
Järvivedenotto suolavapaan veden valmistukseen Haapaniemen voimalaitoksella

Aku Tuppurainen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Savonia
ammattikorkeakoulu

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Aku Tuppurainen	
Työn nimi Järvivedenotto suolavapaan veden valmistukseen Haapaniemen voimalaitoksella	
Päiväys 21.3.2011	Sivumäärä 34
Ohjaaja Yliopettaja Pasi Pajula	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Kuopion Energia Oy / Teollisuuden Vesi Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Vuonna 2008 tapahtunut Kuopion verkostoveden laatumuutos aiheutti ongelmia Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitoksen vedenkäsittelyssä. Ongelmien ratkaisemiseksi on tehty esiselvitys, jossa on esitetty vaihtoehto verkostoveden korvaamisella järven pintavedellä. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää pintaveden ja nanosuodatuksen soveltuvuus Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitoksen tarpeisiin.</p> <p>Työssä tehtiin käytännön pilot-kokeita kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa vertailtiin kahta eri nanosuodatuskalvoa sekä raakaveden eri esikäsittelyvaihtoehtoja, joita käytettäisiin toisessa vaiheessa. Toisessa pilot-vaiheessa selvitettiin nanosuodatuksen tehokkuutta ja yleistä toimivuutta. Suodatusta seurattiin ja sen puhdistustuloksia tutkittiin laboratoriomäärityksin.</p> <p>Nanosuodatetun pintaveden ominaisuuksia voitiin verrata Kuopion verkostoveden vastaaviin ominaisuuksiin. Tämän opinnäytetyön tulosten pohjalta voitiin tehdä lopullinen päätös siitä, tullaanko Haapaniemelle investoimaan tulevaisuudessa oma pintaveden puhdistuslaitteisto. Työn tuloksia voidaan käyttää jatkossa myös muilla voimalaitoksilla. Kyseinen julkinen asiakirja on suppea versio työstä eikä tässä yhteydessä ole esitetty tarkkoja koetuloksia tai -järjestelyitä.</p>	
Avainsanat nanosuodatus, pintavesi, pilot-koe, suolavapaa vesi	
Luottamuksellisuus julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author Aku Tuppurainen			
Title of Thesis Surface Water Uptake for Making Salt-Free Water in Haapaniemi Power Plant			
Date	21 March 2011	Pages	34
Supervisor Mr Pasi Pajula			
Project/Partners Kuopion Energia Oy / Teollisuuden Vesi Oy			
<p>Abstract</p> <p>A quality change that took place in Kuopio's tap water in 2008 caused problems in the water treatment process in the Haapaniemi power plant. In order to solve these problems a preliminary investigation was made. The document presented alternatives for replacing the tap water currently used with surface water. The best available treatment option was nanofiltration. The objective of this thesis was to determine the suitability of surface water and nanofiltration to the needs of the Haapaniemi power plant.</p> <p>Pilot tests were made in two steps. In the first step a comparison between two nanofiltration membranes was made. In addition, different pre-treatment methods of raw water were tested. In the second step the efficiency and general functionality of nanofiltration were put to the test. The filtration process was monitored and its cleaning results were reviewed.</p> <p>The quality of nanofiltrated surface water was comparable to local tap water. On the basis of the results of this thesis a final decision could be made whether the power plant should invest in industrial scale nanofiltration equipment. The same results can also be used in other power plants in the future. This public document is shorter and narrower version of thesis without exact test results.</p>			
Keywords nanofiltration, surface water, pilot test, deionised water			
Publicity public			

ALKUSANAT

Kiitän kaikkia niitä, jotka ovat olleet korvaamattomana apuna työn valmistumisessa. Eri-tyisesti haluan kiittää Kuopion Energia Oy:n henkilökuntaa ja ohjaavaa opettajaa Pasi Pajulaa. Kiitokset myös Teollisuuden Vesi Oy:lle ja kotiväelleni avusta, jonka olen työtä tehdessäni saanut.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	VEDEN LAATUVAATIMUKSET VOIMALAITOSPROSESSISSA	8
2.1	Yleistä vedenkäsittelyn tarpeesta	8
2.2	Voimalaitoksen vedenkäsittelyyn liittyviä käsitteitä.....	8
2.3	Kattilaveden laatuvaatimukset	11
2.4	Veden laatuvaatimukset käänteisosmoosille	11
2.5	Pohja- ja pintavedet käänteisosmoosin syöttövetenä.....	12
3	HAAPANIEMEN VOIMALAITOS	14
3.1	Yleistä Haapaniemen voimalaitoksesta	14
3.2	Nykyinen vedenkäsittelylaitos	14
3.2.1	Toimintaperiaate.....	15
3.2.2	Käänteisosmoosi RO (Reverse Osmosis).....	17
3.2.3	Sähköinen ioninvaihto CDI (Continous deionisation)	17
3.2.4	Sekavaihdin MB (Mixed Bed)	18
4	VEDENKÄSITTELYSSÄ ILMAANTUNEET ONGELMAT JA NIIDEN SELVITTÄMINEN ...	19
4.1	Kuopion talousveden laatumuutokset.....	19
4.2	Laatumuutoksista aiheutuneet ongelmat	20
4.3	Ratkaisumallit.....	20
5	YLEISTÄ TEHDYISTÄ NANOSUODATUSKOKEISTA JA KÄYTETYSTÄ TEKNIIKASTA	21
5.1	Nanosuodatustekniikka.....	21
5.2	Kokeiden tavoitteet	21
5.3	Kokeiden aikaiset vesianalyysit	22
6	ALUSTAVA PILOT-KOE	23
6.1	Kokeet.....	23
6.2	Kokeiden kulku.....	23
6.3	Tulokset.....	24
6.4	Johtopäätökset.....	25
7	VARSINAINEN PILOT-KOE	26
7.1	Kokeet.....	26
7.2	Esivalmistelut ja asennus.....	26
7.3	Kokeen seuranta, vesianalyysit ja muut toimenpiteet.....	27
7.4	Henkilökunnan ohjeistus ja koulutus.....	28
7.5	Tulokset.....	29
7.6	Muuta huomioitavaa.....	29
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	31
9	YHTEENVETO	32
	LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Onnistunut vedenkäsittely on tärkeä osa voimalaitoksen toimintaa. Se takaa laitoksessa käytettävälle tekniikalle olosuhteet, joilla estetään mm. kattilan, turbiinin ja muiden prosessin osien kulumisen. Laadukas vedenkäsittely vähentää myös vesi-höyrypiirissä esiintyviä kerrostumia ja saostumia pitäen samalla kattilalaitoksen hyötysuhteen hyvänä.

Vuonna 2008 tapahtunut Kuopion verkostoveden laatumuutos on osoittautunut ongelmalliseksi Haapaniemen voimalaitoksen vedenkäsittelylle. Laitoksella saapuvan raakaveden ominaisuusmuutokset vaikuttivat vedenkäsittelyssä käytettävien laitteistojen toimintaan lisäten samalla henkilökunnan työmäärää. Haapaniemen vedenkäsittelyssä käytetyistä yksikköprosesseista etenkin käänteisosmoosi ja sähköinen ioninvaihto ovat kuormittuneet eniten kohonneista ainepitoisuuksista.

Ongelmien selvittäminen aloitettiin Kuopiossa vuonna 2008. Kuopion Energia Oy:llä tehtiin esiselvitys pintaveden puhdistuslaitteiston hankinnasta. Esiselvityksessä tutkittiin mahdollisuutta siirtyä järven pintaveden käyttöön. Selvityksen mukaan oikein esikäsitelty pintavesi voisi vähentää vedenkäsittelylaitoksen kuormitusta sekä parantaa sen suorituskykyä. Yksi esikäsitelyvaihtoehdoista oli nanosuodatus, jonka toimintaa oli kuitenkin syytä tutkia tarkemmin, koska kyseisen tekniikan ja pintaveden käytöstä energiantuotannossa ei ole kokemusta.

Tämän työn tavoitteena on selvittää pintaveden ja nanosuodatuksen soveltuvuus osaksi nykyistä vedenkäsittelyä. Työssä selvitykset tehdään käytännön kokein, joiden tulokset kertovat nanosuodatuksen tehokkuuden. Tulosten perusteella päätetään otetaanko Haapaniemen voimalaitoksella tulevaisuudessa käyttöön oma pintaveden käsittelylaitteisto.

Työssä suoritetaan pilot-kokeita nykyisen vedenkäsittelylaitoksen tiloissa. Kokeissa käytetään nanosuodatuslaitteistoja, joilla kyseistä puhdistustekniikkaa tutkitaan mm. eri virtausten ja vesianalyysien avulla. Tehtävät vesianalyysit antavat tarpeelliset tiedot puhdistustuloksista ja tuoteveden laadusta.

Työssä tarkastellaan myös voimalaitoksen suolanpoistolaitosta sekä sille johdettavan veden laatuvaatimuksia. Lisäksi työssä pohditaan lyhyesti pintaveden ja nanosuodatuksen käyttöön liittyviä riskejä. Kyseinen julkistettava asiakirja on suppeampi versio työstä. Asiakirjassa on jätetty esittämättä mm. pilot-kokeiden tarkat tulokset ja koejärjestelyt.

