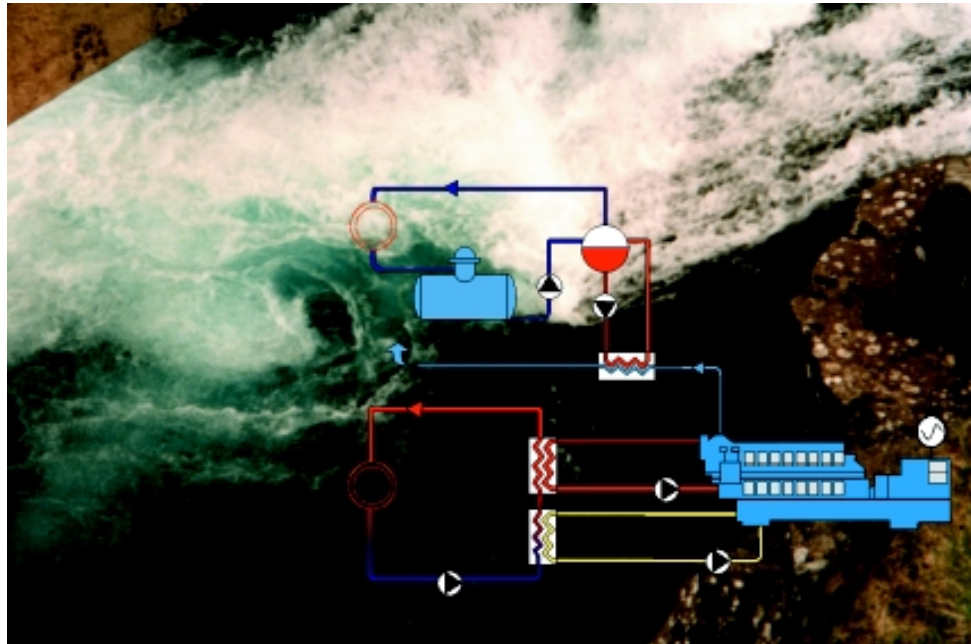


**Aulis Ranne**

# Multi Supply Plant

**Sähkö ja vesi**



# Multi Supply Plant

## Sähkö ja vesi

Aulis Ranne

VTT Energia



ISBN 951-38-5759-X (nid.)  
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5760-3 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)  
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2000

#### JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Energia, Energiajärjestelmät, Tekniikantie 4 C, PL 1606, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 6538

VTT Energi, Energisystem, Teknikvägen 4 C, PB 1606, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 6538

VTT Energy, Energy Systems, Tekniikantie 4 C, P.O.Box 1606, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 6538

Toimitus Leena Ukoski

Otamedia Oy, Espoo 2000

Ranne, Aulis. Multi Supply Plant. Sähkö ja vesi. [Multi Supply Plant. Power and potable water]. Espoo 2000, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2060. 84 s. + liitt. 12 s.

**Avainsanat** power generation, dual-purpose power plants, internal combustion engines, power supply, water supply, integration, seawater, desalination, distillation, costs

## Tiivistelmä

MSP (Multi Supply Plant) -laitoksen tuoteideana on muodostaa integroitu laitos, joka tuottaa sähköä ja makeaa vettä ympäristöystävällisesti ja energiataloudellisesti niissä kohteissa, joissa tuotannon luotettavuudelle ja tuotteiden hyvälle laadulle asetetaan korkeat vaatimukset ja joissa kustannusten kokonaisoptimointia pidetään tärkeänä. MSP perustuu moottorivoimalaitoksen ja veden tislauslaitoksen integrointiin niin, että voimalaitoksen hukkalämpö käytetään makean veden tuottamiseen merivedestä.

Suolanpoistolaitosten rakentaminen on ollut parikymmentä vuotta hienoisessa kasvussa ylittäen nykyisellään yhden miljoonan m<sup>3</sup>/d vuosittaisen rakentamismäärän. Markkinat ovat sinänsä suuret, ja tulevaisuudessa arvioidaan tarvittavan yhä lisää suolanpoistokapasiteettia vesipulan helpottamiseksi, mutta myös laitosten toimittajia on paljon ja käyttökohteiden olosuhteet vaihtelevat suuresti. Modernin tislaustekniikan ja edullisen energian avulla sekä sopivien sähkömarkkinoiden alueella MSP:llä voidaan arvioida olevan mahdollisuuksia saavuttaa merkittävä markkina-asema. Tälläkin hetkellä moottorivoimalaitoksia rakennetaan maanosiin ja erilaisiin kohteisiin, joissa käyttövedestä on puutetta.

Vesipulasta kärsivät alueet, joissa on lisäksi sijaintinsa, yhdyskuntarakenteensa ja teknistaloudellisen tasonsa puolesta valmiuksia hankkia suolanpoistolaitoksia, ovat Arabian niemimaa, Välimeren etelän- ja idänpuoleiset maat, Välimeren saaret ja eräät Väli-Amerikan valtiot, osa Intiaa, eräät alueet Itä- ja Kaakkois-Aasiassa sekä Yhdysvallat ja Espanja (mm. Kanariansaaret). Tislauslaitoksia rakennetaan runsaasti myös muissa maissa erityistarpeita varten, kuten saastuneen tai suolaantuneen makean veden puhdistamiseksi, puhtaan veden saannin varmistamiseksi ja luotettavuuden parantamiseksi lähinnä teollisuustarkoituksiin ja turistialueita varten.

Maapallon vesipulan arvioidaan pahenevan jatkuvasti väestömäärän kasvaessa, elintason noustessa, teollisuuden ja maanviljelyn vedentarpeen lisääntyessä sekä luonnollisten vesivarantojen ylikäytön vuoksi. Monilla alueilla pohjavesivarannot ovat saastumassa liiallisen käytön vuoksi. Myös jätevesien huono viemäröinti pilaa käytettävissä olevia vesivarantoja. Ilmaston lämpenemisen arvioidaan eräillä alueilla lisäävän keinotekoisien vedenhankinnan tarvetta. Veden puute ja sen huono laatu aiheuttavat jo tällä hetkellä vuosittain miljoonien ihmisten kuoleman tautien yms. vuoksi.

Ranne, Aulis. Multi Supply Plant. Sähkö ja vesi. [Multi Supply Plant. Power and potable water]. Espoo 2000, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2060. 84 p. + app. 12 p.

**Keywords** power generation, dual-purpose power plants, internal combustion engines, power supply, water supply, integration, seawater, desalination, distillation, costs

## Abstract

The product concept of MSP (Multi Supply Plant) includes an integrated plant that eco-efficiently produces electricity and potable water on a site, where high reliability and good quality for the products are required, and where the total economy is paid attention to. MSP is based on integration of engine power plant and desalination plant in such a manner that waste heat from power plant is utilized in production of freshwater from seawater.

The amount of construction of desalination plants has grown moderately during the last twenty years, and exceeds annually a capacity of one million m<sup>3</sup> per day. The market for desalination is as such large, and additional capacity is assumed to be needed for relief of water scarcity in the future. But, the amount of suppliers of desalination plants is also large, and in addition, conditions on each site vary in a large range. MSP has an opportunity to reach a considerable market share in production of freshwater by modern distillation techniques and by using waste heat. In these days, engine power plants are built in all the continents and in different targets, where also lack of potable water exists.

The areas suffering of water scarcity and having technical, economical and social potential to provide desalination plants are Middle East, southern and eastern countries of Mediterranean, some islands such as Canarian Islands, some countries in Middle America, a part of India, some countries in Far East, and USA. Desalination plants are built for special purposes also in other countries, e.g. for industry and tourism to ensure the reliable supply of pure water, and for purification of polluted ground water.

The water scarcity is expected still to worsen on Earth due to growing population, rising living standard, growing agriculture and industry, and due to the overexploitation of natural water sources. The ground water reservoirs are polluted because of excessive use in several places. Poor sewage disposal pollutes also freshwater sources. The climate change is expected to raise the need for artificially produced freshwater in some areas. The lack of potable water and poor quality of water annually cause death of millions of people e.g. because of diseases.

## Alkusanat

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin sähkön ja makean veden tuottamista yhteistuotantoperiaatteella, kun sähkö tuotetaan moottorivoimalaitoksella ja laitoksesta saatava hukkalämpö käytetään hyväksi suolanpoistolaitoksessa meriveden tislaukseksi käyttövedeksi. Tutkimuksen pääpaino oli suolanpoistolaitosten maailmanlaajuisen markkinatilanteen selvittämisessä ja MSP (Multi Supply Plant) -laitoksen kilpailumahdollisuuksien hahmottamisessa.

Tutkimuksen rahoittivat Teknologian kehittämiskeskus (Tekes), Andritz-Ahlstrom Corporation (projektin alkuvaiheessa Ahlstrom Machinery Corporation) ja Wärtsilä NSD Corporation. Mainitut yritykset osallistuivat myös tutkimuksen toteutukseen toimittamalla tarvittavaa tietomateriaalia.

Projektin johtoryhmään kuuluivat Heikki Kotila Tekesistä, Heikki Jaakkola Andritz-Ahlstromista ja Anders Lindberg Wärtsilä NSD:stä. Heikki Jaakkola toimi projektin johtoryhmän puheenjohtajana. Tutkimuksen teki erikoistutkija Aulis Ranne VTT Energiasta.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Abstract .....	4
Alkusanat .....	5
Symboliluettelo .....	8
1. Johdanto .....	9
2. Veden tarve ja tuottaminen .....	11
2.1 Vesi ja ympäristö .....	11
2.2 Veden laatu ja vesityypit .....	15
2.3 Kattilakivi ja korroosio .....	18
2.4 Veden tarve ja tuottaminen tapauskohtaisesti .....	19
2.4.1 Turismi .....	19
2.4.2 Suolanpoisto Tyynenmeren alueella (Goto & Maccormick 1999) .....	21
2.4.3 Latinalainen Amerikka ja Karibian alue (Andrews 1999) .....	22
2.4.4 GCC-maat (Alawadhi 1999) .....	23
2.4.5 Välimeren alue ja Kanariansaaret .....	24
2.4.6 Indonesia (Siswono 1999) .....	26
3. Suolanpoisto veden tuotannossa .....	27
3.1 Menetelmät ja prosessit .....	27
3.2 Teknologian nykytilanne (Wangnick 2000a ja b) .....	28
3.2.1 Markkinatilanne .....	28
3.2.2 MED-tislauksen tekninen tilanne .....	29
3.2.3 MSF-laitos .....	31
3.2.4 Tislauslaitteiden tyypit .....	33
3.3 Laitostilastot .....	36
3.4 Laitetoimittajat .....	40
4. Suolanpoiston kustannukset ja rahoitus .....	44
4.1 Kustannukset eri selvitysten mukaan .....	44
4.1.1 Viite 1 .....	44
4.1.2 Viite 2 .....	48
4.1.3 Viite 3 .....	52
4.1.4 Viite 4 .....	54
4.1.5 Viite 5 .....	59

4.2	Vesihuollon kaupallistaminen .....	59
4.2.1	Vesihuollon liiketoimintapiirteet ja sopimusmallit.....	59
4.2.2	BOOT.....	61
5.	MSP-sähkö ja vesi.....	65
5.1	Moottorivoimalaitos .....	65
5.1.1	Energiataseet .....	65
5.1.2	Voimalaitostilastot .....	67
5.2	Sähkön ja veden tuotanto.....	71
5.3	Yhteiset markkina-alueet .....	73
6.	MSP:n markkinat .....	76
6.1	Modernin tislauksjärjestelmän markkinatilanne.....	76
6.2	MSP:n markkinavahvuudet .....	79
7.	Yhteenveto .....	81
	Lähdeluettelo.....	83

## LIITTEET

LIITE A: Suolanpoistokapasiteetin rakentaminen maanosittain

LIITE B: Suolanpoistokapasiteetin rakentaminen maittain

LIITE C: RO-laitosten laitetoimittajat vuosina 1990–1999

LIITE D: 1990-luvulla rakennetut polttomoottorivoimalaitokset

LIITE E: Wärtsilä NSD:n toimittamat varavoimalaitokset



# Symboliluettelo

MSP	Multi Supply Plant
ME(D)	Multi Effect Distillation, monivaihelauhdutukseen perustuva tislau
HT-MED	High Temperature MED, korkealämpötila MED Horisontal tube MED, tislaulaitos (MED), jossa on vaakasuorat putket
LT-MED	Low Temperature MED, matalalämpötila MED
VT-MED	Vertical tube MED, tislaulaitos (MED), jossa on pystysuorat putket
VC	Vapour Compression, höyryn komprimointi
MVC	Mechanical Vapour Compression, mekaaninen höyryn komprimointi
TVC	Thermal Vapour Compression, termien (höyryejektori) höyryn komprimointi
MSF	Multi Stage Flash (Distillation), monivaihehöyrystymiseen perustuva tislau
RO	Reverse Osmosis, käänteisosmoosiin perustuva suolanpoistomenetelmä
SWRO	Sea Water Reverse Osmosis, meriveden RO-suolanpoisto
BWRO	Brackish Water Reverse Osmosis, murtoveden RO-suolanpoisto
ED	Electrodialysis, elertrodialyysiin perustuva suolanpoisto
GOR	Gained Output Ratio, tuotantosuhde: kg, tisle per kg, höyry
BOOT	Build, Own, Operate, Transfer, toimilupasopimus
makea vesi	yleisnimitys vedestä, joka suolapitoisuutensa puolesta on ihmiselle juomakelpoista

# 1. Johdanto

Ihmisen elämän ja toimintojen kannalta vesi ja sähkö ovat tärkeitä elementtejä. Niistä puhdas vesi on välttämätöntä ihmiselle ja sähkö helpottaa monella tavoin elämää. Puhdasta vettä ja sähkön saatavuutta ja tarpeellisuutta arvioitaessa näyttäisi vesi olevan kriittisempi elementti; sitä ei ole tarjolla kaikille ihmisille edes siedettävän elämän aikaansaamiseksi. Sähkö ei ole täysin välttämätön ja toisaalta sen saatavuudesta on huolehdittu melko hyvin. Ihmiskunnan eräs vaikeampia ongelmia onkin puhtaan veden saannin turvaaminen ihmistä ja hänen toimintojaan varten, sillä useita miljoonia ihmisiä kuolee vuosittain puhtaan veden puuttumisen tähden.

Eräs syy vesipulaan on vesivarantojen vähyys eräillä maapallon alueilla. Sademäärät ovat liian pieniä ja haihtuvuus voi olla voimakasta, eikä luonnollisia vesivirtoja, kuten jokia tai pohjavesivirtoja, ole lähietäisyydellä. Toinen syy on vesivarantojen saastuminen niin, että vettä ei voi käyttää hyödyksi.

