

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
merenkulun koulutusohjelma / merenkulun insinöörin sv.

Juhana Seilonen

KÄÄNTEISOSMOOSILAITTEISTON ASENNUKSEN JA KÄYTTÖÖNOTTO
PIENELLÄ MATKUSTAJA-ALUKSELLE

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

SEILONEN, JUHANA

Käänteisosmoosilaitteiston asennus ja käyttöönotto pienellä matkustaja-aluksella

Opinnäytetyö

33 sivua

Työn ohjaaja

Lehtori Ari Helle

Toimeksiantaja

Kymi Technology

Maaliskuu 2012

Avainsanat

käänteisosmoosi, matkustaja-alukset, asennus, käyttöönotto, laivat

Opinnäytetyössä tarkastellaan jälkiasennuksena suoritettavaan käänteisosmoosilaitteiston asennukseen ja käyttöönottoon liittyviä asioita. Tavoitteena on perehtyä käänteisosmoositekniikkaan ja käydä läpi laitteiston asennuksen suunnittelun, asennustyön ja käyttöönoton vaiheita käyttäen esimerkkinä pieneen matkustaja-alukseen asennettavaa laitteistoa.

Työn alkupuolella tarkastellaan käänteisosmoosilaitteiston komponentteja ja perehdytään käänteisosmoosiprosessiin. Työn loppupuolella käydään läpi esimerkkilaitteiston asennus ja käyttöönotto.

Työ pohjautuu internet- ja kirjallisuuslähteisiin sekä tekijän omaan kokemukseen käänteisosmoosilaitteiston asennuksesta ja käyttöönotosta.

Työssä selvisi, että käänteisosmoosilaitteiston asennus laivalle sen ollessa normaalissa liikenteessä sisältää tiettyjä haasteita, mutta on mahdollista toteuttaa onnistuneesti. Asennustyö vaatii hyvää suunnittelua ja töiden tehokasta organisointia. Työssä kävi myös ilmi laitteiston hyvän käyttöönoton merkitys laitoksen toimimisen kannalta.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Marine Technology

SEILONEN, JUHANA

The Installation and Commissioning of the Reverse Osmosis Plant on a Small Passenger Ship

Bachelor's Thesis

33 pages

Supervisor

Ari Helle, Lecturer

Commissioned by

Kymi Technology

March 2012

Keywords

reverse osmosis, passenger ship, commissioning, installation

This thesis examines the installation of the reverse osmosis plant on a small passenger ship. The aim was to help to obtain an overall understanding of the reverse osmosis process and examine different phases of the installation and commissioning of the reverse osmosis machinery.

The first part of the thesis examines the different components of the reverse osmosis plant and studies the reverse osmosis process. The second part focuses on the installation and commissioning of the plant.

The first part of the thesis is largely based on internet documents and written material. The material for the second part of this thesis was gathered from different reverse osmosis manufacturers and is also widely based on personal observation of the installation and commissioning of the plant.

It can be concluded that the installation of the reverse osmosis plant on the ship while in-service is a challenging project but can be accomplished. Installation project needs sufficient planning and good organization of different tasks. The successful commissioning of the installed machinery is an essential requirement for ideal plant performance.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

TERMIT JA LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 KÄÄNTEISOSMOOSI	8
2.1 Teoriaa	8
2.2 Käänteisosmoosin käyttökohteet	9
3 KÄÄNTEISOSMOOSILAITTEISTO	9
3.1 Kokoonpano	9
3.1.1 Syöttöpumput	9
3.1.2 Raakaveden esikäsittely	9
3.1.3 Paineenkorotuspumput	10
3.1.4 Kalvoelementit ja painekotelo	11
3.1.5 Antiskalantin annostelu	12
3.1.6 Mineraalisuodatin	13
3.1.7 Puhdistus- ja säilöntäyksikkö	13
3.1.8 Instrumentit ja venttiilit	13
3.2 Putkisto	14
3.3 RO-moduulit	15
4 KÄÄNTEISOSMOOSIPROSESSI	15
4.1 Osa- tai jatkuva prosessi	15
4.2 Kalvojen erilaiset kytkentämenetelmät	16
4.2.1 Yksittäisen paineastian menetelmä	16
4.2.2 Yksiportainen rinnankytkentä	17
4.2.3 Moniportainen rinnankytkentä	17
5 KÄÄNTEISOSMOOSILAITTEISTON ASENNUS ESIMERKKIALUKSELLA	18
5.1 Laitteiston valinta	18

5.2	Asennettava RO-laitteisto	18
5.3	Laitteiston toimintaperiaate	19
5.4	Asennuksen suunnittelu	20
5.4.1	Työn aikataulus	20
5.4.2	Materiaalin tarve	20
5.4.3	Laitteiston sijoitus	20
5.4.4	Perustukset	21
5.5	Asennustyö	21
5.5.1	RO-yksiköt	22
5.5.2	Syöttöpumput	23
5.5.3	Mineraalisuodattimet	24
5.5.4	Putkisto	25
5.5.5	Pesusäiliö	26
5.5.6	Kalvot	27
5.6	Sähkötyöt	27
5.7	Tulityöt	27
6	LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTO	28
6.1	Käyttöönoton toteutus	28
6.2	Tarkistettavat kohteet	28
6.3	Käyttöönotossa ilmenneet ongelmat	30
6.4	Käytönopastus	30
6.5	Huolto	30
7	YHTEENVETO	31
	LÄHTEET	32

TERMIT JA LYHENTEET

ANTISKALANTTI	Antiscalant (Veden kiteytymistä ehkäisevä kemikaali)
BW	Brackish Water (Murtovesi)
CA	Cellulosa Asetate (Keinomuovi)
KONSENTRAATTI	Väkevöitynyt suolaliuos
LE	Low Energy (Alhaisen paineen vaativa kalvoelementti)
PA	Poluamide (Synteettisesti valmistettu kuitu)
PERMEAATTI	Kalvon läpäissyt puhdas vesi
RO	Reverse Osmosis (Käänteisosmoosi)
SAANTO	Ilmoittaa raakavedestä tuotetun permeaatin suhteellisen määrän
SW	Sea Water (Merivesi)
TFC	Thin Film Composite (Ohut kalvokomposiitti)
XLE	Extra Low Energy (Erittäin alhaisen paineen vaativa kalvoelementti)

1 JOHDANTO

Matkustaja-aluksilla makean veden kulutus on yleensä suuri. Näiden alusten ei ole aina mahdollista saada tarvittavaa vettä satamasta, vaan se on tuotettava itse. Yleinen vaihtoehto makean veden tuotantoon on evaporaattori, joka höyrystää merivettä alipaineessa ja tiivistää tuotetun höyryn meriveden avulla. Tässä työssä keskitytään kuitenkin vaihtoehtoiseen menetelmään, käänteisosmoosiin, joka perustuu meriveden puhdistamiseen korkealla paineella käänteisosmoosikalvon läpi.

Normaalisti käänteisosmoosilaitteisto asennetaan laivan uudisrakennusvaiheessa, mutta laitteisto on mahdollista asentaa myös jälkeinpäin. Työssä käsitellään jälkikäteen asennettavan käänteisosmoosilaitteiston asennusvaiheita ja sen käyttöönottoon liittyviä seikkoja.

Työn tarkoituksena on selvittää, mitä kuuluu jälkiasennuksena suoritettavaan käänteisosmoosilaitteiston asennukseen ja käyttöönottoon pienellä matkustaja-aluksella, kun aikataulu on tiukka ja työ suoritetaan oman henkilökunnan voimin laivan normaalin toiminnan aikana.

Työn alussa tarkastellaan käänteisosmoositekniikkaa, perehdytään tarkemmin siinä käytettävään laitteistoon sekä käydään läpi varsinaista käänteisosmoosiprosessia. Työn loppupuolella paneudutaan esimerkialuksella tapahtuvaan käänteisosmoosilaitteiston asennustyöhön ja käyttöönottoon.

