Jani, E.ON. Kaukolämmön lisäveden pehmennyssuodatin. Muistio 8.12.2004.
- 40 Lewatit MonoPlus S 100. Bayer Chemicals. 2002.
- 41 Dinges, Björn. Manager Technical Marketing, LANXESS Deutschland GmbH. Lewatit MonoPlus S100. Sähköposti, bjoern.dinges@lanxess.com. 20.5.2008.
- 42 Converter for hardness of water. (WWW-dokumentti).  
<<http://www.cactus2000.de/uk/unit/masswas.shtml>>. Luettu 7.4.2009.
- 43 Kemikaalitarjous Suomenojan voimalaitokselle. Algol. 2009.
- 44 Espo, Jere. Kemiantimin vastaava, Fortum Oy, Suomenojan voimalaitos. Pehmennyssuodattimen perusvaatimukset, muistio. 30.10.2007.
- 45 Vuorinen, Jani. Asiantuntija, Teollisuuden Vesi. Minimi kontaktiaika pehmentimen elvytyksessä. Sähköpostiviesti. 23.4.2009.

## **Liitteet**

Liite 1: Kationinvaihtimen rakenne

Liite 2: Vahvan kationinvaihtajan selektiivisyyskertoimia neljällä ristisilloitusasteilla

Liite 3: Kiertoveden ohjearvosuositukset

Liite 4: Vesijohtoveden ja prosessiin palaavan veden analyysitulokset 2003-2004

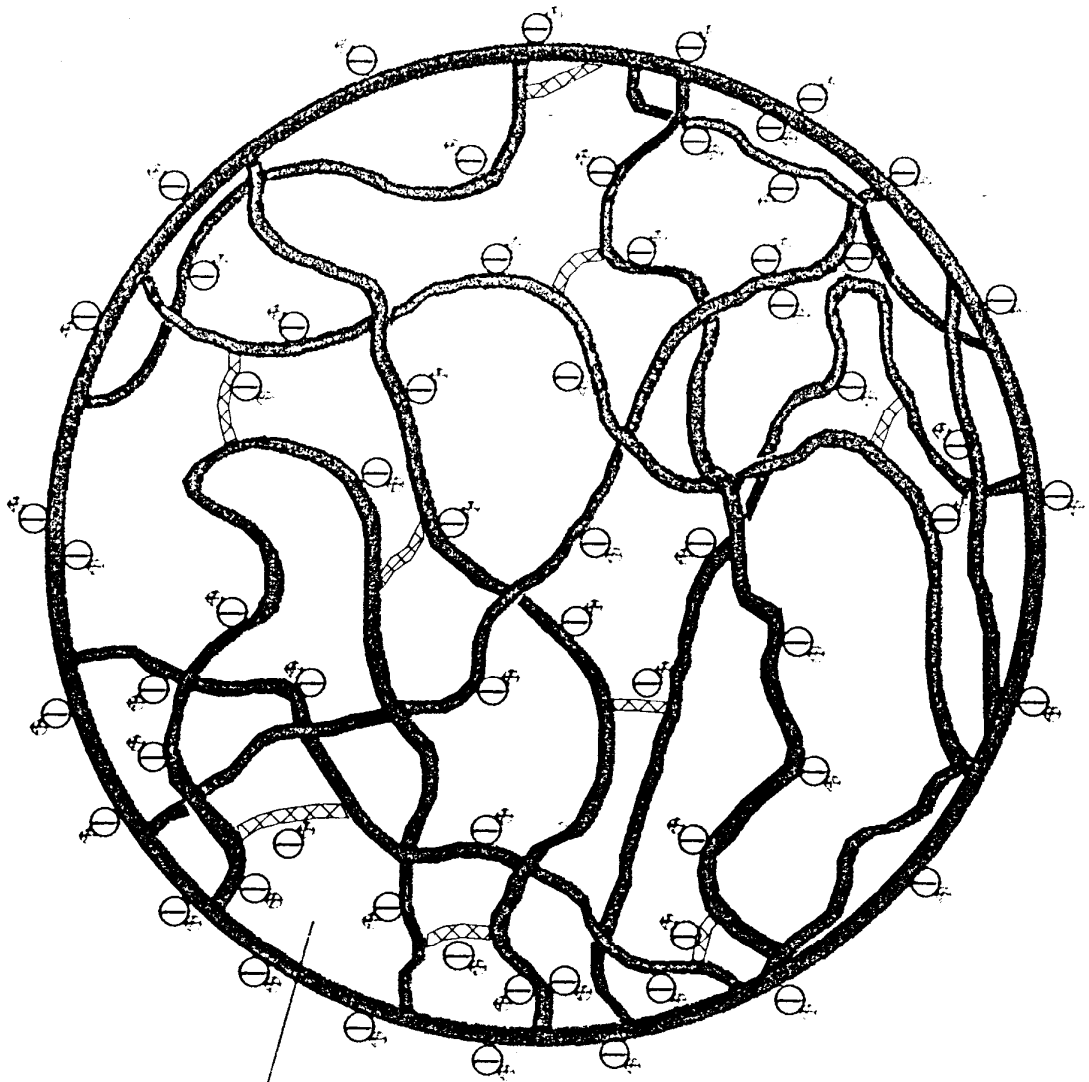
Liite 5: Pehmennyssuodattimen säiliön layout