Hyvin monissa maissa on turvauduttu puhtaan veden keinotekoiseen valmistamiseen merivedestä, murtovedestä tai vedestä, joka on alkuaan käyttökelpoista. Suolanpoistolaitosten avulla voidaan näistä raakavesilähteistä tuottaa ns. makeaa vettä. Joissakin maissa suolanpoistolaitoksia on erikoistilanteita varten, joissakin maissa suolanpoistolaitoksilla on vedenhankinnassa valtakunnallinen laajuus.

Suolanpoisto merivedestä voidaan toteuttaa monella tavalla, eräs perinteinen menetelmä on tislaukset. Teknillisesti tislaukslaitokset ovat kehittyneet niin, että tislauksessa tarvittava energiamäärä on vai murto-osa siitä, mikä tarvitaan kotilieden kattilassa olevan veden höyrystymiseen. Maailmalla onkin lukuisia yrityksiä, jotka toimittavat tislaukslaitoksia veden tuotantoa varten. Lisäksi toista suolanpoistomenetelmää, kalvotekniikkaa ja siihen yhdistettyä käänteisosmoosia, on kehitetty niin, että se on tärkeä suolanpoistomenetelmä tällä hetkellä. Tuotettiin makeaa vettä tislamalla tai muilla menetelmillä, tarvitaan niissä aina energiaa ja lisäksi itse laitteistot vaativat investointeja ja käytön aikaista ylläpitotoimintaa.

Suomessa ei ole ollut tarvetta laajamittaiseen suolanpoistolaitosten käyttöön, mutta Suomessa on kehitetty tekniikkaa nesteiden höyrystämistä varten, yleisimmin puhdistus- ja erotusprosesseihin. Energialähteenä voi olla lämpöenergia tai sähköenergia. Lämpöä käyttävällä tekniikalla on saavutettu omalla sektorillaan puunjalostusteollisuudessa maailmanlaajuisesti johtava markkina-asema. Sama tekniikka soveltuu puhtaan veden tuottamiseen.

Suomalaista tekniikkaa on toimitettu myös sähkön tuotantoa varten eri puolille maailmaa. Erityisesti moottorivoimalaitosten sijoituskohteet ovat usein alueilla tai kohteissa,

joissa on pulaa puhtaasta vedestä. Moottorivoimalaitoksia rakennetaan sekä sähkölaitosten sähkönhankintaa varten että myös teollisuutta ja muuta liiketoimintaa varten. Usein näissä kohteissa on myös veden tarvetta.

Moottorivoimalaitoksen ja veden tisluslaitoksen integroiminen yhdeksi laitokseksi (MSP, Multi Supply Plant) tuo merkittäviä käyttöteknisiä, energiantehokkuus- ja ympäristöetuja, koska sähköntuotannossa syntyvä hukkalämpö voidaan käyttää tisluslaitoksen lämmönlähteenä ja laitosten yhteiskäyttö vähentää myös muita käyttökustannuksia. Ennen kuin MSP-tuotetta voidaan tuoda markkinoille, tarvitaan kehitystyötä ja sitä ennen on selvitettävä markkinoiden tilanne. Yleisesti ottaen ne ovat kaukomaissa ja osittain kehitysmaissa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena olikin selvittää suolanpoistolaitosten markkinatilannetta: asiakkaita, laitetoimittajia, volyymia, laitetekniikkaa, kustannustasoa ja tulevaisuuden näkymiä. Lisäksi arvioidaan MSP-laitoksen etuja ja haittoja sekä kilpailuedellytyksiä erilaisissa olosuhteissa.

## 2. Veden tarve ja tuottaminen

### 2.1 Vesi ja ympäristö

Vesi on elämän perusedellytys ja sitä on maapallolla runsaasti, yli 70 % maapallon pinnasta on veden peittämää. Vesi on osallisena useimmissa eloperäisissä ja ei-eloperäisissä prosesseissa (OUC 2000). Ihminen tarvitsee vettä paitsi välittömästi itseään varten myös teollisuutta, maataloutta, kuljetuksia ja sähköntuotantoa varten. Maapallon väkiluvun ja kehitysmaiden ihmisten elintason sekä teollisuustoiminnan kasvaessa lisääntyy myös veden tarve. Vuonna 1995 veden kokonaiskulutus oli noin 2 100 km<sup>3</sup>/a, vuoden 2025 vaiheilla kulutuksen arvioidaan olevan 2 300 km<sup>3</sup>/a, mikäli veden säästöön liittyvät toimenpiteet erityisesti maataloudessa toteutuvat (WWV 2000).

Vedellä on varsin yksinkertainen atomirakenne: kaksi vetyatomia sitoutuneena yhteen happiatomiin. Molekyylin rakenteesta, jossa toisella sivulla on negatiivinen varaus ja vastakkaisella sivulla positiivinen varaus, aiheutuu poikkeuksellisia sähkökemiallisia ominaisuuksia. Polariteetti tekee vedestä voimakkaan liuottimen ja aiheuttaa suuren pintajännityksen. Veteen liukenee erilaisia yhdisteitä, joilla joko on hyödyllisiä vaikutuksia ihmisen kannalta tai ne voivat aiheuttaa veden saastumista tai epäpuhtautta. Veden faasimuutoksissa molekyylit asettuvat eri tavalla muodostaen jäätyntä vettä, nestemäistä vettä tai vesihöyryä. Vesi on ainoa aine maapallolla, joka esiintyy kaikissa kolmessa olomuodossa. Muita veden tärkeitä fysikaalisia ominaisuuksia ovat veden suuri ominaislämpö ja olomuodon muutokseen liittyvä suuri lämpömäärä.

Veden kiertopiirissä suurin osa ilmakehään höyrystyvistä vedestä tulee valtameristä, mutta sateista 9 % tulee maa-alueille. Sateena maanpinnalle tuleva vesi on primäärinen makean veden lähde, joka muodostaa jokia, järviä, pohjavettä ja jäätiköitä. Maapallon keskimääräinen sademäärän arvioidaan olevan 1 050 mm vuodessa eli 2,9 mm/d vaihtelun ollessa 0–10 mm/d. Sademäärä jakautuu maapallolle epätasaisesti ja suurimmat sademäärät esiintyvät päiväntasaajan alueella, Pohjois-Amerikan länsirannikolla 35.–60. pohjoisella leveyspiirillä, Yhdysvaltojen kaakkoisosissa, Aasian kaakkoisrannikolla ja itäisessä Australiassa. Vähäisen sademäärän alueet ovat sub-trooppisen alueen autiomaat, keskinen Euraasia, Pohjois-Amerikka ja napapiirialueet.

Maapallon suurimmat vesiesiintymät ovat merissä, noin 97 % (taulukko 1), mutta ne eivät suolapitoisuudesta johtuen ole sellaisenaan ihmiselle käyttövedeksi kelvollisia. Jäätiköissä varastoituu toiseksi eniten vettä (n. 2 %) ja niistä saa sulamisen kautta alkunsa 60 % makean veden käytöstä. Ihmisten käyttämät välittömät vesilähteet ovat suuruusjärjestyksessä pohjavesi, järvet, maaperän kosteus ja vesi, ilmakehän vesi ja joet. Nämä muodostavat alle 1 % maapallon vesivarannoista.

*Taulukko 1. Maapallon vesivarastot.*

Vesivarasto	Vesimäärä, kuutio-km *10 milj.	Osuus, %
Meret	1 370	97,25
Jäätiköt ja mannerjäät	29	2,05
Pohjavedet	9,5	0,68
Järvet	0,125	0,01
Maa kosteus ja vesi	0,065	0,005
Ilmakehä	0,013	0,001
Joet	0,0017	0,0001
Eliöstö	0,0006	0,00004

Vettä käytetään hyvin erilaisiin tarkoituksiin, ja käyttömäärät ja veden laatu vaihtelevat suuresti eri puolilla maailmaa sääolosuhteiden, elintason, teollisuuden jne.mukaan. Veden käyttö jaetaan usein kulutuskohteiden mukaan seuraavasti:

- kotitalous
- liiketoiminta
- teollisuus (voimantuotanto, valmistus)
- maatalous (kastelu, karjanhoito).

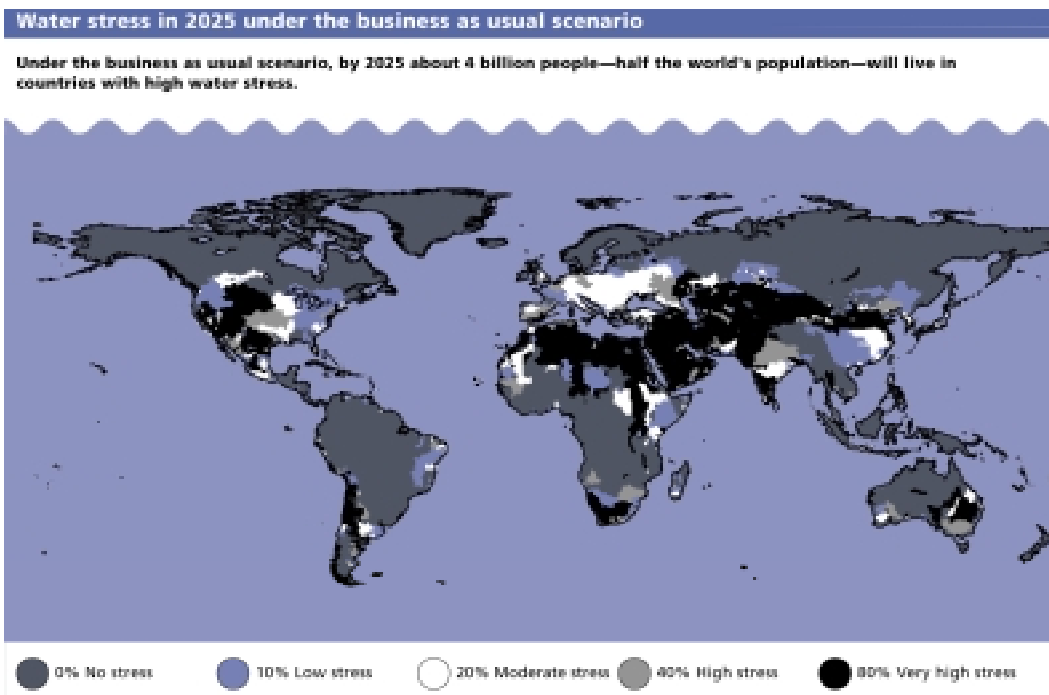
Ihminen ottaa käyttöönsä keskimäärin noin 10 % maanpinnalle muodostuvista vesivirroista. Tästä määrästä lähes 50 % pilaantuu tai häviää käytön yhteydessä. Veden suhteellisen käytön vaihtelut ovat kuitenkin hyvin suuret. Sateisilla alueilla käyttö on alle 1 % käytettävissä olevasta vesimäärästä, kun puolestaan Keski-idässä, esim. Israelissa, käytetään lähes 100 % uusiutuvasta vesimäärästä. Kestävän kehityksen ylärajana pidetään noin 20 %:n käyttöä. Eräiden jokien, kuten Niilin, Gangesin ja Coloradon, vesi käytetään ihmisen tarpeisiin niin, että vain vähäinen osa niiden virtaamasta saavuttaa meren.

Suurin vedenkuluttaja maailmanlaajuisesti on maatalous, 80 % veden kulutuksesta. Afrikassa ja Aasiassa maatalouden osuus on 85–90 %, mutta teollistumisen myötä veden tarve kasvaa myös muilla sektoreilla. Kotitalouksien (ja muun kunnallisen vesihuollon) vedenkäyttö on noin 8 % maailmanlaajuisesti ja 13–16 % teollisuusmaissa. Teollisuus tarvitsee vettä tavaratuotannossa tuotteen osakomponenttina, koneiden jäähdytyksessä, puhdistusprosesseissa jne. Suurin vedenkäyttö on kuitenkin sähkön tuotannossa.

Kotitalouksien vedenkäyttö vaihtelee teollistumisen ja elintason mukaan. Kehittyneiden maiden kotitaloudet käyttävät kymmenen kertaa enemmän vettä kuin kehitysmaiden

kotitaloudet. Afrikassa keskimääräinen vedenkulutus kotitaloudessa on  $14 \text{ m}^3$  vuodessa, kun teollisuusmaissa luku on  $200\text{--}300 \text{ m}^3/\text{a}$ .

Viime vuosikymmeninä veden kulutus on kasvanut kaksi kertaa nopeammin kuin ihmisten väkiluku. Maatalous ja teollisuus ovat aiheuttaneet suurimman osan tästä kasvusta. Arvioidaan, että 40 % kotitalouksista ei saa käyttöönsä riittävästi vettä. Useimmat näistä vedenpuutteen alueista sijaitsevat Afrikan Saharan eteläpuolisella alueella ja Pohjois-Afrikassa, Keski-idässä ja erällä entisen Neuvostoliiton alueilla. Arvioidaan myös, että ajanjaksolla 1990–2025 globaalinen vedenkäyttö kasteluun kaksinkertaistuu, teollisuuteen ja sähköntuotantoon 20-kertaistuu ja julkisen vesihuollon vedenmäärä kotitalouksille ja liiketoimintaa varten nelinkertaistuu. Kuvassa 1 esitetään vesihuolto-stressiä vuonna 2025 esittävä kartta. Vesistressi määritellään veden käytön suhteena uusiutuviin vesivarantoihin kullakin alueella. Jos suhde on yli 40 %, on alueella korkea vesistressi. Ongelmallisimmat alueet ovat pohjoisella pallonpuoliskolla 20.–40. pohjoisen leveyspiirin alueella ympäri maapallon (WWV 2000).



*Kuva 1. Vesihuollon stressialueet vuonna 2025.*

Veden saatavuutta on tehostettu monilla tavoin. Määrällisesti eniten käytetään patoamista. Arvioidaan olevan 36 000 toimivaa patoa, joista osa on vesivoimatuotannossa. Myös pohjavesivarantoja on otettu viime vuosina käyttöön. Pohjavedet jaetaan sijaintisyvyyden mukaan syviin pohjavesilähteisiin (750–4000 m) ja matalalla sijaitseviin lähteisiin (0–749 m). Pohjavedet käsittävät yli 10 % makean veden varannoista. Joissakin maissa suurin osa käyttövedestä saadaan pohjavesilähteistä, esimerkiksi Saudi-Arabiassa 75 %. Monissa tapauksissa vedenotto ylittää pohjaveden uusiutumismäärän

ja vedenpinta varastoissa alenee. Vedenpinnan aleneminen voi aiheuttaa useita ongelmia: maan vajoamisen, maanjäristyksen ja suolaveden suotautumisen pohjavesitilaan. Muita veden saatavuuden parantamiseen tähtääviä toimenpiteitä ovat esimerkiksi kanavien ja vesiputkien rakentaminen sekä veden virtaussuunnan muuttaminen. Jokien virtausten muuttamisen aiheuttamista haittavaikutuksista esimerkkinä mainitaan usein Araljärvi, jonka vedenpinta on merkittävästi alentunut ja veden suolapitoisuus kasvanut, mistä on aiheutunut järven alkuperäisen ekosysteemin tuhoutuminen.