2 VEDEN LAATUVAATIMUKSET VOIMALAITOSPROSESSISSA

Korroosio ja erilaiset kerrostumat ovat aina olleet yleisiä ongelmia höyrykattiloissa. Hyvä prosessivedenlaatu on edellytys sille, ettei vesi-höyrypiiriin tai siihen kuuluviin laitteisiin aiheudu ylimääräisiä ongelmia tai haittoja. /1/

2.1 Yleistä vedenkäsittelyn tarpeesta

Voimalaitoksen vedenkäsittelyn tavoitteena on luoda tuotantoprosessille suotuiset olosuhteet vesi-höyrypiirin kannalta. Tehokkaalla vedenkäsittelyllä voidaan vähentää kerrostumien muodostumista esimerkiksi kattilan ja turbiinin siipien pinnoille. Lisäksi vedenkäsittelyllä voidaan pitää eroosio kurissa sekä varmistaa suojaavan kalvon muodostuminen mm. putkien sisäpinnoille. Kattilakiven pahimmat aiheuttajat ovat kalsium ja magnesium. Veden sisältämä silikaatti muodostaa mm. kovuussuolojen kanssa kerrostumia lämpöpinnoille. Voimalaitoksella vedenkäsittelyn olennaisin tehtävä onkin veden kovuuksen poisto ja silikaattipitoisuuden pienentäminen. Voimalaitoksen vedenkäsittelyssä on seurattava em. aineiden lisäksi monia muita veden ominaisuuteen liittyviä seikkoja. /2/

2.2 Voimalaitoksen vedenkäsittelyyn liittyviä käsitteitä

Tässä luvussa kerrotaan yleisimmistä voimalaitosprosessin vesiin liittyvistä käsitteistä ja niiden tutkittavista ominaisuuksista. Vesien ominaisuuksien seuraaminen on osa voimalaitoksen toiminnan valvontaa.

pH

Veden pH-arvo määrittää vetyionien aktiivisuuden ja samalla veden happamuuden logaritmisella asteikolla. pH-arvolla tarkastellaan veden syövyttävyyttä sekä korroosio-ominaisuuksia. Voimalaitoksella nostetaan putkistoon syötettävän veden pH:ta, jolla estetään esimerkiksi raudan, teräksen ja kuparin syöpyminen. Voimalaitoksen vesi-höyrypiirissä olevan veden pH:n tulee olla lievästi emäksistä mm. korroosion estämiseksi. /3/

Suolapitoisuus / veden johtokyky

Voimalaitoksella prosessiveden sisältämät suolat aiheuttavat laitteistossa ja putkistoissa kerrostumia sekä syöpymistä. Vedenkäsittelyssä suolapitoisuus tuleekin saada riittävän

matalaksi. Suolapitoisuus määritetään sähkönjohtavuuden avulla. Sähkönjohtavuus eli veden johtokyky kuvaa veteen liuenneiden elektrolyytti-ionien määrään. /3/

Kovuus

Veden kovuus voidaan jakaa ohimenevään ja pysyvään kovuuteen. Ohimenevä kovuus syntyy kalsium- ja magnesiumvetykarbonaateista. Ohimenevää kovuutta voidaan pienentää ja poistaa huomattavasti helpommin kuin pysyvää kovuutta, joka koostuu esimerkiksi kalsium- ja magnesiumsulfaateista. Nämä voidaan poistaa vedestä vain kemiallisilla menetelmillä kuten pehmentimillä. /4/

Veden kovuus johtuu pääosin siihen liuenneista kalsiumista ja magnesiumista. Kovuutta lisäävät myös muut maa-alkalimetallit sekä esim. rauta-, sinkki-, kupari- ja alumiini-ionit. Liuenneet mineraalit ovat yleensä peräisin maaperästä, jonka läpi sade- ja sulamisvedet kulkeutuvat. Yleisesti ottaen, järven pintavesissä tätä ei tapahdu, jolloin vesi on pehmeämpää. SI-järjestelmässä veden kovuus ilmoitetaan millimooleina litrassa (mmol/l) kalsiumkarbonaatiksi laskettuna. Suomessakin kovuus ilmoitetaan usein kuitenkin saksalaisina kovuusasteina, jonka yksikkö on °dH. 1°dH vastaa 0,178 mmol/l. /4/

Voimalaitosprosesseissa veden kovuus on tavallinen kattilakiven aiheuttaja, joka melko ohuenakin kerroksena aiheuttaa putkistomateriaalin ylikuumenemisen, kerrostuman vahvistumisen ja lopuksi materiaalin murtumisen. Vedestä tuleekin poistaa haitalliset kalsium- ja magnesiumsuolat ennen kuin se johdetaan kattilaan. Reagoidessaan hiilidioksidin kanssa kalsium muodostaa veteen liukenevaa bikarbonaattia. Keitetessä vettä siitä poistuu hiilidioksidia, jolloin veteen liennut kalsium saostuu. Tämä ilmenee vaaleana kalkkisaostumana. /2; 3; 4/

Rauta

Raudan aiheuttamat ongelmat putkistoissa ilmenevät ruostekerrostumina. Voimalaitoksessa kerrostumia esiintyy etenkin kattilassa, aiheuttaen kattilavaurioita. Liukoista rautaa esiintyy Suomessa yleisesti sekä pohja- että pintavesissä. Pintavesissä rauta on yleensä humukseen sitoutunutta. /3/

Humus

Humus aiheuttaa huonosti lämpöä johtavien kerrosten muodostumista sekä kattilaveden kuohumista. Humus laskee myös prosessiveden pH:ta. Kaliumpermanganaattiluku,

KMnO₄-kulutus, kertoo veden sisältämän humuksen eli orgaanisen aineksen määrän./2; 3; 5/

Orgaaninen kokonaishiili TOC (Total Organic Carbon) sisältää partikkelimuodossa olevan orgaanisen hiilen (POC) sekä liunneen orgaanisen hiilen (DOC). TOC ei ole riippuvainen orgaanisten aineiden hapettuvuudesta. Tästä syystä TOC voi antaa KMnO₄-lukua todellisemman kuvan veden sisältämien orgaanisten aineiden kokonaismäärästä. TOC-määritystä voidaankin pitää vaihtoehtoisena menetelmänä. /6/

Silikaatti

Silikaatti, SiO₂, on piin ja hapen muodostama kemiallinen yhdiste. Silikaatti esiintyy veden liunneena. Silikaatti muodostaa em. magnesiumsuolojen kanssa kattilassa vaikeasti poistuvaa kerrostumaa. Kerrostuman huono lämmönjohtokyky on haitaksi tuotantoprosessille. Mikäli silikaatin ja kovuussuolojen lisäksi vedessä on myös alumiinia, muodostuu vesi-höyrypiirissä vieläkin vaikealiukoisempaa kerrostumaa. Korkeimmissa paineissa SiO₂ alkaa liueta höyryyn voimakkaammin aiheuttaen kerrostumia myös turbiinin siipiin. Tästä syystä silikaatin pitoisuudelle on tiukat vaatimukset etenkin korkeissa paineissa. /2/

Natrium

Myös natrium on haitallinen aine voimalaitoksen vesi-höyrypiirissä muodostaen saostumia sekä syövyttäen kattilan eri osia. Lämmön noustessa natrium konsentroituu ja kerrostuu pinnoille. Voimalaitosprosessissa tämä ilmiö näkyy lähinnä turbiinin keski- ja matalapaineosissa. Kerrostumat alentavat voimalaitoksen hyötysuhdetta ja vaurioittavat turbiinia. Natrium, esiintyen yhdessä silikaatin kanssa, muodostaa epätoivottua kerrostumaa. Natriumin on todettu aiheuttavan haittaa, jos pitoisuus on syöttövedessä yli 0,01 mg/kg. /7/

Alumiini

Alumiinia esiintyy pinta- ja pohjavesissä yleensä verraten pieniä määriä, alle 0,1 mg/kg. Voimalaitoksen prosessiveden korkea alumiinipitoisuus lisää pistekorroosiota sekä voi muodostaa saostumia putkistoissa. /8/

2.3 Kattilaveden laatuvaatimukset

Höyryvoimalaitoksissa käytettävä tekniikka asettaa tiukat laatuvaatimukset kattilavedelle. Tästä syystä kattilavettä tulee tutkia laajalti toimivan vesi-höyrypiirin ylläpitämiseksi. Veden ohjearvot määräytyvät pääsääntöisesti kattiloiden paineen perusteella. Haapaniemellä olevat 110 barin kattilat nostavat veden laatuvaatimuksia hyvin korkealle, jolloin onnistunut vedenkäsittely on elintärkeää. Yleissääntönä voidaan pitää, ettei kattilavesi saa aiheuttaa kerrostumia, kattilassa ei saa esiintyä korroosiota eikä vesi saa olla syynä laitteiston vahingoittumiselle. Taulukkoon 1 on määritetty kattilaveden ohjearvosuositukset Haapaniemeä vastaaville höyrykattiloille. /2; 3/