Työssä olevat valokuvat ovat tekijän omia.

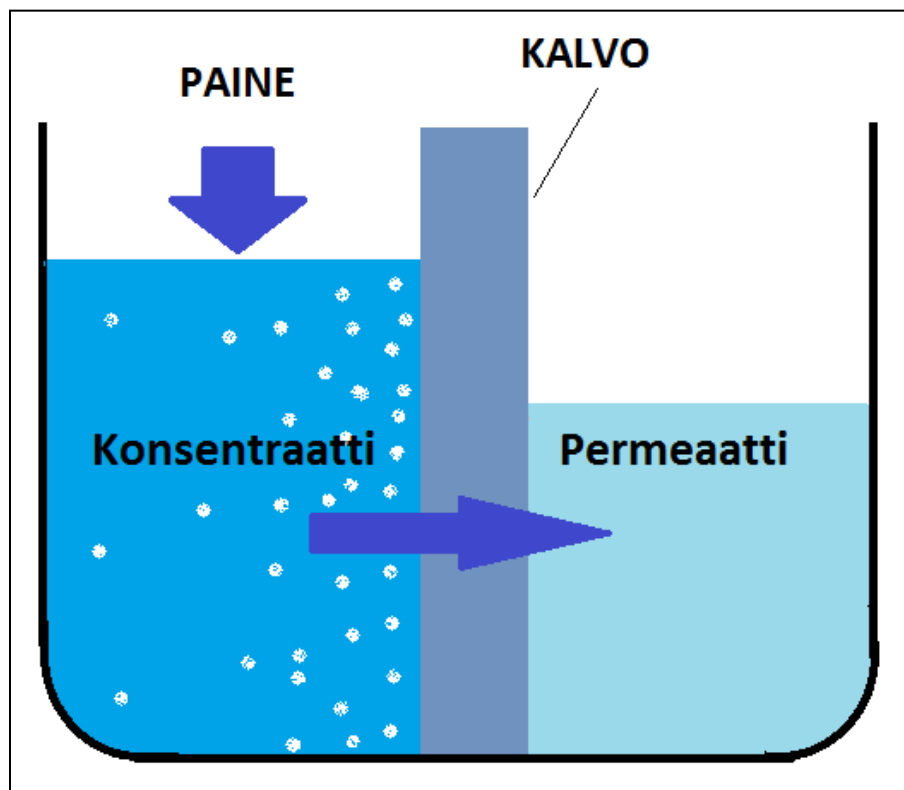
2 KÄÄNTEISOSMOOSI

2.1 Teoriaa

Osmoosi on ilmiö, jota esiintyy luonnossa esimerkiksi kasvien ja eläinten elintoiminnossa. Osmoosissa veden suolapitoisuus pyrkii tasoittumaan puoliläpäisevän kalvon molemmille puolille, jolloin vesi läpäisee kalvon, mutta suola ei. (Kaasalainen 2007, 12)

Käänteisosmoosi on osmoosista kehitetty kalvonerotustekniikka. Siinä suolainen liuos puristetaan korkealla, osmoottista painetta suuremmalla, paineella puoliläpäisevän kalvon läpi, jolloin vain vesimolekyylit läpäisevät kalvon ja suolat ja muut partikkelit erottuvat. Puhdas vesi ohjataan jatkokäsittelyyn ja suolainen konsentraattiliuos viemäriin tai takaisin mereen. (Kaasalainen 2007, 12.)

Käänteisosmoosilla voidaan poistaa 95 – 99,9 % vedessä olevista suoloista (Hyxo Oy).



Kuva 1. Käänteisosmoosi.

2.2 Käänteisosmoosin käyttökohteet

Käänteisosmoosia käytetään makean veden valmistamiseen laivoilla ja muilla pienemmillä aluksilla, mutta prosessia sovelletaan laajasti myös muualla. Käänteisosmoosimenetelmää käytetään jätevedenpuhdistuksessa, elintarviketeollisuudessa, lääketeollisuudessa sekä kotitalouksissa juomaveden puhdistamiseen. Tämän lisäksi käänteisosmoosin tuottamaa suolatonta vettä käytetään puolijohdeteollisuudessa sekä voimalaitoksissa. (Dow Water & Process Solutions, 9.)

3 KÄÄNTEISOSMOOSILAITTEISTO

3.1 Kokoonpano

Käänteisosmoosilaitteisto koostuu syöttö- ja paineenkorotuspumpusta, esikäsitteily-suodattimista, paineputkista, kalvoelementeistä, mineraalisuodattimista ja kalvojenpuhdistuslaitteesta.

3.1.1 Syöttöpumput

Syöttöpumppujen tehtävänä laivan käänteisosmoosiprosessissa on pumpata raakavesi merivesikaivosta laitteistolle ja varmistaa riittävä massavirtaus. Syöttöpumppujen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat riittävä painetason ylläpitokyky, materiaalin kestävyys ja pumpun luotettavuus.

Syöttöpumppuna käytetään usein monijaksoista keskipakopumppua. Se muodostuu useasta juoksupyörästä, jotka muuttavat osan nesteen liike-energiasta paine-energiaksi ja nostavat paineen vaadittavalle tasolle. (Häkkinen, Laivan putkistot 1998, 47.)

3.1.2 Raakaveden esikäsitteily

Käänteisosmoosiprosessissa on tärkeää varmistaa raakaveden puhtaus. Likainen raakavesi tukkii käänteisosmoosikalvot, mikä aiheuttaa järjestelmässä painehäviötä, tuotteen laadun heikentymistä ja permeaatin tuoton vähenemistä.

Käänteisosmoosikalvojen likaantumisen estäminen vaatii raakaveden tehokkaan esikäsittelyn. Tämä voidaan toteuttaa erilaisten mekaanisten suodattimien avulla, joilla raakavedestä poistetaan putkistosta ja vedestä tulevat epäpuhtaudet, kuten hiekka ja korroosiohiukkaset. (Auvinen & Haverinen 2011, 32.)

Suodattimien tilaa voidaan tarkkailla sen läpi kulkevan raakaveden paine-eron perusteella. Kun paine-ero ylittää sallitun raja-arvon, suodattimet vaihdetaan. Koska pienetkin klooripitoisuudet raakavedessä vahingoittavat käänteisosmoosikalvoa, vedessä oleva mahdollinen jäännöskloori tulee myös suodattaa. Tässä käytetään avuksi aktiiviviivilisuodatinta. (Nitto Denko, 4.) Sillä voidaan suodattaa myös makeavesipuhdistuksessa käytettävän veden klooripitoisuudet.

Käänteisosmoosikalvot tuhoutuvat jo vähäisestä öljymäärästä ja siksi on huomioitava öljyn poistaminen raakaveden esikäsittelyssä. Raakaveden mukana mahdollisesti kulkeutuvan öljyn poistamiseen tarvitaan aktiiviviivilisuodatus, joka myös lisää laitteiston hintaa. Käänteisosmoosilaitteisto on mahdollista hankkia myös ilman öljynsuodatusta. Tällöin tulee olla tarkkana, ettei laitteistoa käynnistetä alueilla, joissa öljyn esiintyminen vedessä on todennäköistä. Näitä alueita ovat esimerkiksi satama-altaat ja rannikon lähialueet.