Veden pilaantumisella tarkoitetaan veden biologisesti, kemiallisesti tai fysikaalisesti mitatun laadun alenemista, ja siitä käytetään erilaisia nimityksiä, kuten käyttötarkoitukseen sopimaton, normaalista poikkeava, yleiselle terveydelle haitallinen tai ekologista vaikutuksia aiheuttava. Seuraavassa eritellään muutamia pilaantumisen muotoja (OUC 2000).

- Orgaaninen aines. Orgaanisen aineksen läsnäolo merkitsee mädäntymisprosessia, jossa mädättäjäorganismit kuluttavat veden happea ja veden happipitoisuus siten laskee. Mätäneminen aiheuttaa myös maku- ja hajuvaikutuksia. Orgaanisen aineksen mittarina käytetään ns. biokemiallista hapen kulutusta (BOD), jolla tarkoitetaan bakteerien aiheuttamaa hapen kulutusta (mg/l) viiden vuorokauden aikana veden lämpötilan ollessa 20 °C.
- Tauteja aiheuttavat organismit. Biologista saastumista aiheuttavat organismit ovat peräisin orgaanisesta aineksesta tai jätteistä, esimerkkinä suolistobakteerit. Vakavampia sairauksia ovat kolera ja lavantauti, joita esiintyy monissa kehitysmaissa. Muita sairauksia ovat esimerkiksi tarttuva hepatiitti, erilaiset suolitulehdukset, polio ja punatauti.
- Ravinteet (typpi, fosfori). Ravinteet aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä, ja nitraattien tai nitriittien lisääntyminen pilaa juomaveden.
- Öljy. Öljyn pääsy veteen pilaa juomaveden ja tuhoaa useita eliöitä.
- Raskasmetallit. Raskasmetallit, kuten elohopea, sinkki, arseeni, alumiini, lyijy ja kadmium, ovat myrkyllisiä aineita, jotka kerrostuvat vesistöjen pohjasedimenttien joukkoon. Jos raskasmetalleja sitoutuu pintasedimentteihin ja niitä liukenee veteen ja kulkeutuu edelleen veden käyttökohteisiin, kuten kasteluun, eläimille, ihmisten käyttöön tai ruuanvalmistukseen, on seurauksena moninaisia sairastumisia.
- Sedimenttisaastuminen. Vesilähteisiin kerääntyy ympäröivistä metsistä, pelloilta, asumisesta ja muusta ihmisen toiminnoista kerrostumia, jotka pilaavat veden laadun eri käyttötarkoituksiin.

Puhtaan veden saatavuuden turvaamiseksi ja parantamiseksi tarvitaan sekä pilaantumisesta estäviä toimenpiteitä maataloudessa, teollisuudessa ja yhdyskuntien jätehuollossa että tehokkaampaa vesihuoltoa mukaan lukien vettä säästävää käyttöä.

## 2.2 Veden laatu ja vesityypit

Luonnon vesi sisältää aina, enemmän tai vähemmän, liuennutta suolaa. Ainoastaan sadevedessä voi olla epäpuhtautena vain pieniä suolapitoisuuksia. Teollisuus- ja vedenkäsittelyprosesseissa muodostuu poistovesiä, joissa on myös merkittävä suolapitoisuus. Taulukossa 2 esitetään eri vesityyppien tyypillisiä suolapitoisuuksia (Heitman 1990).

*Taulukko 2. Vesityyppien suolapitoisuuksien ylärajat.*

Vesityyppi	Suolapitoisuus, yläraja (g/litra)
Murtovesi (brackish water)	10
Merivesi	50
Vedenkäsittelylaitoksen poistovesi	250
Savukaasujen puhdistuksen jätevesi	40
Teollisuuslaitosten jätevesi	50

Vain harvoissa tapauksissa voidaan käyttää suolapitoisia vesiä. Taulukossa 3 esitetään veden suolapitoisuuden ylärajoja erilaisissa käyttökohteissa. Suolapitoisuus esitetään taulukossa kloridipitoisuutena.

*Taulukko 3. Suolapitoisuuksien rajoja veden eri käyttötarkoituksissa.*

Veden käyttötarkoitus	Kloridipitoisuus, g/litra
Juomavesi	0,2–0,6
Teollisuusvesi	0,02–0,75
Kasteluvesi (maaperästä ja kasvilajista riippuen)	0,15–3,0

Raakaveden suolapitoisuuden alentaminen veden laatuvaatimusten tasolle edellyttää suolanpoistotekniikoiden käyttöä joko teknillisistä-, kustannus-, tai ekologisista ja terveydellisistä syistä johtuen. Perinteiset vedenkäsittelymenetelmät, kuten flokkulointi, absorptio, gradulointi sekä mikro- ja nanosuodatukset, eivät ole riittävän tehokkaita tai muuten toimivia ratkaisuja suolanpoistossa. Varsinaisia suolanpoistomenetelmiä ovat:

- käänteisosmoosi (Reverse osmosis, RO)
- elektrodialyysi
- tislauk
- ioninvaihto.



Näistä viimeksi mainittu soveltuu paremmin pieniin erityiskohteisiin, kuten voimalaitoksille. Merkittävimmät suolanpoistomenetelmät ovat RO ja tislauks.

Maailman terveysjärjestö (WHO) on määritellyt juomaveden laatuluokitukset. Veden käsittelyssä tärkeimmät poistettavat aineosat ovat:

- nitraatti,  $\text{NO}_3^-$ , minkä määrän tulee olla vähemmän kuin 50 mg/litra
- sulfaatti,  $\text{SO}_4^{2-}$ , minkä sallittu yläraja on 200–250 mg/litra
- kloridi,  $\text{Cl}^-$ , sallittu raja on 200 mg/l. Kloridi aiheuttaa lisäksi voimakkaasti korroosiota kuumavesiolosuhteissa.
- TDS (Total dissolved solids). Raja-arvo on 500 mg/l. Suuremmilla arvoilla maku- ja hajuhaitat muodostuvat merkittäviksi.

Kastelutarkoituksia varten on oma luokittelunsa seuraavasti:

- TDS alle 200 mg/l, erittäin hyvä kasteluvesi
- TDS alle 500 mg/l, hyvä
- TDS alle 1 400 mg/l, sallittu
- TDS alle 2 100 mg/l, suhtaudutaan kriittisesti
- TDS yli 2 100 mg/l, ei voida hyväksyä.

Meriveden suolapitoisuus vaihtelee suuresti eri puolilla maapalloa. Merivedelle on laadittu jonkinlaiset suolapitoisuusarvot veden laadun yleiskuvausta varten. Tämän ns. standardimeriveden koostumus on taulukon 4 mukainen. Standardimeriveden kloridipitoisuus on 19 g/litra, suolapitoisuus on 34,325 g/litra ja veden kovuus on 348,6 °dH eli 62,25 mmol/litra eli 1 952 mg/litra  $\text{CaCO}_3$ . Lisäksi merivesi sisältää vaihtelevia määriä hivenaineita. Persianlahden vesi (taulukko 5) on huomattavasti suolaisempaa kuin standardimerivesi ja erityisesti kloridien määrä on suurempi.

*Taulukko 4. Standardi meriveden pääkomponentit.*

Aine	Ionimuoto	Määrä, mg/litra
Sodium	$\text{Na}^+$	10 561
Magnesium	$\text{Mg}^{++}$	1 272
Calcium	$\text{Ca}^{++}$	400
Potassium	$\text{K}^+$	380
Chloride	$\text{Cl}^-$	18 980
Sulfate	$\text{SO}_4^{--}$	2 649
Bicarbonate	$\text{HCO}_3^-$	142
Bromide	$\text{Br}^-$	65
Other solids		34
TDS		34 483
Tiheys (20 °C)		$1,0243 \times 10^6$
Vesi		96 5517

Taulukko 5. Persianlahden meriveden laatu, pH on ko. tapauksessa 8,2.

Aine	Ioni	Konsentraatio, mg/litra
Calcium	Ca <sup>++</sup>	508
Magnesium	Mg <sup>++</sup>	1 618
Sodium	Na <sup>+</sup>	13 440
Potassium	K <sup>+</sup>	483
Strontium	Sr <sup>++</sup>	17
Bicarbonate	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	176
Chloride	Cl <sup>-</sup>	24 090
Sulfate	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	3 384
Bromide	Br <sup>-</sup>	83
Fluoride	F <sup>-</sup>	1
TDS		43 800

Taulukossa 6 esitetään joidenkin merialueiden TDS-pitoisuudet ja taulukossa 7 eräitä tyypillisiä murtoveden arvoja ja erään pohjaveden koostumus.

Taulukko 6. Eri merien tyypillisiä suolapitoisuuksia.

	g/l
Itämeri	4,9–6,2
Pohjanmeri	32,2–39,1
Atlantti, pohjoisosat	35,9–36,3
Atlantti, eteläiset osat	35,5
Pohjoinen Tyynimeri	35,2
Intian valtameri	33,8
Välimeri (Kreetta)	37,9
Mustameri, avoin meri	18,1
Punainenmeri	43,1

Taulukko 7. Murtovesien (1–4) ja pohjaveden (Tunisia, 5) tyypillisiä suolamääriä (mg/litra).

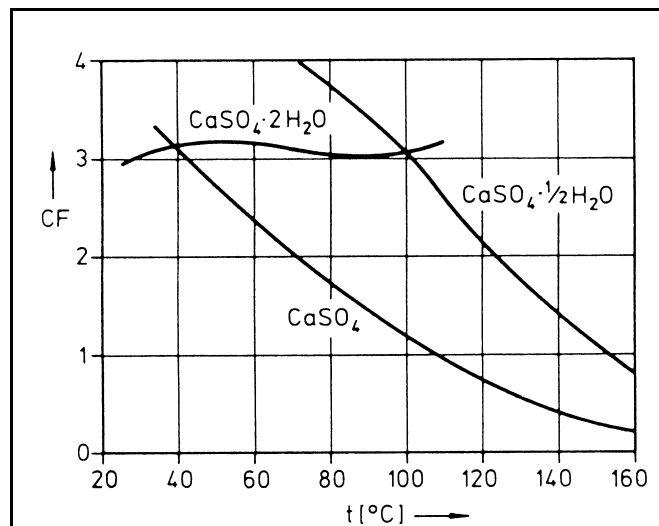
Aine	Ionimuoto	1	2	3	4	5
Sodium	Na <sup>+</sup>	886	125	630	900	1 214
Calcium	Ca <sup>++</sup>	118	316	116	250	315
Magnesium	Mg <sup>++</sup>	72	69	15	70	98
Chloride	Cl <sup>-</sup>	131	67	1 054	1 450	1 649
Sulfate	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1943	900	115	590	1 391
Bicarbonate	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	473	357	78	210	170
Kovuus	CaCO <sub>3</sub>	590	1 073	354	912	-
Manganese	Mn <sup>2+</sup>	1	0,1	0	0,1	-
Fluoride	F <sup>-</sup>	-	-	2	-	-
Iron	Fe <sup>2+</sup>	2	1	0	0,4	-
Potassium	K <sup>+</sup>	16	13	0	5	24
Nitrate	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6,3	19	9	1	-
Silicate	SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-	-	17	-	-
TDS		3 648	1 800	2 076	3 475	4 872
pH	100 mg/l CaCO <sub>3</sub>	7,6	7,9	8,1	7,3	-
Orgaaninen aines	(COD)	10	7,9	-	7	-

## 2.3 Kattilakivi ja korroosio

Veteen liuenneet suolat sekä ilmasta liuenneet kaasut (typpi, happi, hiilidioksidi) aiheuttavat putkistolle, säiliöille ja lämmönsiirtopinnoille kattilakiven muodostumista ja korroosiota. Kattilakivi ja muu kerrostuminen metallipinnoille huonontaa myös lämmönsiirto-ominaisuuksia ja alentaa siten esimerkiksi tisluslaitoksen energiatehokkuutta. Kerrostumien ja korroosion muodostuminen riippuu paitsi suolojen määrästä ja laadusta myös olosuhteista (lämpötilasta, virtausnopeudesta, pH:sta, hiilidioksidipitoisuudesta jne), joten erityisesti tislaukseen perustuvissa suolanpoistomenetelmissä veden koostumuksen lisäksi toimintaolosuhteet ovat tärkeä tekijä laitoksen tehokkuudelle ja käyttöiälle (Heitman 1990).

Kattilakiven muodostumisen aiheuttaa vedessä olevien suolojen, erityisesti alkalisuolojen, liukoisuuden kyllästyminen ja suolojen vapautuminen. Normaalisti suolojen liukoisuus kasvaa veden lämpötilan noustessa, mutta joidenkin suolojen liukoisuus alenee lämpötilan kasvaessa tai saavuttaa käännekohdan tietyssä lämpötilassa.

Alkalikerrostumista yleisimpiä ovat kalsiumkarbonaatti ( $\text{CaCO}_3$ ) ja brusiitti ( $\text{Mg(OH)}_2$ ). Sulfaattikerrostumat ovat edellisiä suurempi ongelma tislauksessa. Kyllästymisrajan ylittyessä muodostuu erilaisia kalsiumsulfaatteja, esimerkiksi anhyriitti  $\text{CaSO}_4$ , hemihydraatti  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  ja dihydraatti  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , joilla on erilaiset liukenemisominaisuudet veteen. Kuvassa 2 esitetään lämpötilan vaikutus konsentraatiokerroimeen eri kalsiumsulfaattityypeille. Kalsiumkarbonaatin kerrostumista pinnoille pyritään erityisesti välttämään, koska sen poistaminen onnistuu lähinnä vain mekaanisesti, esimerkiksi sen liukeneminen happoihin on vähäistä.



Kuva 2. Kalsiumsulfaattivariaatioiden konsentraatiokerroin merivedessä lämpötilan funktiona.

## 2.4 Veden tarve ja tuottaminen tapauskohtaisesti

### 2.4.1 Turismi

Turismi on kasvanut nopeasti neljäkymmenen viime vuoden aikana. 1960- ja 1970-luvuilla turismi oli keskittynyt Euroopan, Pohjois-Amerikan ja Australian kehittyneisiin maihin, mutta parinkymmenen vuoden ajan monet kehitysmaat ovat tulleet tarjoamaan turismipalveluita. Monille kehitysmailla turismi on tärkein talouden sektori ja esimerkiksi tärkein ulkomaanvaluutan lähde ja tärkein työllistäjä.