Taulukko 1. Kattilaveden ohjearvosuositukset Haapaniemen kaltaisille höyrykattiloille /3/

lieriöpaine	tulistettu höyry	p-arvo	johtokyky	Na + K	fosfaatti	SiO ₂	KMnO ₄
bar	bar	mVAL /kg	mS/m	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
125	110	0,20	15	30	2...6	1,0	15

2.4 Veden laatuvaatimukset käänteisosmoosille

Haapaniemen nykyisen vedenkäsittely alkaa käänteisosmoosilla, jolle johdetaan laimennettua Kuopion verkostovettä. Käänteisosmoosikalvot ovat tarkkoja syöttöveden laadusta ja myös herkkiä tukkeutumisille. Syöttöveden laadun muutokset heikentävät RO-kalvojen tuottoa ja nostavat syöttöpainetta. RO-laitteiston syöttövedelle on määritetty ohjearvoja mm. rauta-, mangaani-, alumiini- ja silikaattipitoisuuksille. Lisäksi tukkeutumista aiheuttaa humus, muut orgaaniset aineet, kovuussuolat ja niiden saostuminen, kiintoaineet sekä erilaiset bakteerikasvustot. Tämä lisää kalvojen pesutarvetta ja kunnossapitoon kuluva työtä. /3/

RO-kalvojen tehtävänä on poistaa vedestä siihen liuenneita suoloja ja muita ei-toivottuja aineita. RO-laitteiston toimivuuden kannalta tärkeää olisikin, että mm. rauta, kiintoaine ja kovuussuolat saataisiin vedestä pois jo ennen sen saapumista kalvoille. Liian suuret haitta-ainepitoisuudet heikentävät tuoteveden laatua ja määrää sekä nopeuttavat kalvojen likaantumista. Kalvojen likaantuminen lisää puhdistustarvetta ja kasvattaa työmäärää. Taulukossa 2 on esitetty yleisiä syöttöveden ominaisvaatimuksia. /3; 9/

Taulukko 2. RO-laitteiston syöttöveden yleisiä ominaisvaatimuksia /3/

SDI	< 5
Fe	< 0,2 mg/kg
Mn	< 0,05 mg/kg
Al	< 0,2 mg/kg
KMnO ₄	< 12 mg/kg

SDI-indeksi kuvaa veden hienojakoisen kiintoaineksen määrää. Sitä käytetään kuvaamaan RO-kalvojen likaantumisriskiä. Tämän lisäksi RO:n syöttöveden suurimpia haittekkijöitä ovat edellä mainitut kovuussuolat, jotka muodostavat kerrostumia kalvoille. Kasvavat pitoisuudet aiheuttavat veden virtauksen pienenemistä sekä laskevat tuoteveden laatua. Voimalaitosprosesseissa olisikin erityisen tärkeää poistaa kovuussuolat jo ennen varsinaista suolanpoistolaitosta, mikä tarkoittaa käytännössä veden esikäsittelyä, kuten pehennystä. /3; 5/

Myös kemiallinen hajoaminen voi rasittaa teknisistä muoveista valmistettuja RO-kalvoja. Tämä ilmenee hapettumisen ja kemikaalipesujen aiheuttamina syöpyminä kalvojen rakenteissa. Tätä aiheuttaa vapaa kloori, jota käytetään talousveden käsittelyssä /3; 5/

2.5 Pohja- ja pintavedet käänteisosmoosin syöttövetenä

Soveltuvia raaka- tai syöttövesiä ovat pohja- ja pintavedet, jotka vaativat orgaanisen aineksen poiston ennen ohjaamista suolanpoistolaitokselle. Kuten Haapaniemen voimalaitoksella, myös kunnallista verkostovettä voidaan käyttää RO-laitteiston syöttövetenä, jolloin veden esikäsittelyn tarve ei ole välttämätön.

Pohja- ja pintavesillä on käytännön eroja voimalaitosprosessin raakavetenä. Hyvälaatuinen pohjavesi voi olla helppo vaihtoehto käänteisosmoosin syöttövedeksi, koska se tarvitsee esikäsittelyksi ainoastaan patruuna- tai pussisuodatuksen. Lisäksi kemiallinen saostus ja selkeytys voidaan jättää pois pohjaveden käsittelyssä, jos vesi täyttää riittävät laatuvaatimukset. Pohjavesi saattaa kuitenkin sisältää vielä tehokkaan esikäsittelynkin jälkeen suuria määriä kovuussuoloja ja liuenneita kivennäisaineita. /3/

Myös pintavesi on vähäisen kovuutensa ansiosta kattilaveden valmistukseen soveltuva vaihtoehto. Toisaalta, ilman tehokasta esikäsittelyä, sen suuret humus- ja rautapitoisuudet voivat aiheuttaa RO-kalvojen nopean tukkeutumisen. Pintavesi vaatiikin esikäsittelyn. /3/

Haapaniemen voimalaitoksella nykyisin käytössä oleva vaihtoehto, kunnallinen verkostovesi, täyttää yleiset suolanpoistolaitoksen syöttöveden laatuvaatimukset. Sitä käytetäänkin yleisesti teollisuuden raakavetenä. Suurella vedenkulutuksella, kuten Haapaniemellä, kunnallinen verkostovesi on kuitenkin kallis vaihtoehto. Verkostoveden korkea kovuussuolapitoisuus aiheuttaa haitallista kerrostumaa RO-kalvojen pinnoille. Myös veden sisältämä runsas silikaatti tuottaa ongelmia vedenkäsittelyyn. Lisäksi verkostovesi voi olla pahimmillaan voimakkaasti kloorattua. /3/

Pintaveden sisältämien patogeenien, eli tautia aiheuttavien pieneliöiden, määrällä ei ole oleellista merkitystä voimalaitoksen prosessivesissä. Patogeenit voidaankin jättää huomioimatta pohdiskeltaessa raakavesilähdettä.

3 HAAPANIEMEN VOIMALAITOS

3.1 Yleistä Haapaniemmen voimalaitoksesta

Kuopion Energia Oy on sähköä ja kaukolämpöä tuottava energia-alan yritys. Yritys tuottaa sähköä valtakunnalliseen verkkoon ja kaukolämpöä Kuopion taajama-alueelle. Suurin tuotantoyksikkö on Haapaniemellä sijaitseva voimalaitos, joka käyttää pääpolttoaineenaan turvetta. Muita polttoaineita ovat mm. öljy, puupuru ja ruokohelpi. Turpeen osuus oli 83 %, öljyn 14 % ja biopolttoaineiden 3 %. Polttoainelukuihin sisältyy myös pienet lämpölaitokset, jotka käyttävät polttoaineenaan pelkästään öljyä. /10/

Haapaniemmen voimalaitos on ns. vastapainevoimalaitos, jossa tuotetaan sähkön rinnalla myös kaukolämpöä. Tällöin laitoksen hyötysuhde on huomattavan paljon suurempi kuin pelkästään sähköä tuottavan lauhdevoimalaitoksen. Kattilassa vesi höyrystetään. Muodostunut höyry tulistetaan ja johdetaan turbiinille. Esimerkiksi Haapaniemi I-laitoksen tulistetun höyryn lämpötila on noin 530 °C, paine 110 bar:a ja virtaus enimmillään 40 kg/s. Höyryn aiheuttamasta turbiinin pyörimisliikkeestä generaattori muodostaa sähköä, joka siirretään muuntajien kautta valtakunnalliseen verkkoon. Turbiinin jälkeisen höyryn lämpöenergiaa hyödynnetään lämmönsiirtimissä kaukolämmön tuottamiseen. Turbiinin väliottojen höyryä käytetään mm. kattilan syöttöveden esilämmitykseen. Yhden laitoksen lisäveden kulutus on normaalisti noin 2 - 2,5 m³/h. Laitoksen käynnistyksessä eli ylösajossa vedenkulutus on normaalitilanteissa noin 100 – 200 m³. /3; 10/

Haapaniemelle on rakenteilla uusi, kolmas voimalaitos. Valmistuvassa voimalaitoksessa käytetään ns. kiertoleijutekniikkaa, joka mahdollistaa biopolttoaineiden osuuden nousun jopa 70 %:iin. Nykyaikaisen polttotekniikan käyttö vähentää parhaimmillaan laitoskohtaisia hiilidioksidipäästöjä 50 %, hiukkaspäästöjä 80 %, rikkidioksidipäästöjä 80 % ja typen oksideja 60 %. /11/