3.1.3 Paineenkorotuspumput

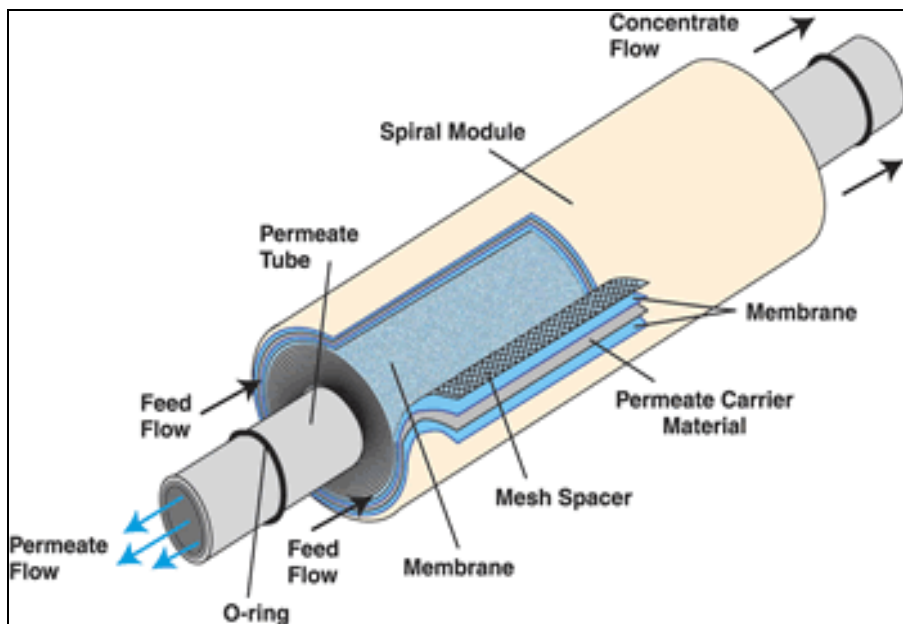
Koska meriveden suolapitoisuus on suuri, käänteisosmoosikalvolle menevän syöttöveden paineen tulee olla korkea, noin 60 - 70 baaria (Rochem). Korkeapaineen tuottamiseen voidaan käyttää monijaksoista keskipakopumppua tai aksiaalimäntäpumppua ja toteuttaa paineensäätö kuristamalla (Grön 2009).

Paineenkorotuspumppu on käänteisosmoosiprosessin suurin energiankuluttaja ja aiheuttaa prosessin suurimman käyttökustannuksen. Sen tarvitsema teho määräytyy raakaveden suolapitoisuuden mukaan. Kun raakavetenä käytetään murtovettä, kalvon tarvitsema syöttöpaine on alhainen ja myös pumpun sähköteho pienempi. Tästä syystä paineenkorotuspumppuun tulee kiinnittää erityistä huomiota suunnittelussa ja laitteiston käytössä. (Seahan Industries, 66.)

3.1.4 Kalvoelementit ja painekotelo

Materiaalina kalvoelementeissä käytetään yleensä joko selluloosa-asetaatista/triasetaatista valmistettuja CA-kalvoja tai polyamidista valmistettuja PA-, tai TFC-kalvoja (Kaasalainen 2007, 12).

Käänteisosmoosikalvot noudattavat spiraali- tai onttomoduulirakennetta. Voimalaitoksissa yleisesti käytettävässä spiraalirakenteessa on tasokalvoja, jotka kierretään permeaatin keräysputken ympärille, spiraalin muotoon. Permeaatin kerääjä sijoittuu kahden käänteisosmoosikalvon väliin. Näiden ympärille kierretään verkkomainen levy, joka erottaa kalvopaketit toisistaan ja mahdollistaa syöttöveden vapaan liikkumisen. Yksi elementti voi sisältää yli 100 m³ käänteisosmoosikalvoa. (Kaasalainen 2007, 13.)



Kuva 2. Käänteisosmoosikalvo (Gröhn 2009, 28).

Tärkeä edellytys kalvon toimivuudelle on ristivirtasuodatus, joka mahdollistaa kalvon jatkuvan puhdistumisen. Puhtaan veden läpäistessä kalvon ohi virtaava konsentraatti huuhtoo kalvon pinnalle kertyneen epäpuhtauden. (Hyxo Oy.)

Käänteisosmoosikalvot eivät kestä kuivumista, vaan ne tuhoutuvat kuivumisen seurauksena. Kun laitos pysäytetään, kalvot tulee huuhdella säännöllisin väliajoin järjestämällä niille raakavesihuuhtelu. Jos sitä ei ole mahdollista suorittaa, toteutetaan huuhte-

lu makeavesijärjestelmän kautta. Laitteiston automaatiikka huuhtelee kalvot yleensä 24 tunnin välein. Jos laitos pysäytetään yli 48 tunnin ajaksi, eikä huuhtelua ei mahdollista suorittaa, kalvot käsitellään säilytyskemikaalilla. (Dow Water & Process Solutions, 113.)

Käänteisosmoosielementti tarvitsee ympärilleen painekotelon, joka kestää korkean paineen tuoman rasituksen. Kotelo suunnitellaan kestäväksi laitteiston maksimikäyttöpainetta puolitoista kertaa korkeamman paineen. Painekotelo valmistetaan yleensä lasikuidusta tai ruostumattomasta teräksestä, sillä tyypillinen merivedelle tarkoitettu kalvo kestää maksimissaan 69 baarin syöttöpaineen ja murtovedelle tarkoitettu kalvo 41 baarin paineen. (Sachan Industries, 51 & 66.)

Kalvoelementin valinta määräytyy raakaveden suolapitoisuuden perusteella. Korkealle raakaveden suolapitoisuudelle tarkoitettulla SW-kalvolla on hyvä suolanpoistokyky, mutta se vaatii korkeamman syöttöpaineen. Murtovedelle tarkoitettut BW-kalvot kykenevät myös poistamaan suoloja tehokkaasti, mutta niiden vaatima syöttöveden paine on alhaisempi. Lisäksi markkinoilla on tarjolla hyvin alhaiseen syöttövedenpaineeseen soveltuvia LE- ja XLE-kalvoja, jotka kykenevät juomavesilaitoksissa vaadittavaan suolanpoistotehokkuuteen. (Kunnossapito-lehti)

3.1.5 Antiskalantin annostelu

Kun käänteisosmoosin raakavetenä käytetään merivettä, se tulee käsitellä kemiallisesti kovuussuolojen saostumisen ehkäisemiseksi (Liikanen, 24). Antiskalanttikemikaali estää saostumien aiheuttamaa ionien järjestäytymistä eli klusteroitumista. Antiskalanttikemikaalina käytetään yleisesti sitruunahappoa, polymeeriä tai fosforijohdannaisia. (Liikanen 2000, 24.; Gröhn 2009, 16.)

Antiskalantisäiliö on varustettu omalla kalvoannostelupumpulla, jonka pumppausteho säädetään raakaveden syöttömäärän mukaan ennen laitoksen käyttöönottoa. Antiskalantisäiliö tulee sekoittaa hyvin säännöllisin väliajoin, jotta raakaveteen pumpattava seos pysyisi tasalaatuisena. Jos antiskalantin pumppaus pysähtyy, se aiheuttaa käänteisosmoosikalvojen pinnalla nopeaa kiteytymistä, joka johtaa kalvojen tuhoutumiseen. Tästä syystä häiriö antiskalantin annostelussa aiheuttaa koko laitoksen pysähtymiseen. (Gröhn 2009, 16 & 17.)

3.1.6 Mineraalisuodatin

Käänteisosmoosimenetelmällä valmistetun tuoteveden eli permeaatin pH on alhainen, eikä vesi sellaisenaan sovellu juomavedeksi. Tästä syystä permeaatti tulee pumpata mineraalisuodattimen läpi ennen sen varastoimista makeavesitankkiin. Mineraalisuodattimessa veteen liukenee kalkkia, magnesiumia, natriumia ja muita mineraaleja, jotka nostavat veden pH arvon vaadittavalle tasolle.

Mineraalisuodattimen tulee kestää hyvin korroosiota, joten se valmistetaan lasikuidusta, muovista tai ruostumattomasta teräksestä.