Ennusteiden mukaan turismikysyntä jatkaa kasvuaan 4 %:n vuosivauhdilla vuoteen 2020, mikä merkitsee sitä, että turistikertojen määrä saavuttaa 1,5 biljoonan rajan vuonna 2020. Samalla arvioidaan kansainvälisen turismin kohdealueiden painottuvan nykyistä enemmän Aasiaan, Latinalaiseen Amerikkaan ja Karibian alueelle. Myös kotimaisen matkailun arvioidaan kasvavan tulotason noustessa ja vapaa-ajan lisääntyessä sekä kehittyneissä että kehitysmaissa. Massaturismin kasvu aiheuttaa voimakasta painetta kohdealueiden resursseille, mm. puhdas vesi ja ranta-alueet ovat eräitä avainvaatimuksia turismin onnistumiselle.

Turismialueilla veden tarpeesta vain pieni osa (viitisen prosenttia) kuluu juomavetenä tai ruuan valmistuksessa. Tärkeimmät kulutuskohteet ovat:

- suihku ja hygienia
- viheralueiden, puutarhan ja golf-kenttien kastelu
- paikallisesti tuotettavien ruoka-aineiden tuotannossa tarvittava kastelu
- uima-altaat
- pesulatoiminta
- jäähdytys ja koristelutarpeet
- juomavesi ja ruuan valmistus.

Veden toimituskatkokset aiheuttavat turistikohteessa palvelutason laskua: ravintolat eivät pysty valmistamaan aterioita ajallaan, asiakkaat eivät saa suihkua halutessaan, marketeista loppuu vesi jne. Tämän on todettu aiheuttavan matkojen peruutuksia. Veden järkevällä käytöllä ja kierrätyksellä voidaan säästää vesivarantoja, mutta keinotekoisien käyttöveden valmistukseen joudutaan turvautumaan monissa turistikohteissa.

Mallorcalla keskimääräinen turisti käyttää vettä yli 400 litraa päivässä. Tämä on yli kaksi kertaa enemmän kuin kaupungin asukkaiden veden kulutus (taulukko 8) (Hawkins 2000).

Taulukko 8. Turistin veden kulutuksen vertailu.

	Veden kulutus (l/päivä)
Mallorcan maakunta	140
Espanjan kaupunkiasukas	250
Keskimääräinen Mallorcan-turisti	440
Luxus golf -turisti	880

Karibialla sijaitsevan Barbados-saaren turistit näyttävät kuluttavan jonkin verran enemmän vettä kuin Mallorcan turistit (Mwansa 2000). Barbados on 430 km<sup>2</sup>:n saari, jossa paikallisia asukkaita on 260 000 ja jossa yli 400 000 turistivierasta lomailee vuosittain. Saarella on 77 hotellia, 13 vierastaloa ja 56 huoneistohotellia.

Vuonna 1997 veden kokonaiskulutus oli 195 000 m<sup>3</sup>/d ja pohjavesien saanti on keskimääräisenä vuonna 205 000 m<sup>3</sup>/d. Kuivana vuonna, minkä oletetaan olevan joka 15 vuosi, saanti on vain 140 000 m<sup>3</sup>/d. Liiallinen pohjavesien käyttö kuivina vuosina johtaa vesilähteiden suolapitoisuuden nousuun ja veden pilaantumiseen.

Saaren hotellit käyttivät vuonna 1997 vettä 678 l/d hotellivierasta kohti, kun hotellien käyttöaste oli 50–60 %. Tutkimuksen mukaan veden kulutuksen tehokkuudessa oli suuria eroja hotellien kesken (taulukko 9)

Taulukko 9. Turistihotellien vedenkulutus (l/d, turisti).

Hotellityyppi, tehokkuus	Veden käytön tehokkuus			
	hyvä	kohtalainen	heikko	hyvin heikko
Suuri hotelli, jossa pesula, keittiö, uima-allas	< 600	600–770	770–880	> 800
Keskikokoinen hotelli, 50–150 huonetta	< 400	440–500	500–600	> 600
Pieni hotelli, 4–50 huonetta, ei pesulaa	< 300	330–380	380–440	> 440
Hotellit keskimäärin	678 litraa/hotellivieras			

Vuoden 1993 jälkeen pyrittiin saarella lisäämään urheiluturismia. Golf-kenttiä rakennettiin hotellien läheisyyteen ja niitä alettiin kastella. Kastelun seurauksena sekä veden kulutus kasvoi että pohjavedet likaantuivat kenttien läheisyydessä. Keskimääräinen vedenkulutus oli 1 135 m<sup>3</sup>/d 18 reiän golf-kentällä. Suurin kenttä oli 90-reikäinen ja sen kasteluveden tarve oli 5 700 m<sup>3</sup>/d. Kenttiä rakennettiin alkujaan viisi, mutta nykyään vain kolme on käytössä.

Veden hankinta on tähän asti toteutettu pohjavesilähteistä ja pintaan ulottuvista lähteistä, mutta parin viime vuoden aikana on yksityinen hotelli aloittanut 4 500 m<sup>3</sup>/d suolanpoistolaitoksen rakentamisen ja kunnallinen vesiyhtiö 30 000 m<sup>3</sup>/d kokoisen murtovettä hyödyntävän RO-laitoksen rakentamisen. Suolanpoistolaitosten lisärakentamista suositellaan tulevaisuudessakin pohjavesivarastojen liiallisen käytön estämiseksi ja kuivien jaksojen turismille aiheuttaminen haittojen vähentämiseksi.

## 2.4.2 Suolanpoisto Tyynenmeren alueella (Goto & Maccormick 1999)

### Australia

Suolapitoisesta raakaakavedestä valmistetun veden potentiaalista tarvetta esiintyy teollisuudessa ja turismissa pienehköillä etäisillä alueilla, esimerkiksi riuttasaarilla. Raakavetenä voidaan käyttää suuremmaksi osaksi murtovettä. Joillakin teollisuuden aloilla, kuten kaivannaisteollisuudessa, suolanpoistetun veden käyttö on todennäköisempää kuin pintaveden.

Toiminnassa olevien suolanpoistolaitosten kapasiteetti on 84 000 m<sup>3</sup>/d ja suurin yksikkö, 29 300 m<sup>3</sup>/d, tuottaa vettä voimalaitokselle. Suolanpoistetun veden käyttäjistä suurin ryhmä on teollisuus (45 %). Voimalaitokset käyttävät 33 % ja kunnalliset vesilaitokset 15 %. Suolanpoiston raakavedestä 70 % on murtovettä, 18 % jätevettä ja 10 % merivettä. Laitoksista 64 % on RO-laitoksia, 18 % VC-laitoksia ja 12 % MSF- tai ME-laitoksia.

### Kiina

Meriveden tislauksen markkinat ovat Kiinassa kasvamassa, mutta kovin suurta potentiaalia ei Kiinassa arvioida olevan. Suolanpoistetun veden suurin tarve on voimalaitoksilla sekä elektrolyysi- lääke-, kemian-, auto-, elintarvike- ja panimoteollisuuksissa. Useita ED-laitoksia on rakennettu teollisuuden yhteyteen. Joitain RO-laitoksia on toiminnassa, jotka käyttävät raakavetenä murtovettä. Suunnitteilla tai rakenteilla on mm. 10 000 m<sup>3</sup>/d MSF-laitos öljynjalostamolle ja 4 000 m<sup>3</sup>/d laitos kunnalliseen käyttöön.

Suolanpoiston kokonaiskapasiteetti Kiinassa on 182 000 m<sup>3</sup>/d, josta esimerkiksi Shanghaissa on 15 000 m<sup>3</sup>/ RO-laitos, Dalian Oil -öljynjalostamolla 10 000 m<sup>3</sup>/d MSF-laitos ja Daging Oil -öljynjalostamolla 11 500 m<sup>3</sup>/d RO-laitos. Suolanpoistetun veden pääkäyttäjät ovat teollisuus (yli 50 %) ja voimantuotanto (40 %). Raakaveden lähteenä on useimmiten murtovesi, mutta myös joki- tai merivesi tai jätevesi. Laitokset ovat enimmäkseen ulkomaista toimitusta, mutta MSF-laitokset ovat osin kotimaisia.

### Japani

Japanin suolanpoistokapasiteetti jakaantuu puoliksi teollisuudelle ja puoliksi julkisen sektorin vesilaitoksille. Teollisuuden suolanpoistolaitosten kapasiteetti on 69 000 m<sup>3</sup>/d, mikä jakautuu 26 laitokselle ja tuottaa puhdasta vettä teollisuuden tarpeisiin. Julkisen sektorin suolanpoistokapasiteetti on 61 000 m<sup>3</sup>/d 38 eri kohteessa. Laitosten koko teollisuudessa on 1 000–13 600 m<sup>3</sup>/d keskiarvon ollessa 1 400 m<sup>3</sup>/d ja tärkein käyttökohde on voimalaitokset. Ennen vuotta 1996 kunnallisen sektorin tisluslaitokset sijaitsivat etäisillä alueilla ja saarilla ja niiden tuotto oli 10–3000 m<sup>3</sup>/d. Myöhemmin on rakennettu 40 000 m<sup>3</sup>/d RO-laitos Okinawalle ja 50 000 m<sup>3</sup>/d laitos on suunnitteilla Fukuokaan. Sekä teollisuuden että julkisen sektorin puolella suolanpoistolaitokset käyttävät yleensä merivettä raakavetenä. Suolanpoistoprosessi on yleisemmin RO. MSF:n osuus on 3,5 % ja ME:n osuus 1,8 %.

Suolanpoistomarkkinoiden ei Japanissa oleteta kasvavan kovin suuriksi, mutta kylläkin etäisillä alueilla asutustaaajat, teollisuus ja voimalaitokset varmistavat puhtaan veden saannin muutaman tuhannen m<sup>3</sup>/d-kokoisen suolanpoistolaitoksen avulla. Kotimainen valmistus on useimmiten laitosten alkuperänä.

### **Korea**

Koreassa esiintyy käyttöveden vajausta. Arvioidaan, että 2000-luvun ensimmäisellä vuosikymmenellä vajuus on 10 % vedentarpeesta. Vesipula on ongelma rannikkoalueilla, joissa myös teollisuuslaitokset enimmäkseen sijaitsevat. Vesipulan ratkaisuna pidetään lähinnä meriveden suolanpoistoa. Erityisesti se sopii teollisuuslaitoksille, jotka tarvitsevat tasaisesti vettä sääoloista ja jakeluhäiriöistä riippumatta.

Suolanpoiston kokonaistuotanto on tällä hetkellä 180 000 m<sup>3</sup>/d, ja suurin laitos on 70 000 m<sup>3</sup>/d, joka palvelee kemian ja petrokemian teollisuuskompleksia.

### **2.4.3 Latinalainen Amerika ja Karibian alue (Andrews 1999)**

Latinalaisen Amerikan ja Karibian alueella on yhteensä 46 valtiota tai siirtomaata. Väestön määrä on 440 miljoonaa asukasta eli 8 % maailman väestöstä. Suolanpoistokapasiteettia on alueella 803 000 m<sup>3</sup>/d eli 4 % suolanpoistolaitosten kokonaismäärästä.

*Taulukko 10. Latinalaisen Amerikan ja Karibian alueen suolanpoistotilanne.*

Maa	Suolanpoistokapasiteetti	
	m <sup>3</sup> /d	lpd/asukas
Antigua ja Barbuda	28 533	439
Argentina	15 960	0,5
Bahamas	37 565	147,3
Belize	757	4
Bermuda	13 171	215
Brazil	1 079	0
Cayman saaret	16 986	666
Chile	28 904	2,2
Colombia	7 165	0,2
Cuba	18 926	1,8
Dominica	1 135	15,8
Ecuador	3 933	0,4
Honduras	651	0,1
Jamaica	6 094	2,5
Mexico	207 917	2,5
Netherlands Antilles	249 704	1 426
Paraguay	1 000	0,2
Peru	24 538	1,1
Venezuela	19 629	1,0
Virgin Irlands (British)	4 227	254
Virgin Irlands (USA)	114 852	1073

Alue kuuluu trooppiseen tai päiväntasaaja-alueeseen, joten alueella on runsaasti sateita. Poikkeuksena ovat Atacama-autioma Chilessä, Meksikon subtrooppinen autioma-alue ja Karibian saaret. Muutamissa maissa, kuten Barbadosella, Trinidadissa, Jamaicalla ja Anguillanilla, suolanpoistolaitosten rakentamisen lisäys viime aikoina johtuu lisääntyvästä turismista Taulukossa 10 esitetään alueella rakennettu suolanpoistokapasiteetin määrät.

#### 2.4.4 GCC-maat (Alawadhi 1999)

Keski-idän GCC (Gulf Cooperation Council) -maihin kuuluvat Bahrain, Oman, Qatar, Kuwait ja Saudi-Arabia. Näitä maita pidetään kuivana tai puolikuivana alueena vähäisestä sateesta ja runsaasta haihtumisesta johtuen. Väestön määrän kasvu ja tulotason voimakas kasvu ovat viime vuosikymmenenä aiheuttaneet voimakasta puutetta vedestä. Veden tarpeesta peitetään 90 % pohjavedellä ja 7,5 % on suolanpoistettua vettä. Veden tarve on tällä hetkellä 20 000 milj.m<sup>3</sup>/a, ja sen arvioidaan vuoteen 2020 mennessä kasvavan 28 000 milj.m<sup>3</sup>:iin vuodessa. Taulukossa 11 esitetään sademäärät ja vesivarantojen käyttö alueella.

*Taulukko 11. Vesitase Arabian niemimaalla.*

	Abstraction milj.m <sup>3</sup> /a	Uusiutuvat vesivarannot (1994), milj.m <sup>3</sup> /a		
		Konvention.	Suolanpoisto	Jäteveden hyöd.
Saudi Arabia	14 430	4 550	874	217
UEA	1 000	490	259	62
Kuwait	114	161	514	83
Qatar	185	50	108	23
Bahrain	190	90	58	32
Oman	728	1 929	39	11
Yhteensä	16 647	7 270	1 853	428

GCC-maat ovat johtavia maita suolanpoistolaitosten käytössä. Vuoteen 1995 mennessä näissä maissa oli käytössä 45 laitosta, joista 23 sijaitsi Saudi-Arabiassa. Taulukko 12 esittää suolanpoistolaitosten määrän ja tyyppin vuonna 1995. MSF-prosessitekniikka on laajimmin käytössä oleva menetelmä. RO-tekniikka ei ole osoittautunut täysipainoiseksi vaihtoehdoksi alueen raakaveden laatuominaisuuksien vuoksi. MED-laitosten pieneen määrään pidetään syynä kerrostumista ja likaantumista. Pieniä VC-laitoksia on toiminnassa kaikissa GCC-maissa.



Taulukko 12. Suolanpoistolaitokset GCC-maissa.