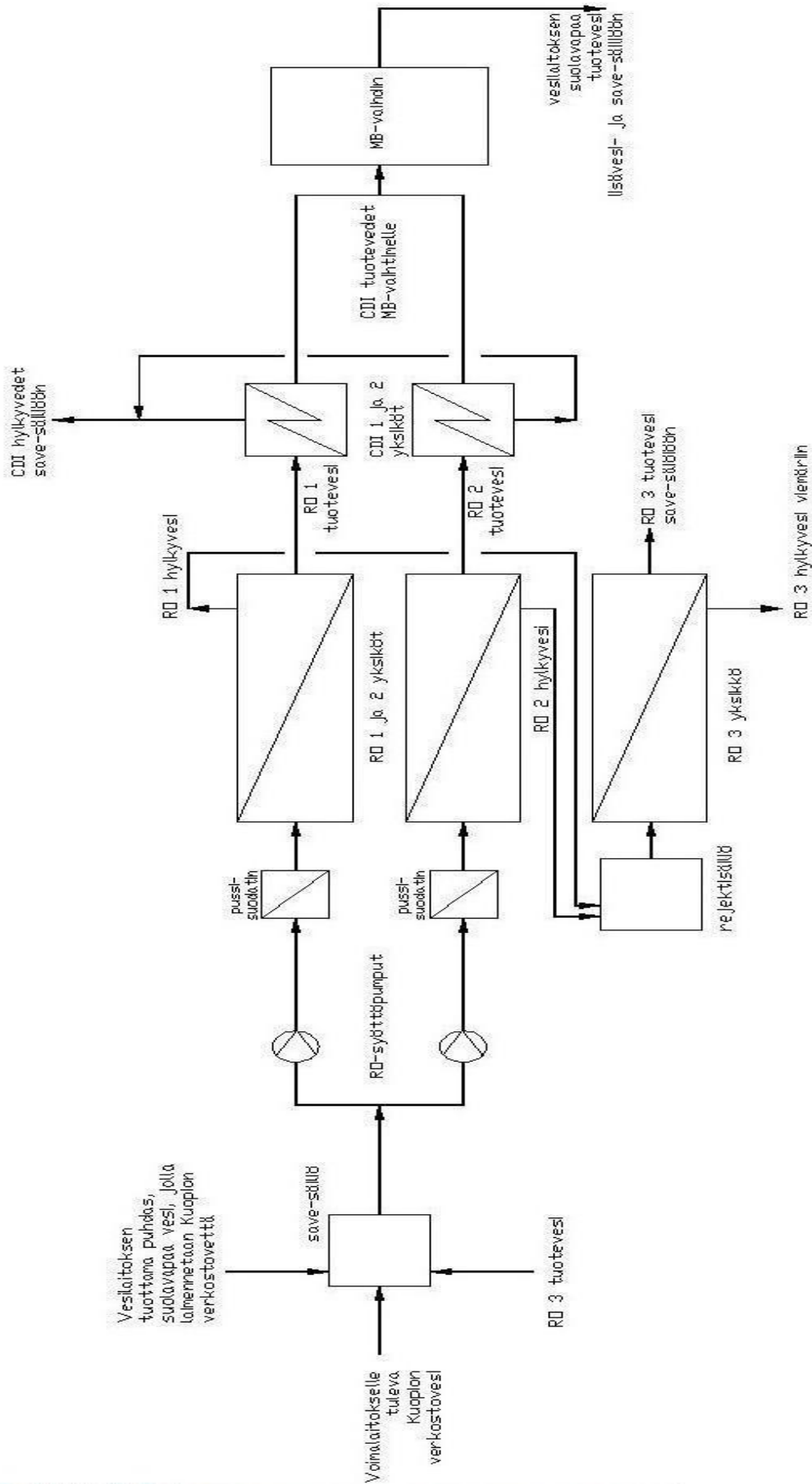
3.2 Nykyinen vedenkäsittelylaitos

Haapaniemellä vedenkäsittelylaitoksen päätehtävänä on poistaa vedestä liukenemattomat kiintoaineet, kolloidiset aineet, orgaaniset yhdisteet sekä liuenneet suolat ja muut höyryprosessille haitalliset aineet. Käytössä oleva tekniikka voidaan jakaa kolmeen yksikköprosessiin, jotka toimivat sarjassa. Prosessit ovat käänteisosmoosi, sähköinen ioninvaihto ja sekaioninvaihto. Nykyisin laitoksen maksimikapasiteetti on noin 25 m³/h. /7/

3.2.1 Toimintaperiaate

Kuva 1 havainnollistaa nykyisen vedenkäsittelylaitoksen toimintaa. Voimalaitokselle saapuva vesi on Kuopion verkosto- eli juomavettä. Vedenkäsittelylaitoksen syöttövesi pumpataan aluksi käänteisosmoosiin eli RO-laitteistolle. Rinnakkain toimiviin RO 1 ja RO 2 -yksiköihin kuuluu molempiin pussisuodatin, joka poistaa syöttövedestä ensin suurimmat kiintoaineet. Käänteisosmoosin tuotevesi etenee sähköiseen ioninvaihtoon CDI-laitteistolle. Rejektivesi eli hylkyvesi johdetaan erillisen rejektisäiliöön ja sieltä edelleen RO 3 -yksikölle, jonka tuotevesi puolestaan palautetaan save-säiliöön ja hylkyvesi viemäriin. /7/

CDI-laitteiston tuotevesi johdetaan sekaioninvaihtimelle, josta kutsutaan myös MB-vaihtimeksi. CDI-laitteiston rejektivesi on jo tarpeeksi puhdasta johdettavaksi takaisin save-säiliöön ja sieltä uudestaan vedenpuhdistuksen alkuun. Save-säiliössä Kuopion verkostovettä laimennetaan puhtaammalla vedellä. MB-vaihdin poistaa vedessä jäljellä olevat varautuneet hiukkaset. Tuotettu vesi on erittäin puhdasta ja soveltuvaa näin voimalaitoksen prosessivedeksi. Tuotevettä ajetaan myös em. save-säiliöön, jossa se laimentaa Kuopion verkostovettä. RO-yksiköiden syöttövesi on siis itse asiassa laimennettua verkostovettä. Kuvassa 1 näkyy myös tapahtuva laimennus save-säiliössä. /7/



Kuva 1. Haapaneimen vedenkäsittelylaitoksen toimintaperiaate

3.2.2 Käänteisosmoosi RO (Reverse Osmosis)

Käänteisosmoosilaitteet poistavat vedestä suoloja, liuenneita aineita ja kiinteitä partikkeleita. Näin käänteisosmoosi myös pehmentää vettä. Toiminta perustuu puoliläpäiseviin kalvoihin, membraaneihin. Suodatuskalvot erottavat kaksi eri konsentraatiota toisistaan. Ihanteellisessa tilanteessa kalvon läpäisee vain paineistettu vesi, joka samalla puhdistuu liuenneista tai liukenemattomista aineista. Myös kalvojen sähkövaraus edistää puhdistusprosessia hylkien ioneja. /7/

Kalvotekniikan huonoin puoli on membraanien likaantuminen, joka on seurausta kalvojen pintaan kertyneistä epäpuhtauksista. Kalvojen likaantuminen havaitaan painehäviön kasvuna sekä tuoteveden laadun heikentymisenä. Käänteisosmoosilaitteiden likaantumista voidaan hidastaa ja ehkäistä syöttöveden hyvällä esikäsittelyllä. Mitä puhtaampaa syöttövesi on, sitä harvemmin käänteisosmoosikalvoja tarvitsee pestä tai vaihtaa. Kalvojen pesu suoritetaan happo- ja lipeäliuoksilla riippuen lian ominaisuuksista. Happoliuos irrottaa kalvoilta epäorgaaniset suolat ja lipeäliuos lähes kaiken muun. /7/

Virtauksien säätö vaikuttaa oleellisesti tuoteveden laatuun. Pieni rejektivirtaus nostaa saantoprosenttia, mutta liian alhainen virtaus muuttuu epätoivotuksi laminaariseksi virtaukseksi, jolloin kalvo ei huuhtoudu ja likaantuminen nopeutuu. /7/

3.2.3 Sähköinen ioninvaihto CDI (Continuous deionisation)

CDI:n tehtävänä on puhdistaa vettä jatkuvatoimisesti käyttäen hyväksi sähkövirtaa, ioninvaihtomassaa sekä ioninvaihtokalvoja. Ioninvaihtoon tuleva vesi johdetaan kennoihin, jossa sopivan suuruinen jännite poistaa veden sisältämät ionit. Käytetyistä kalvoista toinen läpäisee anioneja ja toinen kationeja. Ioninvaihtomassan tehtävänä on muodostaa kerros, joka helpottaa poistettavien ionien etenemistä erotuskalvojen läpi. Poistetut ionit ja vesi muodostavat konsentraatin, joka eritellään varsinaisesta tuotevedestä eli permeaatista. /7/

Haapaniemen vedenkäsittelylaitoksella RO 1 ja 2 -yksiköiden perään sijoitettu sähköinen ioninvaihto poistaa vedestä liukoisia suoloja. Jos CDI-laitteisto toimii ihanteellisesti, eikä haitallista veden seisomista tapahdu, elvytys tapahtuu itsestään. Tällöin laitteisto on hyvin helppokäyttöinen. Toisaalta CDI-yksiköt ovat herkkiä prosessihäiriöille ja niiden elvytys voi olla hyvinkin vaikeaa. CDI kuluttaa vähän energiaa ja pitää paine-erot pienenä. Menetelmä vaatii syöttövedeltä hyvän esikäsittelyn. Suhteellisen puhtas syöttövesi on edellytys laadukkaalle tuotevedelle. /7/

3.2.4 Sekavaihdin MB (Mixed Bed)

Sekavaihtimen sisältämä hartsimassa sisältää kationeja sitovaa happoa tai anioneja sitovaa lipeää. Anionimassa puhdistaa vettä poistaen siitä mm. sulfaatti-, kloridi- ja nitraatti-ionit, korvaten ne OH^- -ioneilla. /7/