3.1.7 Puhdistus- ja säilöntäyksikkö

Jotta käänteisosmoosikalvojen käyttöikää voitaisiin pidentää ja niiden kapasiteettia ylläpitää, tulee kalvot puhdistaa kemiallisesti aika ajoin. Kalvonpuhdistuksella kalvojen pinnoilta ja kalvomatriisista poistetaan siihen kuulumattomat aineet. Lisäksi kemiallinen puhdistus desinfioi kalvot. (Liikanen 2000, 35.)

Kalvot tulee pestä, kun virtaus on laskenut 10 – 15 % normaalivirtauksesta tai painehäviö konsentraattipuolella on noussut 10 – 15 % suhteessa suositusarvoon (Auvinen & Haverinen 2011, 38).

Puhdistus- ja säilöntäyksikkö koostuu kemikaalisäiliöstä, syöttöpumpusta ja putkistosta. Syöttöpumppu pumpkaa puhdistuskemikaalin säiliöstä RO-laitteistolle. Laitteiston korkeapainepumppu kierrättää kemikaalin alhaisella paineella kalvojen kautta takaisin säiliöön. Puhdistus- ja säilöntäyksikkö toimitetaan yleensä erillisenä yksikkönä, jolloin sille tulee valmistaa oma peti ja asentaa putkisto.

3.1.8 Instrumentit ja venttiilit

Tärkeä osa käänteisosmoosiprosessia on sen tehokas valvonta. Tämä tapahtuu eri instrumenttien avulla. Käänteisosmoosiprosessissa seurataan painetta, virtausta, sähköjohtokykyä, lämpötilaa ja pH-arvoa. (Kaasalainen 2007, 17.)

Instrumenttien tarkoitus on seurata prosessia ja antaa siitä käyttäjälle tarvittavaa informaatiota. Instrumenttien antaman prosessitiedon avulla laitos pysähtyy automaattisesti, esimerkiksi tilanteessa, jossa

- korkeapainepumpun imupaine on liian matala
- RO-kalvojen syöttöpaine on liian korkea
- esikäsittelysuodattimien paine-ero on liian suuri
- kemikaalinsyöttö häiriintyy.

Käänteisosmoosilaitteistossa käytetään myös monia erilaisia venttiilejä, joilla voidaan ohjata prosessia ja sulkea laitoksen eri osia huollon ajaksi. Laitteistossa käytettäviä venttiilejä ovat sulkuventtiilit, säätöventtiilit, takaiskuventtiilit ja sähköisesti ohjattavat solenoid-venttiilit.

3.2 Putkisto

Käänteisosmoosilaitoksen putkistolla tarkoitetaan laitteiston ulkopuolella olevia putkia, joihin kuuluu raakavesi-, permeaatti- ja konsentraattiputket.

Putkistomateriaalin valinnassa tulee huomioida lujuusominaisuudet, liitosmenetelmät, sekä materiaali- ja asentamiskustannukset. Myös putken seinämäpaksuuteen tulee kiinnittää huomiota. (Häkkinen 1998, 26 - 27.) Putkiston suunnittelussa määritellään putkien koot, materiaali ja sijainti. Putkiston materiaalille asetetaan tiettyjä vaatimuksia, sillä niiden tulee kestää sekä raakaveden suolapitoisuuden että puhdistuskemikaalien syövyttävä vaikutus.

Koska tuotetun permeaatin pH on hyvin alhainen, sen putkistomateriaalin valintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Muoviputken käyttö onkin yleistä käänteisosmoosiprosessin matalapainepuolella, mikä johtuu sen hyvästä korroosion kestävyydestä.

Putkiston huollettavuus konehuoneessa on tärkeää. Lisäksi putkistomateriaalia valittaessa tulee olla perillä luokittelulaitoksen määräyksistä. Lloyd´s-luokituslaitoksen mukaan esimerkiksi lämmölle herkkien materiaalien, kuten lyijyn, alumiinin ja muovin, käyttäminen konehuoneen putkimateriaalina, laivan turvallisuudelle tärkeissä järjestelmissä, on kielletty. (Lloyd´s Register)

Putkiston oikean mitoituksen tarkoitus on mahdollistaa järjestelmän ongelmaton toiminta. Putkien mitoituksessa tulee huomioida virtausvastus, jonka kasvaessa myös pumppausteho lisääntyy. Putkien koot tulee valita siten, että pumpuille ei aiheudu niistä kavitaatiota. (Häkkinen 1999, 155.)

3.3 RO-moduulit

Käänteisosmoosilaitteistot toimitetaan laivaan moduuleina. Moduuli on metallirungon sisään, pieneen tilaan, asennettu laitteistokokonaisuus. Näin suurin osa laitteiston komponenteista on jo valmiiksi moduulin sisälle asennettuna sen saapuessa laivalle. Moduulirakenne helpottaa laitteiston nostamisessa ja laivaan siirtämisessä ja sen sijoittaminen laivaan on vaivatonta.

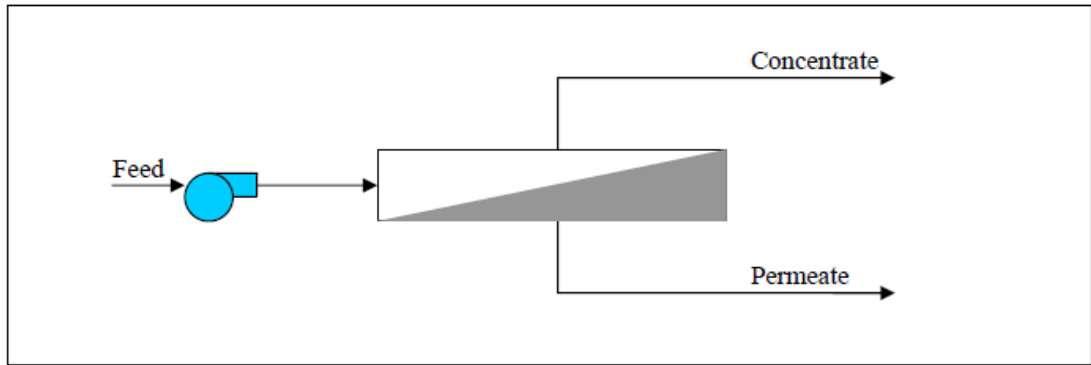
Koska RO-laitteisto toimitetaan modulaarisena ja vakioelementteinä, sen mitoitus on joustavaa ja laitteiston kapasiteettia voidaan muuttaa myöhemmin (Hyxo Oy).

4 KÄÄNTEISOSMOOSIPROSESSI

Käänteisosmoosiprosessi voidaan jakaa neljään vaiheeseen: antiskalantin syöttöön, veden esikäsitteilyyn, käänteisosmoosiin ja pH:n säätöön (Gröhn 2009, 16). Käänteisosmoosiprosessi voidaan lisäksi toteuttaa konsentraatin kierrätykseen perustuvana osaprosessina tai jatkuvana läpivirtausprosessina.

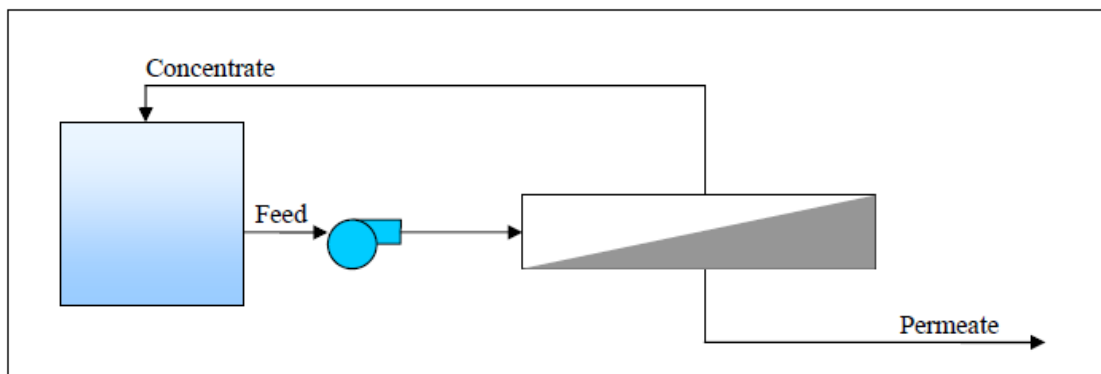
4.1 Osa- tai jatkuva prosessi

Laivaympäristössä ja suurimmassa osassa muita RO-laitoksia käänteisosmoosiprosessi toteutetaan jatkuva prosessina (kuva 3), jossa permeaatin virtaus on vakio ja elvytys jatkuva. Veden lämpötilan vaihtelusta ja kalvojen likaantumista aiheutuvat vaikutukset kompensoidaan syöttöpainetta säätämällä. (Saehan Industries, 54.)