Maa			Kokonaiskapasiteetti	
	MSF m <sup>3</sup> /d	RO & others m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /d	milj.m <sup>3</sup> /a
Saudi Arabia	2 316 000	79 000	2 395 000	874
UAE	709 000	-	709 000	258
Kuwait	1 409 000	-	1 409 000	514
Qatar	295 000	-	295 000	107
Bahrain	115 000	45 000	160 000	58
Oman	105 000	2 000	107 000	39
Total	4 949 000	126 000	5 075 000	1 853

Alueelle joudutaan tulevaisuudessakin rakentamaan yhä lisää suolanpoistokapasiteettia pohjaveden laadun ja määrän huonontuessa ja veden tarpeen kasvaessa elintason nousun ja väestömäärän kasvun vuoksi. Arvioidaan, että suolanpoistokapasiteetti kaksinkertaistuu 20 vuodessa alueella. Useimmat laitoksista käyttävät merivettä raakavetenä. Laitosten energialähteenä tullaan tulevaisuudessa käyttämään enemmän yhteistuotantolaitoksia paremman kokonaistalouden perusteella. Lisäksi todetaan, että koska MSF-laitos käyttää suhteellisen paljon energiaa, pitää tulevaisuudessa löytää vähemmän energiaa kuluttavia tislauksmuotoja.

## 2.4.5 Välimeren alue ja Kanariansaaret

**Espanja** (Corral & Juan 1999)

Taulukossa 13 esitetään suolanpoistolaitosten tuotantomäärät Espanjassa.

Taulukko 13. Suolanpoistetun veden tuotanto Espanjassa.

	Käyttökohde	Käyttö, milj m <sup>3</sup> /a	Yhteensä, milj.m <sup>3</sup> /a
Merivesi	Kaupunki	90	95,3
	Maatalous	5,3	
Murtovesi	Kaupunki	25,8	126,5
	Teollisuus	40,5	
	Maatalous	60,3	
Yhteensä			221,8

Vanhimmat suolanpoistolaitokset alkaen 1970-luvulta olivat MSF-laitoksia ja ne tuottavat esimerkiksi Las Palmasissa tällä hetkellä 30–50 % veden tarpeesta. Laitoksen GOR on vain 6. Hieman tehokkaampi MSF-laitos rakennettiin Las Palmasiin vuonna 1975, ja

sen  $G_{or} = 8$ . Energian kulutus laski arvosta  $24\text{--}30 \text{ kWh/m}^3$  noin  $18,5 \text{ kWh/m}^3$ :iin. Energian hinnan kohotessa laitokset ovat kalliita käyttää ja uusimmat tisluslaitokset ovat olleet VC-tyyppisiä. Useita VC-laitoksia, kooltaan  $1\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ , rakennettiin 1980-luvulla ja niiden energiankulutus on noin  $16,5 \text{ kWh/m}^3$ . Toistaiseksi viimeisin VC-laitos rakennettiin pikkukaupunkia varten vuonna 1995, ja se on toiminut sähkökulutuksella  $9,8 \text{ kWh/m}^3$  ( $10,5 \text{ kWh/m}^3$  mukaan lukien liittännäispumppaukset).

RO-laitokset ovat kymmenen vuoden aikana yleistyneet Espanjassa. Raakavetenä käytetään monessa tapauksessa merivettä ja vesi tuotetaan kaupunkikäyttöön. Taulukossa 14 vertaillaan eri laitosten investointeja ja sähkön kulutusta laitoksen eri osissa.

*Taulukko 14. Espanjalaisten kokemuksia RO-laitoksista (investointi ja sähkökulutus).*

Laitos	Kapazit. $\text{m}^3/\text{d}$	Vuosi	Investointi		$\text{kWh/m}^3$			
			MUS\$	US\$/ ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	Intake	RO	tuot.	Yhteensä
Lanzarote II	7 500	1988	8,3	1 112	0,4	5,10	0,7	6,20
Las Palmas III	36 000	1990	36,2	1 007	0,8	4,73	0,6	6,13
Fuertev. III	4 000	1991	7,2	1 815	0,25	4,35	0,8	5,40
Corralejo	1 500	1993	3,0	2 000	0,3	5,34	0,6	6,24
Gran Tarajal	1 500	1993	3,2	2 178	0,45	6,55	0,3	7,30
Sureste	10 000	1993	12,3	1 233	0,56	3,71	0,98	5,25
Arucas	4 000	1995	7,5	1 880	0,65	4,83	0,47	5,95
Inalsa	20 000	1996	16,3	1 634	0,35	4,93	0,7	5,98
Galdar	3 500	1998	4,0	1 160	0,58	4,62	0,51	5,71
Adeje-Arona	10 000	1998	11,2	1 123	0,85	3,59	0,78	5,22
<b>Kekimäärin</b>				<b>1 514</b>	<b>0.52</b>	<b>4.77</b>	<b>0.64</b>	<b>5.94</b>

### **Tunisia (BenJemaa et al. 1999)**

Tunisiassa on hyvin rajalliset vesivarannot, ja suuri osa niistä on muuttumassa murtovedeksi, jota ei voi käyttää juomavetenä tai kasteluun. Maan pohjoisimmissa osissa vuotuinen sademäärä voi olla  $1\ 300 \text{ mm}$ , mutta eteläosissa voi sademäärä jäädä alle  $100 \text{ mm}$ :n. Myös vuosien välillä on suuria sademääräeroja. Maan tavoitteena on kehittää teollisuutta, maataloutta ja yleistä elämisen laatua, mikä lisää tulevaisuudessa veden valmistuksen tarvetta sekä murtovedestä että merivedestä. Naapurimaistaan poiketen Tunisiassa on hyvin niukat fossiiliset energialähteet ja energian tehokkaaseen käyttöön ja uusiutuviin energiavaroihin kiinnitetään suurta huomiota.

Tällä hetkellä Tunisiassa on suolanpoistolaitosten kapasiteettia noin  $45\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ . RO-menetelmä on yleisin tapa tuottaa suolanpoistettua vettä kapasiteetin ollessa  $30\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ , mikä vastaa noin 76 %:a. Toisella sijalla on ED-menetelmä (14 %) ja kol-

mannella VC (10 %). Kunnallinen vesihuolto vastaa 60 %:a suolanpoistolaitoksista. Raakaveden mukaan tarkasteltuna murtovesi on yleisin lähde (90 %), mutta meriveden arvioidaan lisääntyvän rannikolla ja saarten asutuskeskuksissa ja kaupungeissa. Termistä suolanpoistoa käytetään teollisuuden veden valmistamisessa. Suurin tislattun veden valmistaja Tunisiassa on Tunisian Chemical Group (TCG). Sen tuotantoa ovat rikki-, fosfori- ja typpihappo. Perusteina tislauslaitoksille ovat erityisen puhtaan veden tarve ja hukkalämpö teollisuusprosesseista.

#### 2.4.6 Indonesia (Siswono 1999)

Indonesia käsittää yli 15 000 saarta ja se sijaitsee trooppisella ilmastovyöhykkeellä. Siitä huolimatta kaksi kolmasosaa maasta kärsii veden puutteesta ainakin kuusi kuukautta vuodessa. Puolet maan noin 200 miljoonasta asukkaasta kärsii vesipulasta. Maan pääkaupungilla Jakartalla ja sen 10 miljoonalla asukkaalla on asukasta kohden laskettuna vähiten vettä käytettävissä koko maailmassa. Vesivarannot eivät sijaitse kohtuullisen etäisyyden päässä asutusalueista ja teollisuudesta, lisäksi luonnolliset vesivarastot, joet ja järvet ovat saastuneet teollisuuden ja maatalouden nopean kehitysjakson aikana. Myös meriveden suotautuminen on pilannut pohjavedet kymmenenkin kilometrin päähän rantaviivasta. Taulukossa 15 esitetään veden kulutusarvoja. Suolanpoisto ja veden kierrätys kattavat suurimman osan kulutuksen lisäyksestä.

*Taulukko 15. Veden kulutuksen ennuste Indonesiassa.*

Käyttökohde	1990	2000	2015
Kastelu	72 000	85 000	110 000
Kotitalous ja teollisuus	3 300	6 400	9 400
Muu käyttö	3 800	4 300	4 800

Lyhyellä aikavälillä meriveden ja murtoveden suolanpoiston arvioidaan olevan paras vaihtoehto tuottaa vettä kotitalouksille ja teollisuudelle. Suolanpoistolaitosten rakentamista on suunniteltu siten, että suuret kaupungit (1–5 miljoonaa asukasta) tarvitsevat suuren tai keskikokoisen suolanpoistolaitoksen, 200 000–500 000 asukkaan kaupungit tarvitsevat keskikokoisen laitoksen. Pienet kaupungit ja kylät tai eristyksissä olevat saaret, joissa asukkaita on alle 50 000 ja joissa sähkön tuotanto on toteutettu esimerkiksi diesel-laitoksilla, tarvitsevat pienikokoisen suolanpoistolaitoksen. Suurella suolanpoistolaitoksella tarkoitetaan tässä yhteydessä yli 200 000 m<sup>3</sup>/d laitosta, keskikokoisella 100 000 m<sup>3</sup>/d laitosta ja pienellä 20 000 m<sup>3</sup>/d laitosta.

## 3. Suolanpoisto veden tuotannossa

### 3.1 Menetelmät ja prosessit

Suolanpoistolaitokseen liittyy kolme päävesivirtaa ja energian tuontiin liittyvät virtaukset. Raakavesi johdetaan laitokselle merestä, pohjavesilähteestä tms. ja poistuvia vesivirtoja ovat ns. suolanpoistettu vesi ja väkevöitynyt vesi, väkevöite (brine). Suolanpoistettua vettä kutsutaan tislatuksi vedeksi eli tisleeksi hyörystymiseen perustuvissa menetelmissä. Höyrystyksen ohella toinen päämenetelmä poistaa suolaa vedestä perustuu kalvoerotustekniikkaan (membrane). Makeaa vettä eli juomakelpoista vettä saadaan jälkikäsitteilylaitoksessa, jossa suolanpoistettuun veteen mm. lisätään ihmisille välttämätön määrä suoloja tai muita hivenaineita.

Suolanpoistoprosesseja, joilla merkittävässä määrin tuotetaan makeaa vettä merivedestä, murtovedestä tai muusta juomakelvottomasta vedestä, ovat käänteisosmoosi (Reverse Osmosis, RO), joka on kalvotekniikkaan perustuva prosessi, termiset prosessit, joita ovat monivaihehöyrystystislauk (Multi Stage Flash, MSF) ja monivaihelauhdutustislauk (Multiple Effect Distillation (MED)). MED-prosessiin liitetään nykyään usein terminen tai mekaaninen höyryn komprimointi (Vapor Compression) laitoksen tehokkuuden parantamiseksi. Komprimointi toteutetaan termisessä järjestelmässä höyryejektorin avulla ja mekaanisessa järjestelmässä sähköllä toimivan kompressorin avulla. Mekaaninen komprimointilaitos ei tarvitse välttämättä lämpöenergiaa lainkaan.

MSF- ja MED-laitosten eräs käytännöllinen ero liittyy höyrystymisilmiöön. MSF-tislauksessa suolapitoinen vesi höyrystyy, kun se johdetaan alemmassa paineessa olevaan säiliötilaan. MED-laitoksessa käytetään lämmönsiirrintä, jossa höyrystettävä vesi kiehuu lämmönsiirtopinnalla ja muodostuvaa höyryä käytetään seuraavassa vaiheessa lämmön lähteenä. Lämmönsiirtopinnalla tapahtuvaan höyrystymiseen liittyy korroosion ja kattilakiven muodostusriski, jos prosessia ei hallita oikein.

RO-laitokset jaotellaan käyttötekniillisistä eroista johtuen murtovesi-RO-laitoksiin (brackish water RO, BRRO) ja merivesilaitoksiin (sea water RO, SWRO). MSF-laitokset voidaan jaotella prosessin perusteella MSF-BR-laitoksiin (suolaveden kierrätys) ja MSF-OT (kertakierto, once through) -laitoksiin.

Pienissä MED-MVC-laitoksissa voi tislausvaiheita olla vain yksi, kun suuret MSF-laitokset koostuvat yleisesti yli 15 vaiheesta. MED-TVC-laitoksissa on tavallisesti neljä haihdutusvaihetta.

Taulukossa 16 esitetään erityyppisten suolanpoistolaitosten toiminnan energiankulutukseen liittyviä tunnusarvoja, jotka perustuvat käytössä oleviin laitoksiin (World Wide

Water 2000), (IAEA 1998). Tunnuslukuja ovat sähkön kulutus ja lämmön kulutus, jotka ilmoitetaan suhdelukuina tuotettu vesimäärä kulutettua höyrymäärää kohti (GOR). Kylläisestä höyrystä tislaukseen saatava lämpöenergia on noin 2 326 kJ/kg, mutta tarkaan ottaen se riippuu jonkin verran tulevan höyryn ja poistuvan lauhteen lämpötiloista. GOR-indeksi ilmaisee siten, kuinka moninkertaisesti kuluu energiaa, jos veden höyrystyminen tapahtuu avoimessa tilassa, esimerkiksi sähköliedellä kattilassa (olettaen lämpöhäviöt nollassi). Lämpöenergian kulutus taulukon tisluslaitoksissa on parhaimmillaan n. 130 MJ/vesi-m<sup>3</sup> (= 36 kWh/vesi-m<sup>3</sup>).

*Taulukko 16. Suolanpoistotekniikoiden tunnusarvoja.*

Prosessi	Sähkön kulutus, kWh/(m <sup>3</sup> /d)		Tuotantosuhde, GOR, kg <sub>vesi</sub> /kg <sub>höyry</sub>	
	minimi	maksimi	minimi	maksimi
BWRO	0,3	1,9	–	–
MED	0,8	1,8	1	14
MED-TVC	0,8	1,5	3	18
MSF-BR	2,6	4,0	4	12
MSF-OT	2,4	3,2	2	8
MVC	8,5	12,0	–	–
SWRO	4,0	8,0	–	–

Termodynaamisesti MED-prosessi on edullisempi kuin MSF-prosessi, joka näkyy taulukossa korkeampana GOR-arvona. Tästä huolimatta MSF-laitoksella on ollut valta-asema tisluslaitosten markkinoilla. Tämä johtuu pääasiassa MED-laitosten osalta väärästä komponentti- ja materiaalivalinnoista sekä suurten laitosten käyttökokemuksen puutteesta.

Seuraavassa esitettävä tilannekatsaus käsittelee termisiä suolanpoistomenetelmiä, joita käytetään suolanpoistossa, kun raakavedellä on korkea suolapitoisuus. Suolapitoisuuden laskiessa RO-laitoksilla on johtava markkina-asema, koska niissä kustannukset alenevat suolapitoisuuden alentuessa. Termisillä laitoksilla kustannukset alenevat olennaisesti vähemmän raakaveden suolapitoisuuden alentuessa.