Haapaniemen suolanpoistolaitoksella sekaioninvaihdin on sijoitettu CDI-yksiköiden jälkeen. Vaihdin toimii varmistavana ns. poliisisuodattimena ja sen tehtävänä on poistaa veden sisältämät loput liukoiset suolat. Vaihtimen massa on kertakäyttöistä ja se vaihdetaan vain tarvittaessa. /7/

4 VEDENKÄSITTELYSSÄ ILMAANTUNEET ONGELMAT JA NIIDEN SELVITTÄMINEN

4.1 Kuopion talousveden laatumuutokset

Vuoden 2008 helmikuussa tapahtunut Jänneniemen rantaimetyysvedenottamon käyttöönotto muutti Kuopion verkostoveden laatua oleellisesti voimalaitoksen kannalta. Ennen uuden vedenottamon käyttöönottoa, Kuopion verkostovesi oli peräisin Hietasalon vedenottamolta. /3/

Haapaniemen voimalaitokselle tulevaa raakavettä tutkitaan arkipäivisin. Taulukossa 3 on esitetty kyseisten tutkimusten tuloksia uuden vedenottamon käyttöönoton ajoilta. Tulokset ovat vuoden ajalta, ja ne on esitetty kuukausikeskiarvoina. Tuloksia tarkastellessa tulee huomioida, että viikonloppuisin vesimäärytyksiä ei tehdä, joten lauantain ja sunnuntain mahdolliset piikit eivät näy keskiarvoissa. /3/

Taulukko 3. Raakavesianalyysit Jänneniemen vedenottamon käyttöönoton ajoilta /3/

	Johtokyky µS/cm	Fe µg/kg	NH ₃ mg/kg	SiO ₂ µg/kg	PO ₄ mg/kg	KMnO ₄ mg/kg	Kovuus °dH	Cl mg/kg
elo 07	171,3	70	0,14	4878	0,04	9,1	4,06	1,48
syys 07	172,1	79	0,22	4235	0,05	10,6	3,99	2,07
loka 07	169,5	67	0,11	4746	0,04	9,2	3,86	2,36
marras 07	167,3	96	0,16	4633	0,02	10,2	3,59	1,62
joulu 07	164,8	45	0,10	4853	0,01	8,9	3,70	1,38
tammi 08	170,6	41	0,16	5037	0,01	7,7	3,56	1,67
helmi 08	189,8	37	0,13	6959	0,01	8,2	3,52	1,38
maalis 08	241,0	27	0,09	10269	0,02	7,1	5,82	0,59
huhti 08	249,1	27	0,12	10039	0,09	4,6	6,71	1,77
touko 08	245,6	20	0,07	10284	0,15	4,5	6,00	1,48
kesä 08	247,3	18	0,10	10650	0,02	3,9	5,64	1,18
heinä 08	243,6	16	0,05	10907	0,04	4,5	5,76	1,83

Taulukosta 3 nähdään uuden vedenottamon vaikutus verkostoveden laatuun. Vedenottamon käyttöönottokuukausi on merkitty lihavoituna taulukkoon. Tuloksissa on selvää kasvua johtokyvyn ja silikaatin määrissä sekä veden kovuudessa. Raudan ja humuksen osalta pitoisuudet laskivat. Kuopion kaupungin talousveden laatu parantui juomavetenä, mutta voimalaitoksen kannalta laatu huononi.

Taulukon tulokset perustuen kuukausittaisiin keskiarvoihin niistä ei voida havaita vedenlaadun vuorokausittaisia vaihteluita tai epäpuhtauksien maksimipiikkejä. Selvimmin laatumuutokset näkyvät maanantaisin tehtävistä vesianalyyseistä, koska viikonlopun aikana Kuopion talousvesi on peräisin pelkästään Jänneniemien vedenottamolta. Viikolla talousveteen sekoitetaan vettä myös Itkonniemen vedenottamolta. /3/

4.2 Laatumuutoksista aiheutuneet ongelmat

Raakaveden sisältämät silikaatti- ja kovuussuolapitoisuudet kasvoivat uuden vedenotamon käyttöönoton yhteydessä kaksi- jopa kolminkertaisesti. Muutokset ovat ongelmallisia Haapaniemien tiukasti mitoitetulle käänteisosmoosilaitteistolle. Lisääntyneet kovuussuolat nopeuttavat laitteiston likaantumista, jolloin tuoteveden laatu ja virtaus heikenevät ja pesutarve kasvaa. /5/

Veden sisältämää silikaattia ei saada poistettua käänteisosmoosilla tehokkaasti. Kohonneet SiO_2 -pitoisuudet heijastuvat suoraan RO-tuoteveden laatuun. Tämä taas aiheuttaa ongelmia puhdistusprosessin seuraavalle vaiheelle eli sähköiselle ioninvaihdolle. CDI:n kapasiteetti laskee, jolloin koko vedenkäsittelylaitoksen tuotto pienenee. /5/

Käänteisosmoosin pesut lisäävät henkilökunnan työtä. Lisäksi Haapaniemellä on kahden kertaan jouduttu vaihtamaan CDI-yksiköiden kennot, jotka ovat laitteiston selvästi kalleimmat yksittäiset osat.

4.3 Ratkaisumallit

Ilmaantuneet ongelmat sekä laitokselle saapuvan raakaveden laatumuutokset ovat nostaneet ajatuksen uudesta raakavesilähteestä, joka tässä tapauksessa olisi Kallaveden pintavesi. Pintavesi voi olla hyvin esikäsiteltyä laadultaan jopa parempi vaihtoehto kuin Kuopion verkostovesi.

Kallaveden soveltuvuutta raakavesilähteenä oli tutkittu ja asia eteni vuoden 2010 aikana. Järviveden käyttöä voimalaitoksella selvitettiin ja siihen liittyviä mahdollisia menetelmiä käytiin läpi. Kuopion Energia Oy:llä parhaana pintaveden käsittelyvaihtoehtona nähtiin nanosuodatus. Sen soveltuvuutta päätettiin tutkia voimalaitoksella tapahtuvien pilot-kokein.

5 YLEISTÄ TEHDYISTÄ NANOSUODATUSKOKEISTA JA KÄYTETTYÄ TEKNIKKASTA

5.1 Nanosuodatustekniikka

Nanosuodatusta on käytetty esim. Yhdysvalloissa jo vuosikymmeniä veden pehmennykseen. Nykyään nanosuodatustekniikkaa käytetään humuksen poiston lisäksi myös suolojen poistoon. Kyseistä tekniikkaa on käytetty myös jätevesien puhdistuksessa. /12/

Nanosuodatuksessa vedestä poistetaan epäpuhtauksia paine-eron avulla. Syöttövesi ajetaan paineella puoliläpäisevän kalvon läpi, jolloin veden epäpuhtaudet pidättyvät kalvolle. Ominaisuuksiltaan prosessi on huomattavan paljon käänteisosmoosin kaltainen. Nanosuodatuksessa käytetään tavallisesti alle 7 barin painetta, jolloin energiankulutus on yleisesti ottaen pienempi kuin saman kapasiteetin käänteisosmoosilaitteella. Nanosuodatuksen suurin ongelma, joka on sama kuin muissakin kalvotekniikoissa, on kalvojen tukkeutuminen. Kalvojen tukkeutuessa tulee suorittaa pesu. Pesu suoritetaan virtaussuuntaan happo- ja lipeäliuoksilla. /13/

Yleensä nanosuodatus vaatii syöttöveden esikäsitteilyn. Esikäsitteilyn tarkoitus on vähentää tai poistaa kalvoja vahingoittavia veden sisältämiä aineita. Yleisimpiä esikäsitteilymenetelmiä ovat patruunasuodatus, hiekkasuodatus tai saostus-selkeytys-suodatus. Jos syöttöveden laatu on valmiiksi kyllin korkea, voidaan vettä ajaa suoraan nanosuodattimelle käyttäen löysempiä kalvoja. Yleisesti nanosuodatuskalvoilla voidaan poistaa käsiteltävästä vedestä moniarvoisia ioneja sekä halkaisijaltaan 0,01 - 0,001 µm kokoisia partikkeleita. /3; 14/

5.2 Kokeiden tavoitteet

Haapaniemellä vuonna 2010 tehtyjen nanosuodatuskokeiden tarkoituksena oli selvittää, voidaanko Kallaveden pintavettä tulevaisuudessa hyödyntää voimalaitoksella. Kokeissa tutkittiin nanosuodatuksen tehokkuutta ja soveltuvuutta erilaisten tulosten perusteella. Samalla tavoitteena oli tutkia myös nanosuodatuskalvojen likaantumista. Varsinaisessa pilot-kokeessa käytössä oli muutaman viikon myös käänteisosmoosiyksikkö, jolla voitiin tutkia nanosuodatuksen ja RO:n toimintaa sarjassa.

5.3 Kokeiden aikaiset vesianalyysit

Pilot-kokeiden yhteydessä tehtiin järvivedestä sekä nanolaitteiston konsentraatista ja permeaatista vesianalyysijä, joiden avulla tutkittiin nanosuodatusta ja sen puhdistustulosta.