Liite 6: Pehmennyssuodattimen mitoituskuvaajien viitearvot

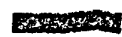
Liite 7: Cadix-mitoitusohjelman suunnittelutulokset

**Liite 1: Kationinvaihtimen rakenne**

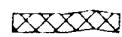
**KATIONINVAIHTIMEN RAKENNE**



"vapaa" sisäinen vesi, ioninvaihtohartsin kosteus



polystyreeni ketju



ketjujen ristisilloitus divinyylibentseenin avulla



negatiivinen sylfonihapporyhmä, kiinnittynyt kemiallisesti runkoon



positiivinen liikkuva, vaihdettava kationi esim.  $\text{Na}^+$

**Liite 2: Vahvan kationivaihtajan selektiivisyyskertoimia neljällä ristisilloitusasteella**

Counter Ion	Degree of Crosslinking			
	4% DVB	8% DVB	10% DVB	16% DVB
Li <sup>+</sup>	0.76	0.79	0.77	0.68
H <sup>+</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00
Na <sup>+</sup>	1.20	1.56	1.61	1.62
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.44	2.01	2.15	2.27
K <sup>+</sup>	1.72	2.28	2.54	3.06
Rb <sup>+</sup>	1.86	2.49	2.69	3.14
Cs <sup>+</sup>	2.02	2.56	2.77	3.17
Ag <sup>+</sup>	3.58	6.70	8.15	15.6
Tl <sup>+</sup>	5.08	9.76	12.6	19.4
UO <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	1.79	1.93	2.00	2.27
Mg <sup>2+</sup>	2.23	2.59	2.62	2.39
Zn <sup>2+</sup>	2.37	2.73	2.77	2.57
Co <sup>2+</sup>	2.45	2.94	2.92	2.59
Cu <sup>2+</sup>	2.49	3.03	3.15	3.03
Cd <sup>2+</sup>	2.55	3.06	3.23	3.37
Ni <sup>2+</sup>	2.61	3.09	3.08	2.76
Ca <sup>2+</sup>	3.14	4.06	4.42	4.95
Sr <sup>2+</sup>	3.56	5.13	5.85	6.87
Pb <sup>2+</sup>	4.97	7.80	8.92	12.2
Ba <sup>2+</sup>	5.66	9.06	9.42	14.2