## 3.2 Teknologian nykytilanne (Wangnick 2000a ja b)

### 3.2.1 Markkinatilanne

Termisellä suolanpoistolla on edelleen vahva markkina-asema. Kymmenen viime vuoden aikana tehdyistä suolanpoistolaitosten rakentamissopimuksista 65 % kokonaiskapasiteetista on ollut termisiä laitoksia ja niistä 80 % MSF-laitoksia. Yleisesti ottaen isot lai-

tokset ovat olleet termisiä laitoksia. Lukumääräisesti RO-laitokset ovat enemmistönä rakennettavissa laitoksissa.

Termisiä laitoksia käytetään vähiten maissa, joissa niiden kytkentä sähköntuotannon yhteistuotantolaitokseksi on vaikeaa tai vähäistä. Niissä maissa, joissa yhteistuotanto on mahdollista, kuten Arabian niemimaalla, suuret suolanpoistolaitokset ovat lähes sataprosenttisesti tisluslaitoksia.

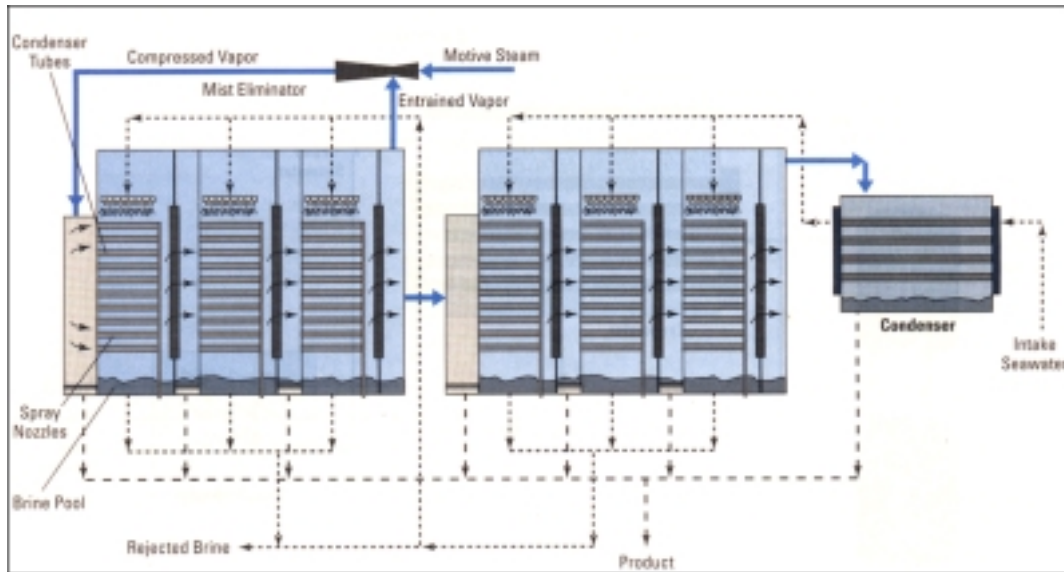
Noin 70 % (8,8 Mm<sup>3</sup>/d) koko uudesta suolanpoistokapasiteetista kymmenen viime vuoden aikana on rakennettu Arabian niemimaalle. Johtavana maana on Saudi-Arabia kapasiteetin ollessa 3,6 Mm<sup>3</sup>/d ja toisella sijalla on Yhdistyneet Arabiemiraatit 2,6 Mm<sup>3</sup>/d:n kapasiteetilla.

Termisillä laitoksilla toteutetaan suolanpoisto erityisesti tilanteissa, joissa merivesi on erityisen suolapitoista, tuotetulla vedellä on suuri puhtausvaatimus tai laitoksen toimintavarmuudella on suuret vaatimukset.

Suurten termisten tilauslaitosten valmistajat ovat Euroopasta (45 %) ja Aasiasta (Korea, Japani) (37 %). Amerikkalaiset yritykset eivät merkittävästi valmista suuria termisiä suolanpoistolaitoksia, mutta pienempiä kylläkin.

### 3.2.2 MED-tislauksen tekninen tilanne

Kuva 3 esittää kaavamaisesti MED-prosessin toiminnan, kun myös höyryn kompressointi ejektorin avulla on liitetty prosessiin (Ettouney et al. 1999). Kuva esittää vaakatasossa olevilla putkilla toteutettua höyrystinratkaisua. Kussakin vaiheessa lämpöä siirtyy putkien sisäpuolelta putkien ulkopinnalle höyrystäen merivettä, jota suihkutetaan putkien päälle. Siirtyvä lämpö muodostuu putkien sisällä edellisestä vaiheesta tulevan meriveden höyryn lauhtuessa tisleeksi eli suolanpoistetuksi vedeksi. Prosessi etenee vaiheesta toiseen alenevan paineen ja lämpötilan avulla, kunnes viimeisen vaiheen jälkeen on merivesilauhdutin, jossa loput höyrystä lauhdutetaan vedeksi. Laitoksen alkupäässä ensimmäisenä vaiheena on ulkopuolisen lämmön tuonti prosessiin. Jos on käytettävissä vain matalapaineista ja -lämpötilaista höyryä, lämmön tuonti tapahtuu höyrylämmönvaihtimessa höyrystä meriveteen. Jos on käytettävissä korkeampipaineista höyryä, kuten kuvassa oletetaan, voidaan lämpö tuoda ejektorin välityksellä massavirran ollessa pääasiassa laitoksen loppupäästä imettyä höyryä.



Kuva 3. Ejektorilla varustetun ME-laitoksen toimintaperiaate.

MED-laitoksissa haihdutusvaiheet on perinteisesti kytketty sarjaan ja raakavesi syötetään rinnakkaisesti vaiheisiin. Joissain ratkaisuissa raakavesi esilämmitetään vaiheittain. Raakaveden rinnakkaisessa syötössä suolapitoisuudeltaan kohonnut vesi poistetaan tislauksesta kunkin vaiheen jälkeen. Jos laitoksen ratkaisussa käytetään raakaveden uudelleenkierätyä, se voi käsittää kaikki vaiheet tai se voi käsittää tietyn ryhmän vaiheita. Jatkokierrätystä käytettäessä tarvitaan kierrätyspumput raakaveden siirtämiseksi vaiheesta tai vaiheryhmästä toiseen.

Raakaveden lämpötila pyritään MED-haihduttimissa pitämään mahdollisimman alhaisena kattilakiven ja muun likaantumisen estämiseksi. Normaalisti lämpötila on 65 °C tuntumassa. Huolimatta pienestä kokonaislämpötilaerosta lämmityshöyryn ja lauhduttimen lämpötilan välillä ja huomioon ottaen kiehumispisteen kohoaminen prosessin aikana kaikenlaisia lisähäviöitä pyritään ratkaisussa välttämään. Pienen energiankulutuksen kompensoimiseksi lämpöpinnan tulee olla vastaavasti suurempi. Useilla valmistajilla lämpöpinta muodostuu horisontaalisesti tai vertikaalisesti sijaitsevien putkien pinnoista. Uusimpana tekniikkana on käyttää levylämmönsiirtimiä ja höyrystettävän raakaveden syöttämistä ohuena kalvona lämmönsiirtopinnalle.

Liitettäessä kompressointijärjestelmä ME-laitokseen käytetään yleisesti höyryejektoria. Ejektorin ajohöyryn paine on käytännössä 3–20 baaria. Imuhöyry ejektoriin tulee normaalisti ME-laitoksen lauhduttimesta, jossa paine on noin 0,1 baaria, ja ejektorin jälkeen paine on noin 0,25 baaria. Paineiden ja massavirtojen optimoinnilla voidaan vaikuttaa laitoksen pääoma- ja käyttökustannusten suhteisiin sekä laitoksen kokonaiskustannusten minimointiin. Mitä korkeampi on ajohöyryn paine, sitä alempi massasuhde (ajohöyry määrä/imuhöyry määrä) saavutetaan ja imuhöyryn osuus on siten suurempi.

Ejektorin epälinearisesta toimintakäyrästä johtuen imupaineen ja ejektorin jälkeisen paineen eron kasvaessa pienenee ejektorin hyötysuhde. Tästä syystä suuremmissa laitoksissa höyryä ei imetä laitoksen viimeisestä eli kylmimmästä vaiheesta vaan höyry otetaan jostain edeltävästä vaiheesta. Tällä hetkellä suurimmat toimitetut tai rakenteilla olevat MED-TVC-laitokset ovat kooltaan aina 20 000 m<sup>3</sup>/d:n kokoisia.

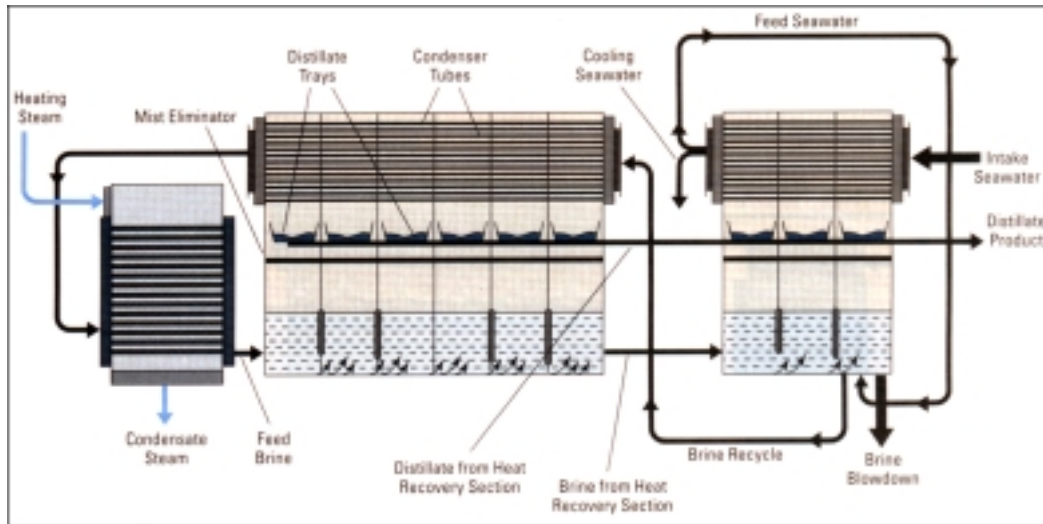
Niissä maissa, joissa sähkön hinta on hyvin alhainen, kuten Etelä-Afrikassa ja Namiabiassa, tai joissa lämpövoimaa ei käytetä sähkön tuotannossa, MED-laitokseen voidaan liittää mekaaninen höyrykompressori. Suurimmat käytössä olevat MED-MVC-yksiköt ovat kapasiteetiltaan 3 000 m<sup>3</sup>/d:n kokoisia. Sähköenergian kulutus on näissä laitoksissa noin 7 kWh/m<sup>3</sup>. Toimitusvaiheessa on 5 000 m<sup>3</sup>/d:n kokoinen MED-MVC-yksikkö, jossa on kuusi vaihetta.

### 3.2.3 MSF-laitos

Useimmat käytössä olevat MSF-laitokset käyttävät hyväkseen suolaveden (väkevöityneen raakaveden) uudelleenkierrätystä tisluslaitoksen läpi. Toista kytkentämahdollisuutta, once through -järjestelmää, käytetään osittain uusimmissa laitoksissa. Kuvassa 4 esitetään MSF-BR-laitoksen toimintakaaviota (Ettouney et al. 1999). Pääosat ovat lämmönluovutus- ja höyrystysvaiheet (heat rejection/evaporation), lämmön talteenotto- ja tislusvaiheet (heat recovery/evaporation) sekä suolaveden lämmitysvaihe (brine heater).

Merivesi johdetaan putkissa kunkin vaiheen läpi, ja samalla vesi asteittaisesti lämpenee. Varsinainen lämpötekninen käyttöenergia prosessille saadaan höyrylämmönvaihtimessa ulkopuolisesta lämmönlähteestä. Lämmönvaihtimen jälkeen suolavesi (merivesi) johdetaan suuttimien kautta ensimmäiseen vaiheeseen, jossa pidetään hieman tulevan veden höyrystymispistettä alhaisempi paine ja saadaan aikaan vapaa kiehuminen. Muodostunut höyry lauhtuu vaihetilan yläosassa olevan putkiston pinnalla samalla luovuttaen lämpöä putkissa kiertävään meriveteen. Höyrystä muodostuva tisle kerätään vesikouruun. Ensimmäisessä vaiheessa höyrystyy pieni osa tulevasta suolavedestä samalla lisäten suolaveden suolapitoisuutta ja alentaen lämpötilaa. Suolavesi virtaa edelleen seuraavaan vaiheeseen, jossa tapahtuu sama prosessi hieman alemmassa paineessa. Viimeisessä vaiheessa höyryn lauhdutusputkiin tuleva merivesi on laitoksen ulkopuolelta tulevaa merivettä, joka lämpenee ja osaksi syötetään vaiheen alaosaan tulevaan suolaveteen. Kierrätysperiaatteella toimivassa MSF-laitoksessa osa viimeisen vaiheen suolavedestä poistetaan ja osa kierrätetään takaisin prosessiin lämmöntalteenotto-putkiston kautta.





Kuva 4. MSF-BR-laitoksen toimintakaavio.

Once through -periaatteella toimivassa prosessissa tuleva merivesi kiertää putkistossa viimeisestä vaiheesta ensimmäiseen samalla lämmiten ja lauhduttaen kunkin vaiheen höyryä. Lämmönvaihtimissa meriveden lämpötilaa nostetaan ja vesi johdetaan vaiheisiin höyrystymistä varten. Viimeisessä vaiheessa suolavesivirta johdetaan pois laitoksesta.

Kertakiertoratkaisussa on seuraavia etuja kierrätysperiaatteeseen verrattuna:

- korkein mahdollinen toimintalämpötila alemman konsentraation vuoksi kaikissa vaiheissa ja siten alempi kiehumispistekohoama
- pienempi lämmönsiirtopinta-ala
- vähemmän pumppuja
- helpompi kaasujenpoisto
- helppokäyttöinen
- Poistuvan suolaveden TDS-pitoisuus on 10–15 % korkeampi kuin meriveden TDS-pitoisuus, kun puolestaan kierrätystyyppisessä laitoksessa poistuvan suolaveden TDS-pitoisuus on 50–100 % korkeampi kuin meriveden.

MSF-laitoksissa ylin toimintalämpötila voi olla aina 118 °C, mutta esimerkiksi Arabian niemimaalla lämpötila on rajoitettu 112 °C:seen. Talviolosuhteissa käytetään raakaveden esilämmitystä, mutta suuntauksena on välttää sen vaatimaa ylimääräistä lämmönsiirintä.

Raakavedestä poistetaan kaasut yleensä lämmönluovutusvaiheessa, ja raakavesi käsitellään polyelektrolyyteillä kattilakiven ja muiden kerrostumien estämiseksi. Natriumbikarbonaattia käytetään hapen ja jäännöskloridien poistoon.

Lämmönvaihtimien putkille muodostuvaa kattilakiveä ja likaantumista pienennetään puhdistussienipallojen avulla, joita voidaan kierrättää laitoksen toiminnan aikana. Lisäaineiden ja puhdistuspallojen avulla voidaan päästä parin vuoden jaksoihin happopesujen välillä.