Taulukosta 4 käy ilmi tehdyt vesianalyysit laboratorioineen. Suurin osa määrittämisistä tehtiin Haapaniemen omassa vesilaboratoriossa. Säännöllisesti muualla tehtyjä määrittämisistä olivat alumiini-, väri- ja TOC-määrittämiset. Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy:llä tehdyistä määrittämisistä muut kuin alumiini- ja väripitoisuudet olivat kertaluontoisia, joilla tutkittiin järvivettä.

Taulukko 4. Pilot-kokeiden aikaiset vesianalyysit ja määrittämispaikat

	Määrittäminen	Yksikkö
Haapaniemen voimalaitoksen vesilaboratorio	pH (+ lämpötila)	(°C)
	johtokyky	µS/cm
	veden kovuus	°dH
	silikaatti	µg/kg
	rauta	µg/kg
	KMnO ₄ , humus	mg/kg
	natrium	µg/kg
Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy, Kuopio	väri	mg/kg Pt
	alumiini	µg/kg
	alkaliteetti	mmol/kg
	nitriitti	mg/kg
	nitraatti	mg/kg
	kalsium	mg/kg
	magnesium	mg/kg
	fluoridi	mg/kg
	sulfaatti	mg/kg
Teollisuuden Vesi Oy, Mäntsälä	TOC	mg/kg

6 ALUSTAVA PILOT-KOE

6.1 Kokeet

Ensimmäisessä pilot-vaiheessa nanosuodatuskokeita suoritettiin kahdella eri kalvolla ja usealla eri koejärjestelyllä, joiden tuloksia vertailtiin. Taulukossa 5 on esitetty tehtyjen kokeiden määrä ja ajankohta.

Taulukko 5. Alustavat pilot-kokeet

Kalvo nro	Koejärjestely	Päivämäärä
1	A	1.6.2010
	A	7.6.2010
	B	2.6.2010
	C	3.6.2010
2	A	14.6.2010
	A	15.6.2010
	A	16.6.2010
	A	17.6.2010
	C	21.6.2010
	C	22.6.2010
	C	23.6.2010
	D	28.6.2010
	D	29.6.2010
	D	30.6.2010

6.2 Kokeiden kulku

Tuleville viikoille luotiin ohjelma, jonka mukaan kokeita suoritettiin ja tuloksia laadittiin. Suunnitelmasta kuitenkin poikettiin saatujen tulosten perusteella karsimalla tai lisäämällä tiettyjen kokeiden määrää. Alustavissa pilot-kokeissa kaikki vedet (permeaatti, konsentraatti, rejekti) johdettiin näytteenoton jälkeen viemäriin. Yleisesti ottaen, joka päivä suoritettiin yksi nanosuodatus, jonka näytevedet analysoitiin vielä samana tai seuraavana päivänä.

Kokeen etenemistä seurattiin suodatetun vesimäärän lisäksi rotametrien avulla. Rotametreiltä luettiin laitteelle tulevan raaka-, kierto- ja tuoteveden virtauslukemat puolen tunnin välein. Vesistä otettiin näytteitä, joista tehtiin vesianalysejä. Näytteiden analysoi-

tavat suureet vaihtelivat hieman koejakson edetessä. Kokeiden jälkeen laitteistoa huuhdeltiin suolavapaalla vedellä.

Kokeiden aikana permeaatista määritettiin välittömästi:

- lämpötila [°C]
- johtokyky [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
- pH
- kovuus [°dH]

Noin 1 ½ h välein permeaatista otettiin näyte, josta tutkittiin myöhemmin myös:

- silikaattipitoisuus [$\mu\text{g}/\text{kg}$]
- TOC (orgaaninen kokonaishiili) [mg TOC/kg]

Lisäksi päivittäin kerran otetuista näytteistä tutkittiin kunkin suodatuskokeen jälkeen:

- johtokyky [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
- pH
- kovuus [°dH]
- rauta [$\mu\text{g}/\text{kg}$]
- silikaatti [$\mu\text{g}/\text{kg}$]
- KMnO_4 -kulutus (orgaaninen aines, humus) [mg/kg]
- väri [mg/kg Pt]
- alumiini [$\mu\text{g}/\text{kg}$]
- natrium [$\mu\text{g}/\text{kg}$]

6.3 Tulokset

Kokeita suoritettiin yhteensä viiden viikon ajan. Tuloksia saatiin nanosuodatuksen aikaisista virtauksista sekä tehdyistä vesianalyyseistä. Käytettyjen kalvojen ja koejärjestelyjen välillä syntyi oleellisia eroja.

Tuloksista voitiin selvästi havaita kalvokohtainen ominaisuusero aineiden pidättämiskyvyssä. Esikäsitteilyllä ei näyttänyt olevan suurta vaikutusta silikaatin pidätyskykyyn. Kalvolla 1 tehdyissä nanosuodatuksissa tuoteveden silikaattipitoisuudet ovat noin kymmenkertaisia verrattuna kalvoon 2. Kalvo 2 on yleisesti tehokkaampi myös liuenneiden suo-

lojen poistossa. Myös raudan, kovuussuolojen ja humuksen poisto on tehokkaampaa kalvolla 2. Kalvo 1 pääsee samoihin puhdistustuloksiin vain yhdellä koejärjestelyllä.

6.4 Johtopäätökset

Tuloksista huomataan, että kalvo 2 toimi paremmin. Lisäksi eri koejärjestelyjen välillä syntyi huomattavia eroja puhdistustuloksissa. Yhden koejärjestelyn kohdalla tuoteveden saanto ja puhdistustulokset olivat muita vaihtoehtoja paremmat. Kalvoa 2 ja kyseistä koejärjestelyä päätettiin käyttää tulevissa varsinaisissa pilot-kokeissa.

Nanosuodatetun järviveden ominaisuuksia voitiin vertailla lisäksi Kuopion verkostoveteen. Nanosuodatetun järviveden johtokyky oli marginaalinen verrattuna tähän. Tulosten mukaan nanosuodatettu pintavesi on silikaattipitoisuudeltaan laadukkaampaa kuin nykyinen käänteisosmoosin syöttövesi. /15/

Pilot-kokeissa tähän asti saadut puhdistustulokset olivat lupaavia myös veden kovuuden suhteen. RO-laitteiston syöttöveden kovuus on oltava olla mahdollisimman alhainen. Myös rauta- ja humuspitoisuuksiin voitiin olla tässä vaiheessa tyytyväisiä. Tulokset loivat kuitenkin odotuksia tulevan varsinaisen pilot-laitteiston puhdistustehosta.

7 VARSINAINEN PILOT-KOE

Varsinaisen pilot-kokeen laitteisto saapui Haapaniemelle noin kaksi viikkoa alustavien pilot-kokeiden päätyttyä. Kokeessa päämääränä oli selvittää, onko nanosuodatus tarpeeksi tehokasta, jotta muodostunutta tuotevettä voitaisiin käyttää nykyisen vedenkäsittelylaitoksen raakavetenä.

Pilot-koe alkoi Haapaniemellä esivalmisteluain laitetöimittajan vielä rakennellessa laitteistoa. Laitteiston asennuksen ja käyttöönoton jälkeen aloitettiin varsinaiset kokeet, jotka kestivät noin seitsemän viikkoa. Suodatus keskeytettiin kuitenkin muutaman kerran mm. viikonloppujen ja huoltojen ajaksi. Kokeiden jälkeen laitteisto ajettiin alas ja nanokalvot jälkikäsiteltiin.

7.1 Kokeet

Suuremmalla pilot-laitteistolla nanosuodatus oli jatkuvatoimista. Tehty koe voidaan jakaa taulukon 6 mukaisesti kahteen jaksoon. Nanosuodatus keskeytettiin kokeen aikana muutamaan otteeseen. Elokuun puolessa välin voimalaitoksella oli tuotannon täysseisokki, joka johtui rakenteilla olleen uuden voimalaitoksen töistä. Täysseisokin lisäksi nanosuodatus keskeytettiin koejärjestelyn muuttumisen myötä. Myös käytössä olleiden laitteistojen huolto- ja ylläpitotoimenpiteet keskeyttivät nanosuodatuksen lyhyiksi ajoiksi.

Taulukko 6. Varsinaisen pilot-kokeen koejaksot

Kalvo	Koejärjestely	Koejakso
2	C	16.7. - 25.8.2010
	D	25.8. - 4.9.2010

7.2 Esivalmistelut ja asennus

Ennen nanolaitteiston toimitusta Haapaniemellä tehtiin esivalmisteluja, jotta itse käyttöönotto sujuisi mahdollisimman helposti. Esivalmisteluja varten selvitettiin mm. tarvittavat liitokset, letkut ja muut laitteet. Myös liitoksissa tuli käyttää ruostumattomasta teräksestä valmistettuja osia, jotka hankittiin hyvissä ajoin voimalaitokselle.

Pilot-laitteiston käyttöönotto viivästyi hieman, koska sitä ei saatu asennettua suunnitellulle paikalle valmiiksi koottuna. Siirtoa varten laitteistosta purettiin mm. paineputket. Varsinaisen asennuksen yhteydessä nanoelementit sijoitettiin paineputkien sisään, vesiletkut liitettiin ja laitteistoa testattiin.