### Liite 3: Kiertoveden ohjearvosuositukset 1/2

Ominaisuus	Laitoskoko ja -tyyppi (kattiloiden yhteenlaskettu teho)			> 100 MW		10...100 MW		< 10 MW	
				Laitoksen kytkentä		Laitoksen kytkentä		Laitoksen kytkentä	
				Epäsuora	Suora 1)	Epäsuora	Suora 1)	Epäsuora	Suora 1)
pH-arvo	(pH 25)			9...10	9...10	9...10	9...10	9...10	9...10
Kokonaiskovuus	mmol (Ca + Mg)/kg 2)			< 0,143 < 0,8	< 0,018 < 0,1	< 0,143 < 0,8	< 0,018 < 0,1	< 0,143 < 0,8	< 0,089 < 0,5
Happipitoisuus	mgO <sub>2</sub> /kg			< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	3)	3)
Hapteen sitova kemikaali				4)	4)	4)	4)	4)	4)
Ammoniakkipitoisuus	mgNH <sub>3</sub> /kg			< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Kokonaisrautapitoisuus	mgFe/kg			< 0,1	< 0,1	< 0,1 6)	< 0,1 6)	5)	5)
Kokonaiskuparipitoisuus	mgCu/kg			< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	5)	5)
Öljypitoisuus	mg/kg			< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sähkönjohtavuus	μS/cm			7) 8)	7) 8)	7) 8)	7) 8)	7) 8)	7) 8)
Kiintoainepitoisuus	mg/kg			9)	9)	9)	9)	9)	9)