Kaasujen poisto tapahtuu höyryejektoreiden ja niihin liitettyjen lauhduttimien avulla. Poistettavan kaasun määrään voidaan vaikuttaa alentamalla suolaveden maksimilämpötilaa ja virtausnopeutta.

### **3.2.4 Tislauslaitteiden tyypit**

MSF-laitoksissa vaiheiden lauhduttimet ovat normaalista ristikkäisiä putkiriviä ja pituussuuntaisia käytetään vain poikkeustapauksessa. Vaiheet tehdään enimmäkseen yhtenä kerroksena aiemman kahteen kerrokseen rakentamisen sijasta.

MED-laitokset, samoin kuin ejektorilla tai kompressorilla varustetut MED laitokset, on tavallisesti rakennettu ympyränmuotoisen vaipan sisään. Lauhdutusputket, joille höyrystettävä raakavesi suihkutetaan, ovat tavallisesti vaakasuuntaisia putkia. Pystysuuntaista rakennetta käytetään hyvin harvoin.

#### **Yleisrakenne, MED**

Tislauslaitoksen sylinterimuotoisen vaipan halkaisija on yleensä kuusi metriä tai enemmän. Vaippa muodostaa yhtenäisen sylinterin. Koska lämpötilaero kussakin vaiheessa höyrystettävän veden ja lämpöä luovuttavan höyryn välillä on hyvin pieni, putkien seinämä voi olla hyvin ohut. Jos putket on valssaamalla kiinnitetty päätylevyyn, on levyn vahvuus noin 20 mm. Muunlaista liitosta käytettäessä levyn vahvuus voi olla vain 5 mm. Myös putkien tukilevyt ovat hyvin ohuita. Eräs laitevalmistaja, Alfa Laval, käyttää levylämmönsiirrintä, jonka materiaali on titaania.

Vesisumun erottimina käytetään vaaka- tai pystysuoraan asennettuja levysiivekkeitä tai vaakasuuntaista lankasihtiä. Merivesi sumutetaan putkien päälle suuttimien tai rei'itetyn levyn läpi.

MED-laitos on tavallisesti varusteltu niin, että se voidaan käynnistää, käyttää laajalla teholla (40–100 %) ja ajaa alas täysin automaattisesti. Laitoksen käyttö voi tapahtua parhaimmillaan lähes ilman miehitystä.

## Yleisrakenne, MSF

Tislausosat ovat suorakulmaisen muotoisia, ja niiden leveys voi olla aina 25 metriä. Rajoittavana tekijänä on tehdasvalmisteisten putkien pituus. Toistaiseksi suurin leveys on Taweelah B -laitoksella Saudi Arabiassa, 19,2 m. Tislauslaitoksen pituus voi olla sataakin metriä. Tisleen ja suolaveden siirtyminen vaiheiden välillä tapahtuu kuristuslevyjen kautta. Vesisumu poistetaan tavallisesti lankasihdin avulla. Myös MSF-laitosta voidaan käyttää automaattisesti ja pienellä miehityksellä.

## Materiaalit, yleistä

Taulukossa 17 arvioidaan yleisesti eri materiaalien ominaisuuksia ja soveltuvuutta meriveden tislauslaitokseen (Legorreta et al. 1999).

*Taulukko 17. Suolanpoistolaitosten materiaalit ja niiden soveltuvuus.*

Materiaali	Sopivuus suolanpoistolaitokseen
Hiiliteräs	Sopii huonosti, nopea yleiskorroosio
Alumiini AIMG 3.5	Piste- ja rakokorroosiota, jos vedessä rautaa. Lisäksi herkkä yleiskorroosiolle. Seostamattoman alumiinin kesto aika noin 5 vuotta, sinkkipäällysteisen noin 7 vuotta.
Alumiinipronssi	Hyvä yleis- ja rakokorroosion kesto, virtausnopeus lisää korroosioriskiä
SIS, AISI 316 L	Eriomainen yleiskorroosion kestävyys, ei herkkä virtausnopeudelle, mutta herkkyyttä piste- ja rakokorroosiolle.
SIS, 20Cr/18 Ni/6 Mo	Parempi kuin 316 L erityisesti piste- ja rakokorroosiota vastaan.
Duplex SS	Parempi kuin 316 L erityisesti piste- ja rakokorroosiota vastaan.
Cu/Ni, 90/10	Erinomainen yleiskorroosion kestävyys, herkkyyttä veden nopeudelle ja veden saasteille
Cu/Ni 70/30	Erinomainen yleiskorroosion kestävyys, herkkyyttä veden nopeudelle ja veden saasteille
Cu/ni 70/30+Fe/Mn	Erinomainen yleiskorroosion kestävyys, herkkyyttä veden nopeudelle ja veden saasteille
Titaani	Erinomainen korroosionkestävyys monenlaisissa olosuhteissa

## Materiaalit, MED

MED-laitoksen vaippa, lauhdutinputkien päätylevyt ja tukilevyt tehdään ruostumattomasta teräksestä (SS) tyypiltään 316L tai duplex-teräksestä. Vain harvat laitetoimittajat käyttävät maalattua tai muuten pinnoitettua hiiliterästä vaippalevynä. Korkeampiasteisia ruostumattomia teräksiä tai muita materiaaleja käytetään vain poikkeustapauksissa. Austeniittista terästä 316L voidaan käyttää, koska toimintalämpötila on matala ja ilma poistetaan välittömästi veden tultua höyrystimeen.

Höyrystin- ja lauhdutinputket ovat erilaisista materiaaleista toimittajista ja tapauksesta riippuen. Alumiini-pronssi- tai kupari-nikkeliseoksia käytetään usein. Mutta myös titaani valitaan yhä useimmin materiaaliksi. Eräs toimittaja käyttää korkeasti seostettua ruostumatonta terästä (SS 1.4565), jolloin putken seinämä on vain 0,3 mm, ja eräs toinen toimittaja on erikoistunut alumiiniputkien käyttöön. Voidaan tehdä myös niin, että ylimmät putket, joihin merivesi suihkutetaan suurella nopeudella, ovat korroosion estämiseksi titaanista ja alemmat ovat SS-terästä. Meriveden lämmittimen lämmönvaihtimen kuori on tavallisesti SS-316L-terästä ja putket ovat titaania. Kosteudenerotussivекkeet ovat normaalisti polypropyleenia ja lankasihti on 316L:stä. Alhaisista lämpötiloista johtuen meriveden, suolaveden ja tisleen putkitus on GRP-materiaalia. Ejektorin puolestaan on useimmiten ruostumatonta 316L-terästä.

### **Materiaalit, MSF**

MSF-laitoksissa on suuntauksena, että sekä ilmanpoistetun että ilmaa sisältävän meriveden kanssa kosketuksessa olevat osat tehdään seostetusta materiaalista eikä maalatusta tai muutoin päällystetystä hiiliteräksestä. Tislauslaitoksen vaippa rakennetaan yleisimmin hiiliteräksestä, joka vuorataan ruostumattomalla 316L-levyllä vesisumunerottimen alapuolella ja 304L-levyllä erottimen yläpuolella. Ruostumatonta Duplex-terästä käytetään myös jossain määrin vaipan materiaalina. Kuparia sisältäviä seosmetalleja käytetään enintään harvemmin liuenneen kuparin ympäristölle aiheuttamien ongelmien vuoksi.

Ruostumattomasta teräksestä 316L tai duplex-materiaalista tehdyt osat pitää huuhdella vedellä laitoksen seisontajakson aikana korroosiovaaran vuoksi. Lisäksi austeniittinen ruostumaton teräs pitää maalata ulkopinnaltaan jännitys- ja rakokorroosion estämiseksi. Duplex-tyyppinen materiaali ei sen sijaan vaadi ulkopinnan maalausta.

Lämmönluovutusvaiheessa olevat lauhdutinputket ovat yleisesti titaania, kun puolestaan lämmöntalteenottovaiheissa olevat putket ovat alumiinipronssia, 90/10 tai 70/30 kupari-nikkeliseosmateriaalia tai titaania. Alumiinipronssia ei kuitenkaan käytetä 2–3 ensimmäisessä vaiheessa kaasujen vuoksi. Putkien päätylevyt on tehty kuparinikkelistä tai pronssista sekä vedenkeräyslaatikot kuparinikkelillä vuoratusta hiiliteräksestä.

### **Käytettävyys**

Tislauslaitosten käytettävyys riippuu laitteiston laadusta ja käytön ja ylläpidon laadusta sekä henkilökunnan ammattitaidosta. Hyvänä tislauslaitosten käytettävyytenä voidaan pitää 90 %:a tai teollistuneissa maissa ylikin 90 %:a. Tislauslaitoksissa käytettävyyttä laskevat lähinnä alasajot, sen sijaan tuoton alentumista esimerkiksi vaikeiden olosuhteiden aikana (lämpötilat, suolapitoisuus) ei merkittävästi tapahdu.

Sienipallopuhdistuksen ansiosta MSF-laitoksen lämmönsiirtopintoja pitää puhdistaa varsin harvoin. MED-laitoksessa puhdistustarvetta on pari kertaa vuodessa.

### **Investoinnit**

Suolanpoistolaitosten investointikustannusten vertailu on vaikeaa, koska investoinnit riippuvat projektin laajuudesta, laitoksen laatutasosta ja paikallisista olosuhteista. Arabian niemimaalla vastikään toteutettujen laitosten hinnat olivat seuraavat: MSF-laitos Jebel Al K -projektissa on kapasiteetiltaan 90 800 m<sup>3</sup>/d ja muodostuu kahdesta 45 400 m<sup>3</sup>/d:n yksiköstä ja MED-laitos Abu Dhabin UANW -projektissa on kahdesta 15 900 m<sup>3</sup>/d:n yksiköstä muodostuva laitos eli yhteensä 31 800 m<sup>3</sup>/d. MSF-laitoksella on alemmat investoinnit, noin 1 100 \$/m<sup>3</sup>, kun MED-laitoksen investoinnit ovat 1 300 \$/m<sup>3</sup>/d.

### **Näkymät**

Tislaukseen perustuvat suolanpoiston prosessit säilyttävät valta-aseman meriveden tislauksessa erityisesti, jos on mahdollista yhteistuotanto sähkön kanssa tai jätelämmön käyttö tai, jos tarvitaan erityisen puhdasta vettä. Lisäksi edelleen on tuotekehitysmahdollisuuksia laitosten kilpailukyvyyn kehittämiseksi, esimerkiksi ME-TVC-laitoksen materiaalien, lämmönsiirtoputkien seinämänvahvuuden pienentämisen noin 0,1 mm:iin ja laitokseen suurentamisen kautta.

## **3.3 Laitostilastot**

Suolanpoistolaitosten rakentamiseen liittyvät tilastotiedot kerätään ja julkaistaan joka toinen vuosi kansainvälisen suolanpoistojärjestön (IDAn) toimesta (Wangnick 2000a). Suolanpoistolaitoksissa, joiden kapasiteetti on yli 100 m<sup>3</sup>/d, on viime vuosina rakennettu 1,3–1,4 milj.m<sup>3</sup>/d:n verran vuosittain (kuva 5). Rakentaminen vaihtelee vuosittain, mutta lievää kasvua on havaittavissa kuvan perusteella parin vuosikymmenen aikana. Toisena piirteenä rakentamisessa on ollut RO-laitosten läpimurto, mikä kuvassa näkyy muiden kuin termistä prosessia käyttävien laitosten kapasiteetin kasvuna. Termiseen prosessiin perustuvien laitosten rakentaminen oli vuosina 1977–1999 0,35–0,50 milj.m<sup>3</sup>/d vuosittain.

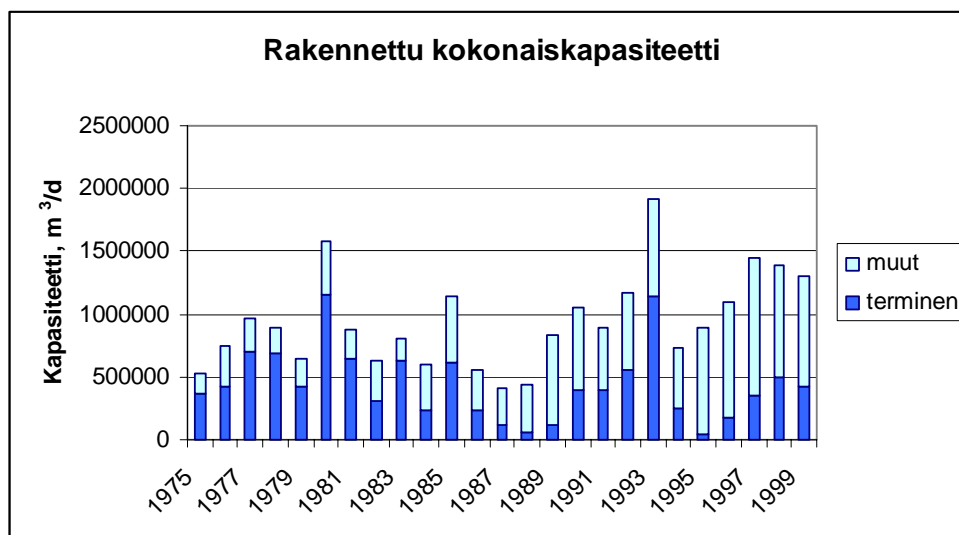
Pelkästään meriveden suolanpoistoa varten rakennettujen laitosten rakentamismäärät esitetään kuvassa 6. Vuonna 1999 rakentamismäärä oli 0,84 milj.m<sup>3</sup>/d. Tästä määrästä termisten prosessien osuus oli 0,42 milj.m<sup>3</sup>/d eli noin puolet. RO-laitosten rakentamisen kasvu erottuu selvästi trendinä 1990-luvulla.

Verrattaessa keskenään raakavesilähteitä todetaan kuvien mukaisesti, että meriveden osuus on kolmen viime vuoden aikana ollut suhteellisesti ja absoluuttisesti kasvussa, kun kokonaiskapasiteetti on puolestaan ollut lievästi alenemassa.