7.3 Kokeen seuranta, vesianalyysit ja muut toimenpiteet

Kokeen käynnistyttyä nanosuodatusprosessista tutkittiin ja seurattiin päivittäin lukuisia asioita. Itse laitteistosta luettiin veden syöttöpaine sekä raakaveden, konsentraatin ja permeaatin virtausarvot. Myös mahdollisia vuotoja tarkkailtiin sekä ylimääräisiä ääniä pyrittiin analysoimaan. Päivittäin tehtäviä vesimäärytyksiä olivat mm. johtokyky ja lämpötila nanolaitteen konsentraatista ja permeaatista. Myös kyseisten vesien silikaattipitoisuutta seurattiin päivittäin.

Pilot-kokeesta tehtiin viikoittain voimalaitoksen vesilaboratoriossa laajat vesianalyysit. Viikoittaiset vesianalyysit tehtiin järven pintavedestä, nanolaitteiston konsentraatista ja permeaatista. Myös RO 3:n syöttö- ja tuotevedestä tehtiin muutaman viikon ajan laajat vesianalyysit. Viikoittaisin tehtäviä vesianalyysijä em. näytevesistä olivat:

- pH
- johtokyky [µS/cm]
- rauta [µg/kg]
- silikaatti [µg/kg]
- KMnO₄-kulutus (orgaaninen aines, humus) [mg/kg]
- Kovuus [°dH]
- alumiini [µg/kg]
- natrium [µg/kg]

Pilot-kokeen aikana nanosuodatusta ja siihen liittyvää laitteistoa seurattiin muiltakin osin. Kokeen aikana TOC-määritykset suoritettiin kertaalleen niin nanolaitteiston kuin myös RO 3:n syöttö-, tuote- ja hylkyvesistä. Vesianalyysien lisäksi RO 3:sta säännöllisesti tarkkailtavia asioita olivat:

- veden paineet ennen ja jälkeen RO 3:n [bar]
- syöttöveden määrä [m³]
- käynnistyskerrat ja käynnistystiheys
- yhteiskäyntiaika [vrk]

Laitteistoon kuuluva pussisuodatin tuli vaihtaa tarpeen mukaan. Nanolaitteiston käyttöönoton jälkeen pussisuodatin vaihdettiin ensimmäisen kerran lähes välittömästi, koska asennettu suodatin (5 µm) osoittautui liian tiiviiksi. Myöhemmin käytetty 50 µm suodatin jouduttiin vaihtamaan kokeen aikana vain kaksi kertaa. Suodatin ilmoitti vaihtotarpeen itse punaisella merkkivärillä.

Kokeen aikana nanosuodatuskalvoja tuli huuhdella suolavapaalla vedellä säännöllisesti. Huuhtelun tarkoituksena oli pitää nanolaitteiston tuotto mahdollisimman suurena ja tutkia samalla sen vaikutusta puhdistustuloksiin. Nanolaitteiston huuhtelu tapahtui käytännössä katkaisemalla raakaveden tulo laitteistolle ja korvaamalla se suolavapaalla vedellä. Suolavapaata eli puhdasvettä pyrittiin syöttämään nanolaitteistolle samalla paineella kuin raakavettäkin. Huuhtelua jatkettiin 10 - 20 minuuttia, jonka jälkeen permeaatista ja konsentraatista otettiin vesinäytteet.

Pilot-kokeen päätyttyä nanosuodatuskalvot pestiin ja säilöttiin. Kalvojen pesu aloitettiin lipeäpesulla. Käytetty lipeäliuos koostui 300 litrasta suolavapaata vettä, johon lisättiin 0,4 litraa 50 %:sta natriumhydroksidia. Lipeäpesun jälkeen kalvot huuhdeltiin suolavapaalla vedellä ennen happopesua. Happopesun liuoksena käytettiin 300 litraa suolavapaata vettä, johon sekoitettiin 4 l 32 %:sta suolahappoa. Myös happopesun jälkeen kalvot huuhdeltiin huolellisesti. Niin lipeä- kuin happopesukin suoritettiin useita kertoja peräkkäin. Pesujen jälkeen nanosuodatuslaitteistoon ja kalvoille pumpattiin natriummetabisulfaattiliuos (3 kg natriummetabisulfaattia + 300 l suolavapaata vettä), jota kierrätettiin ensin 0,5 h, jonka jälkeen ulostulojen venttiilit suljettiin ja säilöntä oli valmis.

7.4 Henkilökunnan ohjeistus ja koulutus

Haapaniemen voimalaitoksella työskentelee arkipäivisin useita kymmeniä työntekijöitä. Lisäksi vuorotyötä tehdään iltaisin, öisin ja viikonloppuisin. Nanosuodatuskoe vaikutti päivystävien työntekijöiden, kuten laitosmiesten ja valvomon henkilökunnan, työnkuvaan. Työntekijöiden oli tarpeellista tietää miten toimia esimerkiksi onnettomuus- tai huoltotilanteissa.

Voimalaitoksen henkilökunnalle tehtiin koetta varten ohjeita, jotka koskevat mm. nanolaitteiston huuhtelua ja toimintaa vuotojen sattuessa. Kirjoitettujen ohjeiden ja tiedotteiden lisäksi vuorotyötä tekevää henkilökuntaa koulutettiin lyhyesti. Koulutuksen jälkeen työntekijä oli tietoinen nanosuodatuksen toimintaperiaatteista ja puhdistuslaitteista. Henkilökunnan ohjeistamisesta olikin hyötyä. Nanokokeiden aikana vesiletkuja hajosi muutama otteeseen myös ilta- ja yövuorojen aikaan. Tällöin paikalle sattunut työntekijä oli osannut tehdä tarvittavat toimenpiteet joko korjaamalla letku tai liitoskohta sulkemalla ensin syöttöveden tulo.

7.5 Tulokset

Syöttö- ja tuotevesivirtaukset kulkivat käytännössä rinnakkain koko kokeen ajan. Syöttövesivirtauksen laskiessa myös permeaattisaanto tippui. Permeaattivirtaus oli läpi pilotkokeen noin puolet (41 - 52 %) syöttövirtauksesta. Nanosuodatuslaitteiston säännöllinen huuhtelu piti tuoteveden saannon samalla tasolla tai jopa hieman nosti sitä verrattuna tilanteeseen ennen huuhtelua.

Raakavesi pysyi pilotkokeen ajan lähes muuttumattomana. Järvivesi oli tasalaatuista eikä merkittäviä pitoisuusvaihteluita muodostunut lukuun ottamatta silikaattia, jonka pitoisuuksissa tapahtui prosentuaalisesti huomattavia muutoksia.

Tuoteveden johtokyky ja SiO_2 -pitoisuus oli lähes samaa tasoa kuin alustavissa pilotkokeissa. Johtokyky oli hieman aiempaa korkeampi ja silikaattipitoisuus vastaavasta varsinkin kokeen loppua kohden matalampi. Tuoteveden eri pitoisuudet (rauta, kovuus, humus ym.) olivat raakaveteen verrattuna pieniä. Lisäksi tuloksista huomataan, kuinka puhdistustulos ei huonontunut kokeen loppua kohden, vaikka nanokalvoja ei pesty lainkaan.

RO 3 -tulosten mukaan käänteisosmoosi pienentää nanosuodatuksen tuoteveden johtokykyä edelleen noin 10 - 50 %. Käänteisosmoosiin syötettävän veden rauta- ja humuspitoisuudet eivät sen sijaan pienentyneet. Syöttöveden silikaatti- ja natriumpitoisuudet laskivat. RO 3:n silikaatin pidätyskyky oli 70 - 90 % ja natriumin 50 - 70 %.

Pilotkokeen aikaisesta RO 3:n tarkkailusta todettakoon lisäksi, että 24 vrk:n aikana yksikölle syötettiin nanolaitteiston tuotevettä noin 850 m³. Tänä aikana RO 3:n käynnistystiheys oli 10 käynnistystä/vrk.

7.6 Muuta huomioitavaa

Pilotkoe suoritettiin kesäaikaan, jolloin käsiteltävä järvivesi oli mm. humuspitoisuudeltaan tietynlaatuista. Talvisin Suomen järvien humuspitoisuudet on matalimmillaan. Vastaavasti keväisin ja syksyisin, jolloin sulamis- ja sadevesiä on eniten, humuspitoisuus on korkeimmillaan mm. maan huuhtoutuman takia. Orgaanisen aineksen määrä vaikuttaa myös järven rautapitoisuuteen sen esiintyessä usein humukseen sitoutuneena. Myös muut veden ominaisuutta kuvaavat pitoisuusarvot olisivat voineet olla vuodenajasta riippuen erilaisia. /3; 16/

Koeaikana pintavesi oli suhteellisen lämmintä verrattuna siihen, jos kokeet oltaisi tehty talven aikana. Veden lämpötilalla arveltiin kuitenkin olevan vähäinen vaikutus puhdistustuloksiin.