Kuva 3. Jatkuva prosessi (Saehan Industries, 54).

Joissain tapauksissa, esimerkiksi vedenpuhdistuslaitoksissa tai teollisuudessa, joissa puhdistettavan veden määrä on pieni, voidaan käyttää myös osaprosessitekniikka (kuva 4). Siinä raakavedestä erotettu konsentraatti kierrätetään takaisin raakavesitankkiin. Tätä sykliä jatketaan niin pitkään, kun raakavesitankissa on jäljellä vain pieni määrä konsentraattia. Tämän jälkeen konsentraatti pumpataan kaivoon ja kalvot puhdistetaan ennen uuden puhdistusprosessin aloittamista. (Saehan Industries, 54.)



Kuva 4. Osaprosessi (Saehan Industries, 54).

4.2 Kalvojen erilaiset kytkentämenetelmät

Käänteisosmoosikalvojen kytkentä toteutetaan rinnan- tai sarjaankytkentänä riippuen halutusta permeaatin saannosta.

4.2.1 Yksittäisen paineastian menetelmä

Yksittäisen painekotelon sovellusta käytetään silloin, kun tarvittava permeaatin määrä saadaan tuotettua käyttämällä vain muutamaa kalvoa. Kalvot asennetaan painekotelon

sisälle peräkkäin, jolloin ensimmäisen kalvon ohi kulkeva konsentraatti toimii seuraavan kalvon syöttövetenä. (Saehan Industries, 56.)

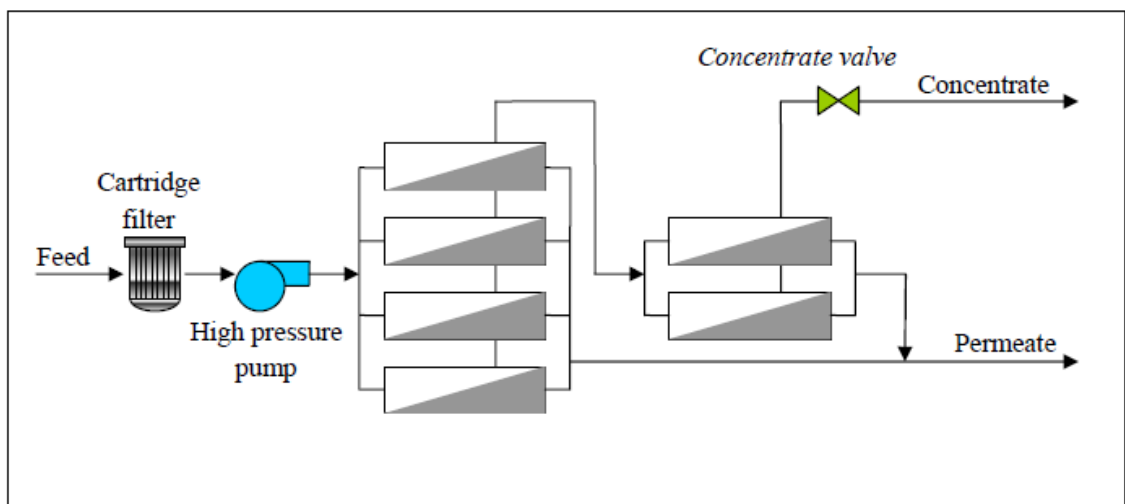
4.2.2 Yksiportainen rinnankytkentä

Yksiportaisessa kalvojen rinnankytkennässä kaksi tai useampia kalvoja on asennettu rinnakkain. Tätä prosessia käytetään sovelluksissa, joissa saanto on alle 50 %, esimerkiksi silloin, kun raakavetenä käytetään merivettä. (Saehan Industries, 57.)

Yksiportainen rinnankytkentä on laivoilla yleisesti käytetty menetelmä. Sen etuna on hyvä kalvojen puhdistuskyky, kun noin puolet syötetystä raakavedestä kulkee kalvojen ohitse ja huuhtoo lian niiden pinnoilta.

4.2.3 Moniportainen rinnankytkentä

Moniportainen kalvojen rinnankytkentä eroaa yksivaiheisesta siten, että siinä rinnankytkettyjä kalvoryhmiä on kaksi tai useampia sarjaan kytkettynä. Tällä menetelmällä laitoksen saantoa saadaan nostettua ilman yksittäisen kalvon saantorajan ylittämistä. (Saehan Industries, 58.)



Kuva 5. Kalvojen moniportainen rinnankytkentä (Saehan Industries, 58).

5 KÄÄNTEISOSMOOSILAITTEISTON ASENNUS ESIMERKKIALUKSELLA

5.1 Laitteiston valinta

Käänteisosmoosilaitteiston valinta alukselle riippuu monesta tekijästä. Olennainen tekijä on tieto siitä, mikä on aluksella tarvittava laitteiston vedentuottokapasiteetti. Koska raakaveden suolapitoisuus määrää laitteiston korkeapainepumpun tehon tarpeen, tulee myös tietää, millä merialueella aluksen on määrä liikennöidä. Murtoveden tarvitsema paine on huomattavasti pienempi kuin suolaisen meriveden vaatima syöttöveden paine.

Kun laitteisto asennetaan jälkikäteen eikä rakennusvaiheessa, sen laivaan saaminen asettaa tiettyjä vaatimuksia. Laitteiston valinnassa tulee ottaa huomioon, että moduulit on mahdollista saada sisälle alukseen ongelmitta.

5.2 Asennettava RO-laitteisto

Tässä esimerkissä pieneen Mv Logos Hope -nimiseen matkustaja-alukseen asennetaan kaksi 36 m³ permeaattia päivässä tuottavaa käänteisosmoosiyksikköä, joilla valmistetaan laivan käyttämä makeavesi mutta ei konehuoneen tarvitsemaa teknistä vettä. Laivan liikennöimisalue on maailmanlaajuinen.

Laivaan asennettuun Hamann Ag:n valmistamaan laitteistoon kuului seuraavat komponentit:

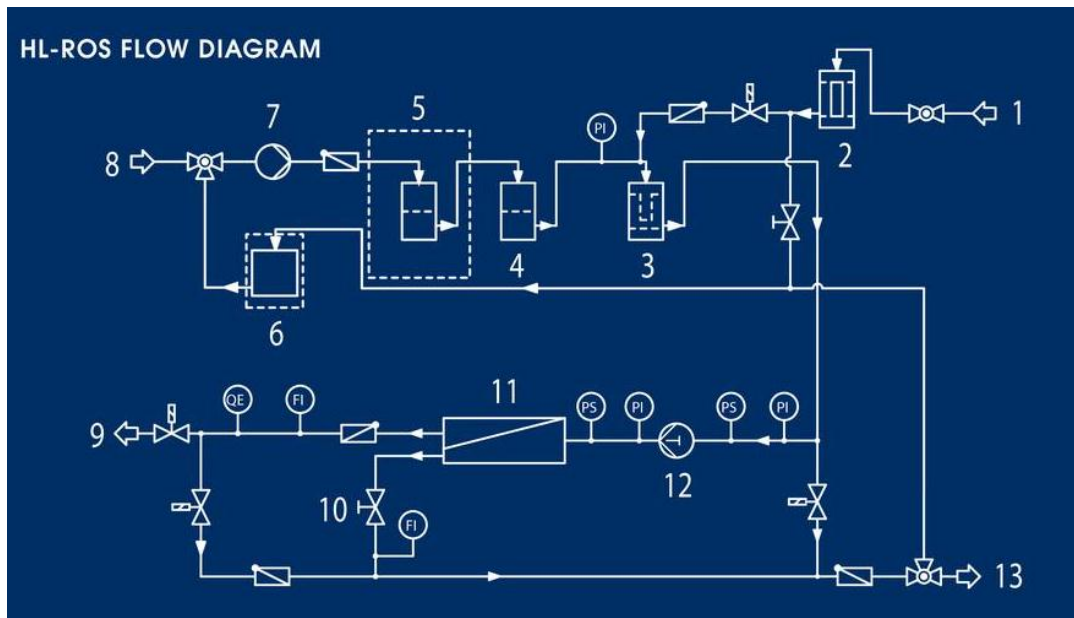
- kaksi 36 m³ vuorokaudessa tuottavaa käänteisosmoosiyksikköä
- kaksi monijaksoista keskipakopumppua
- kaksi mineraalisuodatinta
- pesusäiliö ja keskipakopumppu.

Asennustyön toteutti laivan oma henkilöstö ja käyttöönoton suoritti valmistajan edustaja.

5.3 Laitteiston toimintaperiaate

Asennettu käänteisosmoosilaitteisto toimii siten, että syöttövesipumput pumpaavat raakaveden merikaivosta noin 3 baarin paineella laitteistolle, veden esikäsitteilyosaan. Esikäsitteilyn ensimmäisessä vaiheessa raakavesi kulkee pussisuodattimen kautta, joka poistaa vedestä yli 25 µm partikkelit. Tämän jälkeen seuraa 3 µm paperisuodatus. Suodatusten lisäksi esikäsitteilyyn kuuluu myös antiskalantin annostelu. Esikäsitteilyn jälkeen merivesi siirtyy korkeapainepumpulle, joka nostaa veden paineen noin 69 baariin.

Laitteiston painetta ja tuotetun permeaatin virtausta säädetään korkeapainepuolella olevan paineensäätöventtiilin avulla. Kalvojen läpi korkeassa paineessa puristettu permeaatti pumpataan mineraalisuodattimen kautta varastotankkiin. Konsentraatti ohjataan mereen laitaventtiilin kautta. Kun laitos pysäytetään, sen automatiikka puhdistaa kalvot automaattisesti.



Kuva 6. RO-laitteiston toimintakaavio (Hamann Ag).

5.4 Asennuksen suunnittelu

Asennuksen suunnittelun lähtökohtana oli ohjekirja ja piirustukset tilatuista RO-yksiköistä sekä tieto laitteiston saapumisajankohdasta. Yksiköt asennettiin aluksen ollessa normaalissa toiminnassaan.

Asennuksen suunnitteluun kuului

- yksiköiden ja apulaitteiden sijainnin määrittäminen
- yksiköiden perustusten suunnittelu
- putkitöiden suunnittelu
- työn aikataulutus
- tarvittavan materiaalin kartoitus ja tilaus.

5.4.1 Työn aikataulutus

Töiden aikataulutus oli tärkeää projektin suunnittelussa. Tarvittava tila haluttiin saada raivattua ja perustukset valmiiksi, ennen kuin RO-yksiköt saapuivat laivalle.

Laitteiston asennus-, putki- ja sähkötyöt tuli saattaa loppuun ennen valmistajan käyttöönottoinsinöörin saapumista.

5.4.2 Materiaalin tarve

Asennuksen suunnittelun alkuvaiheessa tuli kartoittaa ja tilata tarvittava materiaali. Tähän kuuluivat putket, laipat, liittimet, venttiilit sekä perustuksiin tarvittava teräsmateriaali.

5.4.3 Laitteiston sijoitus

Sijoituspaikan suunnittelussa huomioitiin laitteiston asennuksen ja huollettavien komponenttien nostomahdollisuus. RO-yksiköille raivattiin tilaa, jolloin tuli tehdä pieniä

muutoksia konehuoneen laitteistoihin. Joitain painemittareita ja pumppujen turvakyt-kimiä täytyi siirtää. Erään käytöstä poistetun laitteiston perustus purettiin ja ylemmälle kannelle menevät tikkaat siirrettiin.

5.4.4 Perustukset

RO-yksiköille ja syöttöpumpuille suunniteltiin kiinteä, hitsattava perustus. Perustuk-sen tarkoituksena on antaa laitteistolle tukeva ja luja peti, joka mahdollistaa kriittisten komponenttien, kuten pumppujen ja moottorien laakerien, toiminnan ja pitkän iän.

Asennetut RO-yksiköt olivat suhteellisen pieniä ja kevyitä, mutta niille haluttiin kui-tenkin valmistaa kestävä peti, joka hitsattiin 100 mm x 100 mm kulmaraudasta aluk-sen varsinaisella tulityöpaikalla.



Kuva 7. RO-yksikön perustuksen hitsaus.

5.5 Asennustyö

Varsinaiseen asennustyöhön kuului RO-yksiköiden, syöttöpumppujen, mineraali-suodattimien, putkiston ja kalvojen puhdistusyksikön asennus.

5.5.1 RO-yksiköt

Asennuksen suunnittelussa varmistettiin, että moduulit pystytään asentamaan suunniteltuun paikkaan ilman putkiston tai muiden laitteiden ylimääräistä purkamista.

RO-yksiköt asennettiin pääkonehuoneeseen, jossa niille löytyi tarpeeksi vapaata tilaa. Tähän päädyttiin myös siksi, että aluksella ei ollut muita vartenotettavia paikkoja laitteistolle. Pääkonehuoneen etuja olivat myös lähellä sijainnut merivesikaivo ja sen vapaa liitäntäputki sekä laitaventtiili konsentraatin mereen pumppaamista varten. Näiden ansioista putkistolinjojen pituudet saatiin minimoitua.

Yksiköiden sijainti pääkonehuoneessa tuli suunnitella siten, että siellä kulkeminen ei häiriintyisi, laitteiston huollolle jäisi tarvittava tila ja kalvojen vaihtamisen hoituisi vaivattomasti. Lisäksi tuli huomioida esteetön pääsy konehuoneen muille apulaitteille.

Valmistaja toimitti RO-yksiköt moduuleina. Niissä kaikki tarvittavat komponentit, lukuun ottamatta syöttöpumppuja ja putkistoja, sijaitsevat tiiviissä paketissa teräsrungon sisällä. Moduulit on valmistettu siten, että ne sopivat kulkemaan vesitiiviistä ovista ja lastiluukuista, joten tämä helpotti niiden siirtämisessä konehuoneeseen.



Kuva 8. RO-yksiköt.

5.5.2 Syöttöpumput

Asennetut raakaveden syöttöpumput ovat monijaksoisia keskipakopumppuja, jotka nostavat syöttöveden paineen noin 3,0 baariin ja pumppaavat veden tasaisena virtana korkeapainepumpuille.

Syöttöpumput toimitettiin moduuleissa, joihin kuului pumpun lisäksi karkeasuodatin. Ne sijoitettiin yksiköiden ja merivesikaivon läheisyyteen siten, ettei tarvittu pitkiä putkistolinjoja.

Pumppumoduuli asennettiin perustukselleen, minkä jälkeen suoritettiin putkityöt.



Kuva 9. Syöttöpumput.

5.5.3 Mineraalisuodattimet

Kummallekin RO-yksikölle asennettiin oma 300 litran mineraalisuodatin. Suodattimille ei löytynyt tilaa aivan yksiköiden välittömästä läheisyydestä, vaan ne päätettiin sijoittaa tyhjään tilaan ilmastointikoneikon taakse (kuva 10).