### Liite 3: Kiertoveden ohjearvosuositukset 2/2

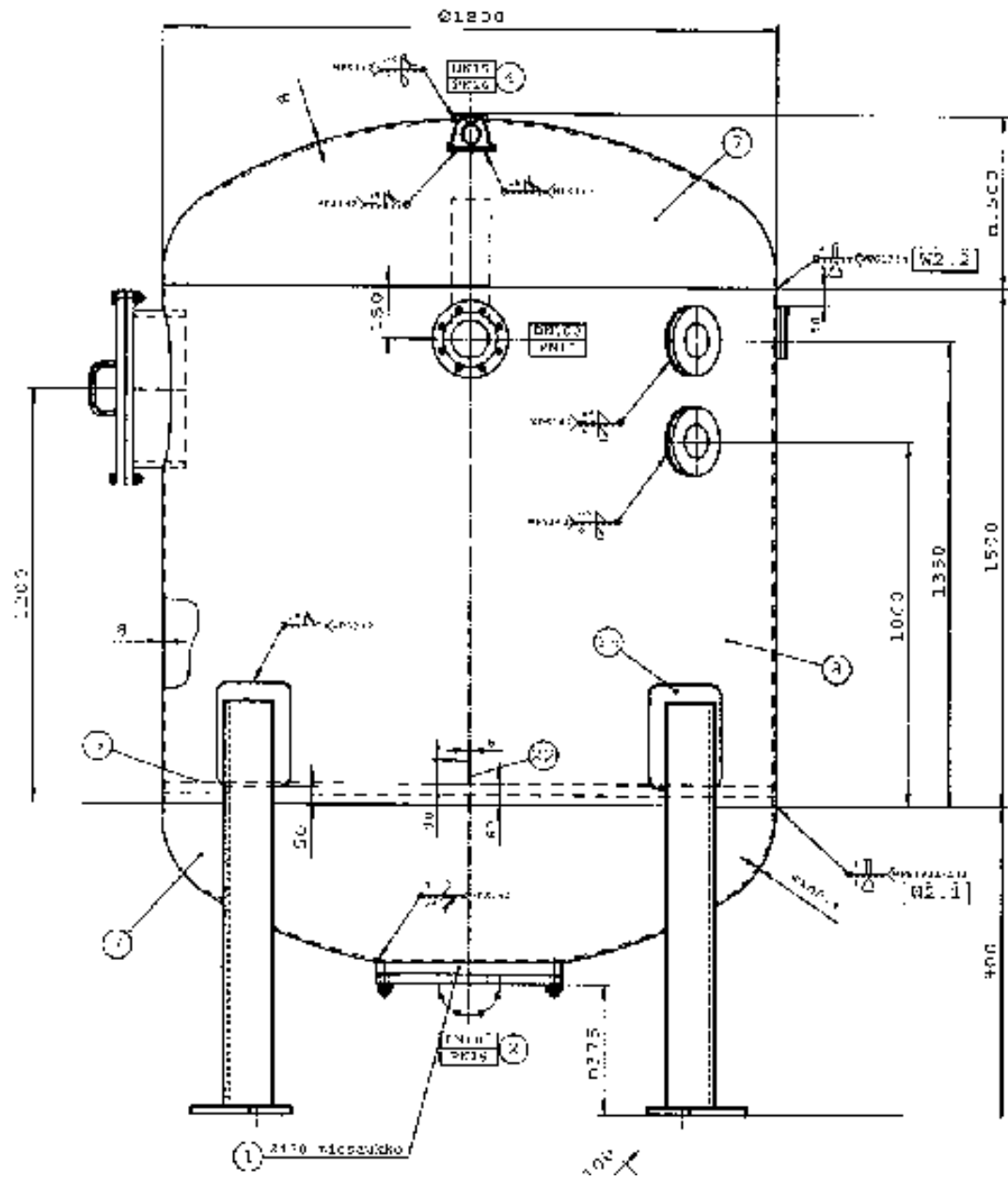
- 1) Suorassa kytkennässä laitospaine  $\leq 16$  bar.
- 2) 1 °dH vastaa 0,178 mmol (Ca<sup>++</sup> + Mg<sup>++</sup>)/kg.
- 3) Mikäli järjestelmässä ei ole vuotoja eikä täyttöjä, asettuu happipitoisuus nollatasolle. Kiertoveden happi aiheuttaa sekä happikorroosiota että galvaanista korroosiota.
- 4) Kiertoveteen suositellaan lisättäväksi happea sitovaa kemikaalia tai korroosioinhibiittia. Hydratsiinia käytettäessä suositellaan ohjearvoksi pitoisuutta  $< 0,2$  mgN<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/kg. Käytettävästä happea sitovasta kemikaalista tai korroosioinhibiitistä ei saa aiheutua haittaa järjestelmälle tai siihen liittyvälle kattilalaitokselle. Muiden happea sitovien kemikaalien ja korroosioinhibiittien kuin hydratsiinin suhteen ehdotetaan, että noudatetaan myyjän tai valmistajan antamia ohjearvoja. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon, että myös taulukossa annettuja ohjearvoja noudatetaan (esim. pH-arvo).
- 5) Korkeat kokonaisrauta- ja kokonaiskuparipitoisuudet ovat seurausta järjestelmän syöpymisestä.
- 6) Jos lisäveden rautapitoisuus ylittää ohjearvon, tulee kaukolämpöverkoston vedessä seurata tason muutosta.
- 7) Sallittu maksimiarvo tulee määrittää tapauskohtaisesti ja on riippuvainen täyttöveden sähkönjohtavuudesta (suolapitoisuudesta). Mikäli käytetään happea sitovaa kemikaalia tai korroosioinhibiittia, joka suurentaa kiertoveden sähkönjohtavuutta (suolapitoisuutta), tulee veden vaihdolla tai ylijuoksutuksella kiertoveden sähkönjohtavuus (suolapitoisuus) pitää niin alhaisena, ettei siitä aiheudu korroosio- tai muita ongelmia (1 mS/m = 10 µS/cm).
- 8) Kiertovedessä tulisi kloridipitoisuuden olla alle 50 mgCl<sup>-</sup>/kg ja vetykarbonaattipitoisuuden alle 60 mgHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/kg.
- 9) Suositellaan analysoimaan veden kiintoaine. Mikäli kiintoaine on yli 0,5 mg/kg 0,45 µm:n kalvolle suodatettuna, tulee selvittää kiintoaineen laatu ja syy kohonneeseen kiintoainepitoisuuteen.

Ohjearvosuositusten mukainen kiertovesi saadaan aikaan lisä- ja täyttöveden sekä kiertoveden käsittelyllä. Vedenkäsittelyn vähimmäistavoitteena on poistaa vedestä kovuus ja kerrostumia muodostavat yhdisteet, pienentää tarvittaessa kloridi- ja vetykarbonaattipitoisuuksia, poistaa vedestä happi ja säätää kiertoveden pH-arvo alueelle, jossa eri rakennemateriaalien korroosio on minimissään.