Raakavettä ei saatu pumpattua nanosuodatukseen toivotulla tavalla, vaan syöttövirtaus jäi hieman tavoitteesta. Vettä oltaisi saatu siirretyksi enemmän, jos käytössä olleet putket ja niiden liitokset olisivat olleet suurempia. Kapasiteetti oli rajallinen, johtuen voimalaitoksen jäähdytys- ja sammutusvesijärjestelmästä. Raakaveden saannin maksimoimiseksi pilot-koetta varten olisi pitänyt rakentaa kokonaan uusi järvivesilinja. Tämä ei kuitenkaan tullut kysymykseen. Kokeissa pilot-laitteiston syöttöventtiiliä piti näin pitää täysin auki, eikä sen säätöä ja vaikutusta tuloksiin päästy kokeilemaan. Saatavissa oleva virtaus saatiin selville vasta, kun suurempi koe-laitteisto oli jo asennettu.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulosten perusteella voidaan todeta, että nanosuodatustekniikka soveltuu pintaveden puhdistukseen Haapaniemen voimalaitoksen tarpeisiin. Kokeessa saatua tuotevettä voidaan käyttää nykyisen vedenkäsittelylaitoksen raakavetenä. Haapaniemellä tullaan ottamaan käyttöön täysimittainen pintaveden nanosuodatuslaitteisto. Nanosuodatus on tehokasta ja sen tuoteveden ominaisuusarvot ovat kilpailukykyisiä vertailtaessa niitä Kuopion verkostoveden vastaaviin ominaisuuksiin.

Myös muilla mittareilla, kuten rauta-, humus, alumiini-, natriumpitoisuudet, katsottuna nanosuodatettu järvivesi on kyllin puhdasta ja tasalaatuista. Nanosuodatettu ja käänteisosmoosin läpi kulkenut tuotevesi on verkostoveteen verrattuna parempaa CDI:n syöttövettä. Vähän silikaattia sisältävä nanosuodatettu pintavesi kuormittaisi CDI-yksikköä nykyistä vähemmän. Nanosuodatuksen tehokkuus, vähäiset prosessivaiheet ja lähes kemikaaliton käyttö ovat varsinkin muihin pintaveden käsittelymenetelmiin verrattuna selviä etuja.

Nanosuodatustekniikan käyttö Haapaniemen voimalaitoksella on kannattavaa, kun laitteisto ja järjestelyt toimivat. Tulevaisuudessa vedenkäsittely on nykyistä varmempaa, jos täysimittaisella nanosuodatuslaitteistolla pystytään tuottamaan riittävästi pilot-kokeen kaltaista tuotevettä. Nanosuodatetun pintaveden rinnalla, voidaan edelleen käyttää varalla Kuopion kunnallista verkostovettä. Sitä hyödynnettäisiin varsinkin mahdollisissa nanolaitteiston häiriö- tai huoltotilanteissa.

Pintaveden ja nanosuodatuksen käytöstä suolavapaan veden valmistuksessa ei ole vielä selvää kokemusta Suomessa. Riskit, kuten kalvojen likaantuminen, niiden käyttöikä ja pesujen vaikutus, selviävät lopullisesti käyttökokemusten myötä. Odottamattomat ongelmat ja työvaiheet voisivat jopa lisätä henkilökunnan työtä. Työmäärään vaikuttaa myös tulevan laitteiston automaatioaste. Pintaveden laatumuutokset tulevat tuskin olemaan merkittäviä, joten niihin liittyvät riskit jäävät teoreettiselle tasolle.

9 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää järven pintaveden soveltuvuus Haapaniemen voimalaitoksen nykyisen vedenkäsittelyn raakavedeksi. Vedenkäsittelyn tuotteena saadaan suolavapaata vettä. Käsitelty raakavesi tulee lopulta päätymään näin prosessivedeksi, jota käytetään sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannossa. Vuonna 2008 laadultaan muuttanut Kuopion verkostovesi on osoittautunut ongelmalliseksi voimalaitoksen nykyiselle vedenkäsittelylle ja sen laitteistoille. Veden laatumuutoksen ja sen seurauksien johdosta oli tehty esiselvityksiä mahdollisista ratkaisumalleista, joilla ongelmat voitaisiin korjata.

Työn käytännön osuus alkoi, kun Haapaniemelle toimitettiin pilot-kokeen laitteisto. Kokeiden tavoitteena oli tutkia nanosuodatusta ja sen puhdistustehoa. Kokeiden näyteveksiä tutkittiin mm. Haapaniemen omassa laboratoriossa. Vesianalyysejä tehtiin järjestelmällisesti joko päivittäin tai viikoittain.

Saatujen tuloksien mukaan nanosuodatettu järven pintavesi soveltuu Haapaniemen nykyisen vedenkäsittelyn raakavedeksi. Tulosten perusteella kokeiden tuotevesi on tarpeisiin nähden laadukkaampaa kuin Kuopion verkostovesi. Näin Kuopion verkostoveden laatumuutoksesta johtuvat ongelmat voivat olla ratkaistut.

Täysimittainen nanolaitteisto on huomattava investointi. Kuopion verkostovedestä luopuminen prosessivesilähteenä pienentää kuitenkin merkittävästi vuosittaisia käyttökustannuksia. Uusi laitteisto ja sen suhteellisen tuore tekniikka varsinkin kyseisellä alalla tuovat omat riskinsä. Lopullinen totuus nanosuodatuksesta Kuopion Energia Oy:n kohdalla saadaan vasta käyttökokemusten myötä.

LÄHTEET

1. Leiterä, Satu, *Vesikemia voimalaitosprosessissa* [verkkodokumentti, PDF]. Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2005 [viitattu 10.12.2010]. Saatavissa: www.promaint.net/downloader.asp?id=1445&type=1
2. Energiataloudellinen yhdistys, *Keskipaineisten höyryvoimalaitosten vesikemian valvonta ja analyysiohjeet. Raportti 15/1985*
3. Sulonen, Matti: *Esiselvitys pintavesilaitteiston hankintaan Haapaniemen voimalaitokselle*. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu Tekniikka Kuopio, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. 2009.
4. *Veden ominaisuudet, käsitteitä* [verkkodokumentti]. Jyväskylän yliopisto 2007 [viitattu 20.1.2011]. Saatavissa: http://virtuaaliyliopisto.jyu.fi/oppi/ako/Sanasto/document.2007-04-24.1027628888/document_view/#Ohimenev%C3%A4%20kovuus
5. Vidqvist, Maija. Dipl. ins, Teollisuuden Vesi Oy. Puhelinkeskustelu. 9.2.2011.
6. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [verkkodokumentti]. 17.6.2006 [viitattu 15.12.2010]. www.ymparisto.fi > Suomen ympäristökeskus > Laboratoriot > Ympäristömittaus- ja testauslaboratorio > Laboratoriopalvelut (Oulu) > Määrittämisvalmiudet > Orgaaninen kokonaishiili. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=19464&lan=fi>
7. Rissanen, Teemu, *Kuopion Energian Haapaniemen voimalaitoksen uudistetun suolanpoistolaitoksen käyttöönottoprosessi*. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu Tekniikka Kuopio, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. 2005.
8. *Talousveden laatuvaatimukset* [verkkodokumentti]. Keuruun kaupunki. [viitattu 18.1.2011]. Saatavissa: <http://www.keuruu.fi/terve/vesitut3.htm#Alumiini,%20Al>
9. Vidqvist, Maija, *Käänteisosmoosilla puhdasta vettä* [verkkodokumentti, PDF]. Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2005 [viitattu 12.12.2010]. Saatavissa: http://www.promaint.net/alltypes.asp?d_type=1&menu_id=500֧

10. *Vuosikertomus 2009*. Kuopion Energia Oy. 2010.
11. Tanninen, Liisa, *Haapaniemi 3 vähentää päästöjä ja lisää huoltovarmuutta* [verkkodokumentti]. Kuopion Energia Oy [viitattu 15.12.2010]. Saatavissa: <http://www.kuopionenergia.fi/fi/?id=36&selArticle=88>
12. Liikanen, Riina, *Kalvosuodatustekniikat – vaihtoehtoja veden- ja jätevedenkäsittelyyn* [verkkodokumentti, PDF]. Maa- ja Vesitekniikan Tuki Ry 2007 [viitattu 15.12.2010]. Saatavissa: <http://www.mvtt.fi/Vesitalous/arkisto/2007/032007/riinliik.pdf>
13. *Nanofiltration* [verkkodokumentti]. Eurowater [viitattu 13.12.2010]. Saatavissa: <http://www.eurowater.fi/tuotteet/nanosuodatus.aspx>
14. Prominent Finland Oy [verkkodokumentti]. [viitattu 13.12.2010]. Prominent Finland > Kotisivu > Tuotteet > Kalvosuodatuslaitteistot (RO). Saatavissa: http://www.prominentfinland.fi/DesktopDefault.aspx/tabid-4038/173_read-2571/
15. *Haapaniemen voimalaitoksella tehdyt vesianalyysit*. Kuopion Energia Oy. 2010. Dokumentti tekijän hallussa.
16. Suomen Ympäristökeskus [verkkodokumentti] 3.11.2009 [viitattu 5.2.2011]. Etusivu > Indikaattorit > Sisävedet > SV7 Humuspitoisuus. Saatavissa: <http://www.luonnontila.fi/fi/indikaattorit/sisavedet/sv7-humuspitoisuus>

www.savonia.fi