Suodattimille valmistettiin tukeva alusta teräslevystä hitsaamalla. Niille tehtiin lisäksi tukipanta, joka estää suodattimien liikkumisen merenkäynnissä.

Suodattimet toimitettiin tyhjinä ja täytettiin valmistajan toimittamalla kalsiumkarbonaatilla ennen laitteiston käyttöönottoa. Säiliö täytettiin 90 %:iin sen tilavuudesta.



Kuva 10. Mineraalisuodattimet.

5.5.4 Putkisto

Valmistajan toimittama käänteisosmoosilaitteisto koostui sekä muovi että teräsputkista. Moduulin sisään rakennettu syöttövesiputkisto on muovia ja korkeapaineputket ruostumatonta terästä.

Asennettuun putkistoon kuuluivat

- raakavesiputket

- konsentraattiputket
- permeaattiputket
- puhdistus- ja säilöntäputket
- makeavesihuuhteluputket.

Putkimateriaaliksi valittiin galvanoitu teräsputki raakavedelle sekä konsentraatille. RO-yksikön ja mineraalisuodattimen väliseen permeaattiputkistoon käytettiin PVC-putkea.

Putkiston liitokset toteutettiin purettavilla kierreliitoksilla, mikä mahdollistaa putkien vaivattoman huollon. Putket tuettiin hyvin putkikannakkeilla sekä turkkitason alapuolella että niiden yläpuolella.

Putkistoon asennettiin sulkuventtiilit merivesikaivolta tulevaan raakavesilinjaan sekä syöttöpumppujen imu- ja purkauspuolille. Koska laitteistolla on automaattinen makeavesihuuhtelu, myös sille tuli asentaa putkilinja makeavesijärjestelmästä. Tähän putkilinjaan asennettiin myös vastapaine- ja sulkuventtiilit. Koska tässä yhteydessä jouduttiin katkaisemaan osa laivan makeavesiverkosta, työ suoritettiin yöllä vedenkulutuksen ollessa vähäistä.

Syöttöpumpuille tuleva raakaveden imulinjan putkisto asennettiin turkkitason alapuolelle ja painelinja turkkitason yläpuolelle.

5.5.5 Pesusäiliö

Pesusäiliö asennetaan koneikon yläpuolelle yksiköiden lähelle. Pesusäiliön asennuksen vaatimuksia oli varmistaa esteetön pääsy säiliön luo ja mahdollistaa sen turvallinen täyttäminen kemikaalilla. Koska asennettu ja täynnä kemikaalia oleva pesusäiliö painaa noin 400 kiloa, myös sille tuli valmistaa tukeva peti. Lisäksi varmistettiin metallipannalla, ettei säiliö pääse liikkumaan merenkäynnissä.

Kalvot puhdistetaan ja säilötään aluksella suhteellisen harvoin, joten säiliöstä ei asennettu kiinteää putkilinjaa pumpulle, vaan putkisto toteutettiin letkujen avulla. Ne voidaan kytkeä laitteistoon käytön yhteydessä ja varastoida muualle.

5.5.6 Kalvot

Käänteisosmoosikalvojen painekotelot toimitettiin kolmen kotelon moduuleissa ja ne sijaitsivat RO-yksiköiden päällä, omassa kehikossa. Tämä helpotti niiden paikalleen asentamista, koska kehikko voitiin irrottaa RO-moduulista ja liikutella sitä erikseen.

Kalvot asennettiin paikalleen vasta käyttöönoton yhteydessä, kun muu laitteisto oli asennettu ja yksiköt olivat käynnistysvalmiina. Asennuksen suoritti valmistajan edustaja ja laivan konehenkilöstö sai samalla opastusta kalvojen asentamisesta.

Kalvot asennettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti avaamalla painekotelo ja liu'uttamalla kalvo sisään glyserolin avulla.

5.6 Sähkötyöt

Asennukseen kuului myös jonkin verran sähkötyötä. Niitä olivat esimerkiksi kaapeleiden veto sähköpäätaululta RO-yksiköille ja syöttöpumpuille, kaapeleiden kiinnitys sekä läpiviennit vesitiiviiden laipioden läpi.

Kaapeleiden kiinnityksessä ja vesitiiviin laipion läpiviennissä tuli noudattaa luokituslaitoksen määräyksiä. Lisäksi ne kaapelit, jotka jouduttiin vetämään turkkitasen alapuolella, asennettiin putken sisälle.

Laitoksen automaationa oli sen paikallisautomaatio, jonka antamat hälytykset kytkettiin menemään konehuoneen valvontajärjestelmään.

5.7 Tulityöt

Perustukset valmistettiin aluksen varsinaisessa tulityöpaikassa ja ne hitsattiin paikoilleen aluksen ollessa satamassa. Koska kyseessä oli pääkonehuoneessa tapahtuva tulityö, tarvittiin tarkkaa siivousta, suojausta ja palovartiointia.

6 LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTO

6.1 Käyttöönnoton toteutus

Laitteiston käyttöönottoon oli varattu yhteensä kolme päivää ja sen suoritti valmistajan käyttöönottoinsinööri. Ensimmäisenä päivänä suoritettiin laitteiston tarkastus ja valmistelut. Toisena päivänä toteutettiin laitteiston käynnistys, säätäminen ja käytönopastus. Kolmanteen päivään kuului käyttöönoton hyväksyminen.

6.2 Tarkistettavat kohteet

Käänteisosmoosilaitteiston käyttöönotto aloitettiin laivan lähdettyä satamasta ja sen päästyä vaadittavalle etäisyydelle rannasta. Käänteisosmoosikalvot tuhoutuvat pienestäkkin öljymäärästä, joten oli tärkeää varmistaa, ettei RO-laitteistoa käynnistetty satamassa tai sen läheisyydessä.

Käänteisosmoosilaitoksen käyttöönotossa oli ensisijaisen tärkeää varmistaa laitteiston oikea asennus ja komponenttien sekä varolaitteiden toimivuus, jotta välttyttiin vahingoittamasta kalvoja ja pumppuja. Ennen laitoksen käynnistämistä tuli myös tarkistaa, että koko esikäsitteilyprosessi toimi tarkoituksenmukaisesti.

Laitteiston valmistajan edustaja kävi läpi visuaalisen tarkastuksen, jossa tarkastettiin että

- ✓ putkistot ovat korroosion- ja suunnitellun paineen kestäviä
- ✓ esisuodattimet ovat asennettuna ja toimintavalmiina
- ✓ antiskalanttitanke on täytetty taulukon mukaisella seoksella
- ✓ painekoteloiden putkistot on asennettu oikein
- ✓ laitteiston instrumentit ovat toimintakunnossa
- ✓ kalvojen puhdistuslaitteisto on asennettu ja toimintavalmis

- ✓ raakaveden ja permeaatin putkistolinjat ovat auki
- ✓ kalvot on asennettu
- ✓ paineensäätöventtiili on auki.

Visuaalisen tarkastuksen jälkeen laitos käynnistettiin ja suoritettiin toimintatarkastus. Siinä tarkastettiin

- ✓ syöttö- ja korkeapainepumppujen ilmaus sekä niiden pyörimissuunta
- ✓ prosessin paineet
- ✓ säätölaitteiden toiminta
- ✓ varolaitteiden toiminta
- ✓ aikaohjauksen toiminta
- ✓ hälytysten toiminta
- ✓ automaattipysäytysten toiminta.

Käyttöönoton ensimmäisessä vaiheessa käänteisosmoosilaitosta ajettiin yksi RO-yksikkö kerrallaan siten, että merivesi huuhteli putkistoa ja kalvoja noin puolen tunnin ajan. Käynnistyksen yhteydessä tarkastettiin huolellisesti, ettei putkisto vuoda eikä pumpuista tai muusta laitteistosta kuulu ylimääräisiä ääniä. Kun molemmat RO-yksiköt olivat käyneet puoli tuntia, kaikki esikäsittelysuodattimet vaihdettiin.