**Liite 4: Vesijohtoveden ja prosessiin palaavan veden analyysitulokset  
2003-2004**

Conductivity	uS / cm	125,0
KMnO <sub>4</sub>	mg / l	6,0
Free CO <sub>2</sub>	mg / l	2,7
Alkalinity	mmol / l	0,72
p-value	meq / l	0,0
m-value	meq / l	0,72
TH	°dH	2,9
TSS	mg / l	0,1
<b>Cations</b>		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg / l	0,16 (0,009 meq/l)
K <sup>+</sup>	mg / l	1,13 (0,029 meq/l)
Na <sup>+</sup>	mg / l	4,80 (0,078 meq/l)
Mg <sup>2+</sup>	mg / l	1,27 (0,105 meq/l)
Ca <sup>2+</sup>	mg / l	18,67 (0,934 meq/l)
Fe <sup>2+</sup>	mg / l	0,09 (0,003 meq/l)
<b>Strong anions</b>		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg / l	1,74 (0,028 meq/l)
Cl <sup>-</sup>	mg / l	6,03 (0,17 meq/l)
F <sup>-</sup>	mg / l	0,09 (0,005 meq/l)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg / l	24,17 (0,504 meq/l)
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg / l	0,01 (0,00 meq/l)
<b>Weak anions</b>		
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg / l	43,93 (0,72 meq/l)
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg / l	0,00
SiO <sub>2</sub>	mg / l	2,47 (0,041 meq/l)

### Liite 5: Pehmennyssuodattimen säiliön layout



## Liite 6: Pehmennyssuodattimen mitoituskuvaajien viitearvot

Taulukko 10. Eri elvytysasteita vastaavat käyttöjaksojen arvot.

NaCl [g/l]	Korjauskertoimella 1,06 korjatut käyttökapsiteetit [ekv/l]	Käyttökapsiteetti [ekv]			Käyttöjakso [m <sup>3</sup> ]		
100	1,155	2773	3004	3235	1896	2054	2212
125	1,272	3053	3307	3562	2088	2262	2436
150	1,378	3307	3583	3858	2262	2450	2639
200	1,505	3612	3914	4215	2470	2676	2882
250	1,579	3791	4106	4422	2592	2808	3024
300	1,632	3918	4244	4571	2679	2902	3126
		Hartsinmäärä [l]			Hartsinmäärä [l]		
		2400	2600	2800	2400	2600	2800

Taulukko 11. Eri veden kovuuksia vastaavat käyttöjaksojen arvot.

Veden kovuus [dH°]	Veden kovuus [ekv/l]	Käyttökapsiteetti [ekv]	Hartsin määrä [l]	Käyttöjakso [m <sup>3</sup> ]		
2	0,0007133	3120	2400	4374	4739	5103
3	0,0010699	3380	2600	2916	3159	3402
4	0,0014266	3640	2800	2187	2369	2552
5	0,0017832			1750	1895	2041
6	0,0021399			1458	1580	1701
7	0,0024965			1250	1354	1458
				Hartsinmäärä [l]		
				2400	2600	2800