Seuraavassa vaiheessa laitoksen permeaattiputkisto yhdistettiin pilssivesitankkiin ja RO-yksikkö käynnistettiin tuottamaan permeaattia. Tässä yhteydessä myös mineraali-suodattimet huuhtoutuivat ylimääräisestä mineraalipölystä. Kun tuotetun permeaatin laatuun oltiin tyytyväisiä ja sen pH-arvo oli sallituissa rajoissa, voitiin tuotettu makea vesi ohjata varastotankkeihin.

6.3 Käyttöönnotossa ilmenneet ongelmat

Laitteiston käyttöönotto sujui varsin mallikkaasti lukuun ottamatta muutamia pieniä ongelmia. Ilmeni joitain putkistovuotoja, jotka hoidettiin laippoja kiristämällä. Toisen RO-yksikön korkeapainepuolen painekeytkimessä ilmeni vika, ja valmistaja toimitti myöhemmin uuden painekeytkimen. Antiskalantin pumppausyksikkö aiheutti ongelmia pysäyttämällä laitoksen muutaman kerran, mutta tästä selvittiin pumpun säätötoimenpiteillä.

6.4 Käytönopastus

Yksi laitoksen käyttöönoton olennainen osa oli käytönopastus. Sen hoiti valmistajan edustaja.

Käytönopastukseen kuului laitoksen toimintaprosessin kuvaus. Lisäksi käytiin läpi käynnistäminen, ajaminen, pysäytys sekä mahdolliset säätö- ja muut toimenpiteet.

6.5 Huolto

Toimiakseen parhaalla mahdollisella tavalla käänteisosmoosilaitos tarvitsee ajoittaisia huoltotoimia. Laitoksen huoltotyöt liittyvät yleensä esikäsittelysuodattimiin ja käänteisosmoosikalvoihin.

Esikäsittelysuodattimet tulee vaihtaa niiden saavuttaessa sallitun paine-eron alarajan. Käänteisosmoosikalvot tulee vaihtaa valmistajan suositusten mukaisin väliajoin. Yleinen kalvojen vaihtoväli on yhdestä kolmeen vuotta, mutta sen pituuteen vaikuttaa olennaisesti raakaveden laatu ja esikäsittelyn tehokkuus. Kalvojen säilöminen kemikaalilla tulee toteuttaa valmistajan ohjeiden mukaan silloin, kun laitos pysäytetään pidemmäksi aikaa. Mineraalisuodattimen kalsiumkarbonaatin määrää tulee tarkkailla ja lisätä sitä tarvittaessa.

Raakaveden syöttöpumppujen karkeasuodattimet tulee tarkastaa ja puhdistaa säännöllisesti. Raakavesi-, permeaatti- ja konsentraattiputkistoa tulee myös tarkkailla mahdollisten vuotojen varalta ja korjata tarvittaessa.

Asennetut raakaveden syöttöpumput eivät valmistajan mukaan vaadi normaalissa käytössä mitään huoltotoimia. Valmistajan suosituksen mukaan laitteiston korkeapainetta kehittävä aksiaalimäntäpumppu tulee tarkastaa 8000 tunnin välein ja vaihtaa tarvittaessa kuluneet osat, kuten männät ja akselitiiviste. (Danfoss, 8.)

7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli perehtyä käänteisosmoosilaitteistoon ja sen prosessiin ja käydä läpi käänteisosmoosilaitteiston asennusta ja käyttöönottoa, käyttäen esimerkkinä pienen matkustaja-alukseen asennettavaa laitteistoa. Työtä tehtäessä huomattiin, kuinka laajaksi työ voi muodostua, mikäli huomioidaan kaikki laitteiston asennukseen ja käyttöönottoon kuuluvat seikat. Tästä syystä tutkittavia asioita tuli rajata, jotta vain olennainen kävisi ilmi. Tarkat selostukset putkiston suunnittelusta ja laitteiston asennuksesta haluttiin jättää pois, jottei työ kasvaisi liian laajaksi.

Työtä tehtäessä huomattiin käänteisosmoosilaitteiston asennukseen liittyvät monet haasteet varsinkin silloin, kun asennus tapahtuu laivan liikennöidessä normaalisti. Laitteiston eri komponenttien asennustyöt ja niiden vaiheet kävivät tässä opinnäytetyössä myös selville. Asennustyön havaittiin olevan mielenkiintoinen projekti, jonka hyvä ja huolellinen suunnittelu helpottaa olennaisesti sen onnistumista.

Laitoksen käyttöönotto on tärkeä jatkotoimenpide loppuun saatetulle asennustyölle. Siinä selviää hyvin nopeasti asennustyön onnistuminen ja laitteiston toimivuus. Valmistajan edustajan suorittaman laitoksen käyttöönoton seuraaminen on hyvä keino oppia laitteistosta, sen toiminnasta ja käytöstä. Käyttöönottoon liittyy aina erilaisia säätötoimenpiteitä, jotka on tärkeää hallita, jotta laitosta voidaan käyttää oikeaoppisesti ja tehokkaasti. Nämä seikat käyvät myös ilmi käyttöönoton yhteydessä.

LÄHTEET

Auvinen, Irene & Haverinen, Tapio. 2011. Ioninvaihto- ja käänteisosmoositekniikan vertailu vesilaitoksen uusimista varten Etelä-Savon energia Oy:lle. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Danfoss. Data Sheet Water Pumps APP1.5 - 3.5. Saatavissa:

http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/DE149EA3-C951-47B8-92CB-D85455B1D857/0/521B0850_DKCFNPD013FA602_APP1535_GB.pdf (Viitattu: 14.3.2012)

Dow Water & Process Solutions. Filmtec reverse osmosis membranes. Saatavissa:

http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0885/0901b8038088586b.pdf?filepath=/609-00071.pdf&fromPage=GetDoc (Viitattu: 14.1.2012.)

Gröhn, Joose. 2009. Käänteisosmoosin konsentraatin hyödyntäminen Suomenojan voimalaitoksella. Opinnäytetyö. Metropolia.

Hamann Ag. HL-RO Series Prochure. Saatavissa:

http://pdf.nauticexpo.com/pdf/hamann-ag/hl-ros-brochure/27588-7806-_2.html (Viitattu: 29.3.2012)

Hyxo Oy. Kemikaaliton suolanpoisto voimalaitoksilla. Saatavissa:

http://www.hyxo.fi/user_data/doc/kemikaaliton_%20suolanpoisto_voimalaitoksissa.pdf (viitattu 10.1.2012.)

Häkkinen, Pentti. 1998. Laivan putkistot. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.

Häkkinen, Pentti. 1999. Laivan koneistot. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.

Kaasalainen, Joonas. 2007. Voimalaitoksen vedenkäsittelyn uudet menetelmät. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Kunnossapito-lehti 5/2005. Käänteisosmoosilla puhdasta vettä. Saatavissa:
www.promaint.net/downloader.asp?id=1447&type=1 (viitattu:16.3.2012)

Liikanen, Marko. 2000. Kalvonsuodatusprosessin tehostaminen paperiteollisuuden sovelluksissa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu .

Lloyd´s Register of Shipping. 2000. Rules and Regulations for the Classification of Ships, Part 5.

Nitto Denko. 2008. Chemical Pretreatment For Ro and NF. Saatavissa:
<http://www.membranes.com/docs/tab/TAB111.pdf> (viitattu: 22.1.2012)

Rochem. RO-Water Treatment, Nanofiltration. Saatavissa:
http://www.rochem.us/sites/default/files/Rochem_Nanofiltration_Brochure.pdf
(viitattu: 10.1.2012)

Saehan Industries. Reverse osmosis membrane, technical manual. Saatavissa:
http://www.csmfilter.com/searchfile/file/tech_manual.pdf (Viitattu: 4.1.2012.)