## Liite 7: Cadix-mitoitusohjelman suunnittelutulokset 1/2

Tuloveden lämpötila 8 °C

Design Results - Existing Plant performance Evaluation

DOWEX Resin		MARATHON C					
Volume per line	liters	2 600		Vessel diameter	mm	1 782	
Net flow rate	m <sup>3</sup> /h	40,0		Internal vessel area	m <sup>2</sup>	2,45	
Net throughput	m <sup>3</sup>	3 380		Resin height delivered	mm	1 061	
Gross flow rate	m <sup>3</sup> /h	40,0		Resin height regenerated	mm	1 061	
Gross throughput	m <sup>3</sup>	3 393		Resin height exhausted	mm	1 008	
Time between 2 reg.	hours	84,5		Inert resin top layer			
Operating capacity	meq/l	1 359		Inert resin height	mm		
Ionic load	eq	3 528		Inert resin volume	litres		
Alk-leak at endpoint	%			Cylindrical height	mm	1 500	
Organic load KMnO <sub>4</sub>	g/l			Linear velocity	m/h	16,3	
Ionic form as delivered		Sodium		Pressure drop at 8°C (1)	kpa	20,9	
Regenerant chemical		NaCl		Filtered material load	kg/m <sup>2</sup>	0,14	
Regenerant dosage	g/l	150					
Amount per reg. 100%	kg	390					
Reg. ratio to stoichiometry	%	189					
Regeneration system		Co-Current					

(1) Based on clean resin at start of run

Elvytysohjelma 8 °C vedelle:

Regeneration flow sheet

Regeneration	Flow m <sup>3</sup> /h	Velocity m/h	Time minutes	Water quality	Volume m <sup>3</sup>
Backwash SAC	26,4	10,8	15,0	Raw	6,60
NaCl injection through SAC	12,3	5,00	20,1	Raw	4,11
Displacement SAC	8,33	3,40	37,4	Raw	5,19
Rinse SAC	40,0	16,3	11,7	Raw	7,79

**Waste water** Show high volume

Low volume	9,3	m <sup>3</sup>
NaCl	19 742	mg/l
CaCl <sub>2</sub>	18 831	mg/l
MgCl <sub>2</sub>	1 912	mg/l
		mg/l
		as CaCO <sub>3</sub>

**Total** 84,2 min  
23,7 m<sup>3</sup>

## Liite 7: Cadix-mitoitusohjelman suunnittelutulokset 2/2

Tuloveden lämpötila 15 °C

Design Results - Existing Plant performance Evaluation

**DOWEX Resin**

**MARATHON C**

Volume per line	liters	2 600		Vessel diameter	mm	1 782	
Net flow rate	m <sup>3</sup> /h	40,0		Internal vessel area	m <sup>2</sup>	2,45	
Net throughput	m <sup>3</sup>	3 556		Resin height delivered	mm	1 061	
Gross flow rate	m <sup>3</sup> /h	40,0		Resin height regenerated	mm	1 061	
Gross throughput	m <sup>3</sup>	3 569		Resin height exhausted	mm	1 008	
Time between 2 reg.	hours	88,9		Inert resin top layer			
Operating capacity	meq/l	1 429		Inert resin height	mm		
Ionic load	eq	3 712		Inert resin volume	litres		
Alk-leak at endpoint	%			Cylindrical height	mm	1 500	
Organic load KMnO <sub>4</sub>	g/l			Linear velocity	m/h	16,3	
Ionic form as delivered		Sodium		Pressure drop at 15°C (1)	kpa	17,2	
Regenerant chemical		NaCl		Filtered material load	kg/m <sup>2</sup>	0,15	
Regenerant dosage	g/l	150					
Amount per reg. 100%	kg	390					
Reg. ratio to stoichiometry	%	180					
Regeneration system		Co-Current					

(1) Based on clean resin at start of run

Elvytysohjelma 15 °C vedelle:

Regeneration flow sheet

Regeneration	Flow m <sup>3</sup> /h	Velocity m/h	Time minutes	Water quality	Volume m <sup>3</sup>
Backwash SAC	32,2	13,1	15,0	Raw	8,04
NaCl injection through SAC	12,3	5,00	20,1	Raw	4,11
Displacement SAC	8,33	3,40	37,4	Raw	5,19
Rinse SAC	40,0	16,3	11,7	Raw	7,79

**Waste water** Show high volume

Low volume	9,3	m <sup>3</sup>
NaCl	18 586	mg/l
CaCl <sub>2</sub>	19 812	mg/l
MgCl <sub>2</sub>	2 012	mg/l
		mg/l
		as CaCO <sub>3</sub>

**Total** 84,2 min  
25,1 m<sup>3</sup>