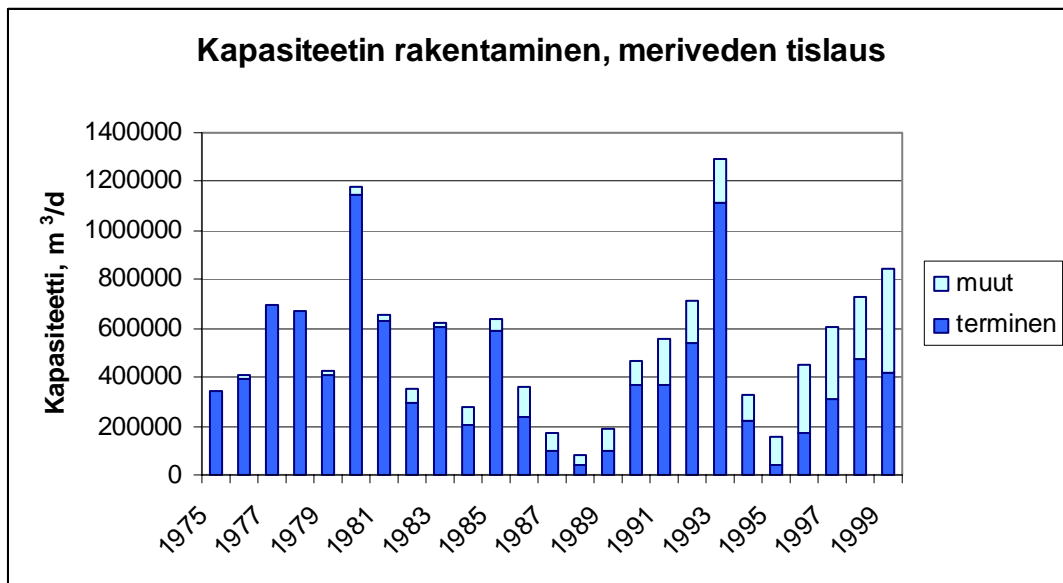
Liitteessä A esitetään maanosittain suolanpoistolaitosten rakentaminen eriteltynä termisiin ja muihin prosesseihin. Alueellisesti eniten suolanpoistokapasiteettia on Keski-idässä. Keski-idällä tarkoitetaan seuraavia maita: Bahrain, Iran, Irak, Israel, Jordania, Kuwait, Libanon, Oman, Palestiina, Qatar, Saudi-Arabia, Syyria, Yhdistyneet Arabiemiraatit (UEA) ja Jemen. Tällä alueella rakennettiin uutta kapasiteettia vuosina 1990–1999 keskimäärin 443 500 m<sup>3</sup>/d vuosittain, mistä keskimäärin 328 600 m<sup>3</sup>/d oli termiseen prosessiin perustuvaa. Koko maapallolla vastaavat rakentamisluvut olivat vastaavana ajanjaksona 1,190 milj.m<sup>3</sup>/d ja 422 400 m<sup>3</sup>/d vuosittain. Prosentteina Keski-idän osuus oli siten 37 % kokonaiskapasiteetista ja 78 % termisiin prosesseihin perustuvasta tuotantokapasiteetista.

Pohjois-Amerikassa keskimääräinen vuotuinen rakentamiskapasiteetti oli vuosina 1990–1999 noin 254 000 m<sup>3</sup>/d, ja tästä määrästä vajaat 5 % oli termisiä laitoksia. Euroopassa vuotuinen rakentamismäärä oli 205 000 m<sup>3</sup>/d, josta 29 000 m<sup>3</sup>/d oli termisiä laitoksia. Aasiassa rakennettiin vuosittain 191 000 m<sup>3</sup>/d, josta yli 10 % oli termisiä laitoksia. Seuraavilla sijoilla olivat Afrikka, Keski-Amerikka ja Australia.

Maittain tarkasteltuna merivettä käyttäviä suolanpoistolaitoksia rakennettiin vuosina 1990–1999 eniten Yhdistyneissä Arabiemiraateissa (UAE), jossa vuosivauhti oli 150 000 m<sup>3</sup>/d (kuva 7). Sadan tuhannen rajan ylittää myös Saudi-Arabia. Espanjan rakentamismäärä on ollut 68 000 m<sup>3</sup>/d vuodessa. Jos tarkastellaan kokonaiskapasiteetin rakentamista (kaikki raakavesityypit), on Yhdysvallat kärkisijalla 249 000 m<sup>3</sup>/d:n kapasiteetilla. Saudi-Arabia on toisena (174 000 m<sup>3</sup>/d) ja UAE kolmantena (160 000 m<sup>3</sup>/d). Laajemmin kokonaisrakentaminen maittain esitetään liitteessä B.



Kuva 5. Suolanpoistolaitosten rakentaminen maailmanlaajuisesti ja kapasiteetin jakautuminen termisen prosessin ja muiden prosessien kesken.



Kuva 6. Meriveden suolanpoistolaitosten rakentaminen ja kapasiteetin jakautuminen terminen prosessin ja muiden prosessien kesken.



*Kuva 7. Merivettä käyttävien suolanpoistolaitosten vuosittainen rakentamisvauhti vuosina 1990–1999 eri maissa suuruusjärjestyksessä kapasiteetin mukaan.*



### 3.4 Laitetoimittajat

Suolanpoistolaitosten laitoimittajat esitetään taulukoissa 18–21 (Wangnick 2000a). Termisiä prosesseja käyttävien laitosten toimittajat vuosina 1990–1999 ME-laitosten osalta esitetään taulukossa 18, VC-laitosten osalta taulukossa 19 ja MSF-laitosten osalta taulukossa 20. Merkittävimmät RO-laitosten laitoimittajat esitetään taulukossa 21. Liitteessä C on täydellisempi luettelo RO-laitetoimittajista.

ME-laitoksien toimittajista kärkisijalla on israelilainen, valtion omistama IDE (IDE technologies LTD). Se on toimittanut kymmenen vuoden aikana 11 laitosta, joiden kokonaiskapasiteetti on 130 000 m<sup>3</sup>/d. Laitosyksiköiden aritmeettinen keskikoko on 8 000 m<sup>3</sup>/d. IDE toimittaa hyvällä kaupallisella potentiaalilla myös VC-suolanpoistolaitoksia (noin 10 000 m<sup>3</sup>/d vuosittain). RO-laitoksien toimittajana IDE ei asetu kärkisijoille.

Jonkinlainen markkina-asema ME-laitosten toimittajana on kapasiteetin perusteella VA TECH WABAG -yrityksellä, joka on muodostunut Deutsche Babcock AG:n ja VA Technologie AG:n yhdistymisen myötä. Yhtiön pääpaikka on Itävallassa, mutta laajasta vesihuoltoalan toiminnastaan johtuen sillä on toimipisteitä ja tuotantolaitoksia ympäri maapalloa. Lukumääräisesti enemmän laitoksia on toimittanut Tanskassa pääpaikkaa pitävä Alfa Laval Desalt A/D. Sen sekä ME- että VC-laitosten keskiarvokoko on 600–700 m<sup>3</sup>/d. Merkittäviä laitoimittajia ovat myös ranskalainen SIDEM ja pari amerikkalaista yritystä.

*Taulukko 18. ME laitosten toimittajat vuosina 1990–1999.*

Laitetoimittaja	Kapasiteetti m <sup>3</sup> /d	Yksiköt lkm	Yksikkökoko* m <sup>3</sup> /d	Laitokset lkm
IDE, IL	128 976	16	8 061	11
VATECH WABAG, A	27 360	4	6 840	2
USSR, SU	20 400	3	6 800	2
SIDEM, F	14 400	4	3 600	3
ALFA LAVAL, DK	12 432	19	654	16
IONICS RCC, USA	11 440	2	5 720	2
AQUA CHEM, USA	7 984	3	2 661	3
AMBIENT, USA	7 570	2	3 785	1
WEIRWESTGARTH, UK	3 000	3	1 000	3
USF ARABIA, KS	1 400	1	1 400	1
SOWIT, I	1 200	2	600	1
AQUAGEN, USA	1 000	2	500	2
CADAGUA/PRIDES, A	800	1	800	1
BALCKE DUERR, D	385	3	128	2

\* laskennallinen keskiarvo

Taulukko 19. VC (vapor compression, mechanical or thermal) -laitosten toimittajat 1990–1999.

Laitetoimittaja	Kapasiteetti m <sup>3</sup> /d	Yksiköt lkm	Yksikkökoko* m <sup>3</sup> /d	Laitokset lkm
SIDEM, F	366 734	83	4 418	46
IDE, IL	89 868	65	1 383	50
IONICS RCC, USA	86 245	64	1 348	40
WEIRWESTGARTH, UK	79 820	30	2 661	18
SASAKURA, J	73 802	31	2 381	18
AQUA CHEM, USA	24 090	17	1 417	12
AMBIENT, USA	17 160	10	1 716	8
ALFA LAVAL, DK	15 251	21	726	17
VATECH WABAG, A	13 270	12	1 106	8
DELTA, NL	3 600	3	1 200	1
HADWACO, SF	2 484	2	1 242	2
MANUFACTURER, A	2 050	3	683	2
TERMOMECCANIC, I	1 500	3	500	2
SOWIT, I	1 400	1	1 400	1
BALCKE DUERR, D	615	2	308	2
SWS, I	600	2	300	1
SERCK COMO, D	192	1	192	1
ADTECH, USA	189	1	189	1

\* laskennallinen keskiarvo

Perinteistä teknologiaa edustavan MSF-laitosten laitevalmistajien kärkipäässä on puolet Kaukoidän maista, lähinnä Koreasta ja Japanista. Eurooppalaisista yrityksistä listoilla ovat mm italialainen FISIA ja isobritannialainen WEIRWESTGARTH. MSF-laitokset ovat tavallisesti kapasiteetiltaan suuria, ja kärkisijoja pitävät yritykset ovat valmistaneet niitä kymmenen vuoden aikana vain muutamia. Tilaston mukaan on kuitenkin rakennettu myös pieniä MSF-laitoksia, kapasiteetiltaan muutamia satoja m<sup>3</sup>:jä/d.

Taulukko 20. MSF-laitosten toimittajat 1990–1997.

Laitetoimittaja	Kapasiteetti m <sup>3</sup> /d	Yksiköt lkm	Yksikkökoko m <sup>3</sup> /d	Laitokset lkm
HANJUNG, ROK	681 000	14	48 643	2
FISIA, I	637 000	15	42 467	5
WEIRWESTGARTH, UK	454 582	14	32 470	3
HITACHI ZOSEN, J	453 380	14	32 384	5
SNAM PROGETTI, I	162 000	7	23 143	2
ANSALDO, I	150 440	7	21 491	4
*Unknown	120 000	4	30 000	1
HYUNDAI, ROK	118 000	6	19 667	3
MHI/SASAKURA, J	109 104	4	27 276	1
SOWIT, I	47 010	16	2 938	9
MITSUI, J	45 880	4	11 470	3
AQUA CHEM, USA	45 809	20	2 290	11
SIDEM, F	37 800	2	18 900	2
SASAKURA, J	31 930	26	1 228	16
BABCOCK HIT., J	22 000	5	4 400	2
FANTUZZI REGGI, A	21 520	3	7 173	2
BHABHA RESEAR, CH	10 300	2	5 150	2
CHINA , CHN	10 000	2	5 000	1
BOSCO, I	6 744	2	3 372	2
MANUFACTURER, A	1 230	2	615	1
VATECH WABAG, A	840	1	840	1
SERCK COMO, D	700	1	700	1
ATLANTIS, CH	690	4	173	3
BEAIRD IND, USA	454	2	227	1

RO-laitosten toimittamisessa markkinajohtajia ovat yhdysvaltalaiset ja japanilaiset yritykset ja eurooppalainen yritys löytyy sijalta 12 (espanjalainen CADAGUA).

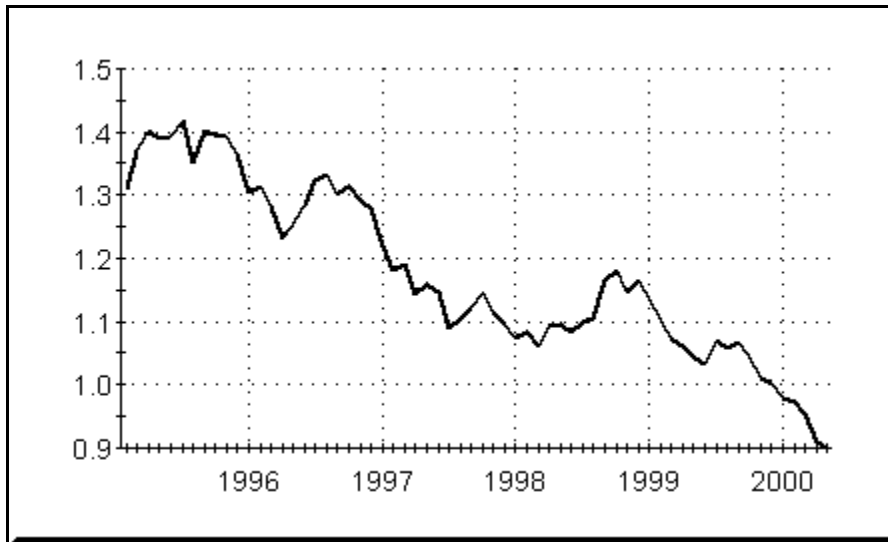
Taulukko 21. RO-laitosten toimittajat (suurimmat) 1990–1999.

Laitetoimittaja	Kapasiteetti m <sup>3</sup> /d	Yksiköt lkm	Yksikkökoko m <sup>3</sup> /d	Laitokset lkm
IONICS, USA	597 774	444	1 346	276
KURITA, J	355 864	239	1 489	158
USFILTER, USA	304 045	149	2 041	125
NOMURA, J	285 880	228	1 254	161
EMCO, USA	257 990	44	5 863	14
DEGREMON, F	244 574	79	3 096	30
mitsubishi, J	193 500	37	5 230	11
ADVANCED ES, USA	164 396	29	5 669	9
USF ARABIA, KS	160 961	338	476	262
HYDRANAUTICS, USA	154 260	30	5 142	9
HYDROPRO, USA	145 469	47	3 095	30
CADAGUA, E	136 155	29	4 695	12
CAMP DRESSER, US	135 000	15	9 000	1
PRIDESA PASA, E	134 620	54	2 493	32
METITO GROUP, UA	126 347	184	687	105
CHRIST, CH	121 980	116	1 052	45
ABENGOA/PRIDES, A	115 000	16	7 188	2
HANJUNG, ROK	111 680	6	18 613	2
PREUSSAG, D	109 699	25	4 388	9
ORGANO, J	108 114	106	1 020	82
TEDAGUA, E	106 890	69	1 549	51
WATER&POWER, USA	95 455	51	1 872	47
AES, USA	94 286	33	2 857	17
USF CULLIGAN, US	94 084	10	9 408	4
WEIRWESTGARTH, UK	85 592	76	1 126	27
CULLIGAN, I	75 779	128	592	112
ZENON, CDN	70 700	19	3 721	14
ACWA, UK	69 172	49	1 412	26

## 4. Suolanpoiston kustannukset ja rahoitus

### 4.1 Kustannukset eri selvitysten mukaan

Raportissa on käytetty rahayksikkönä US-dollaria. Sen suhde euroon on muuttunut viime vuosina voimakkaasti (kuva 8) (BOSS 2000), mikä on huomioitava hintavertailuja tehtäessä.



Kuva 8. Euron arvo US-dollareina.

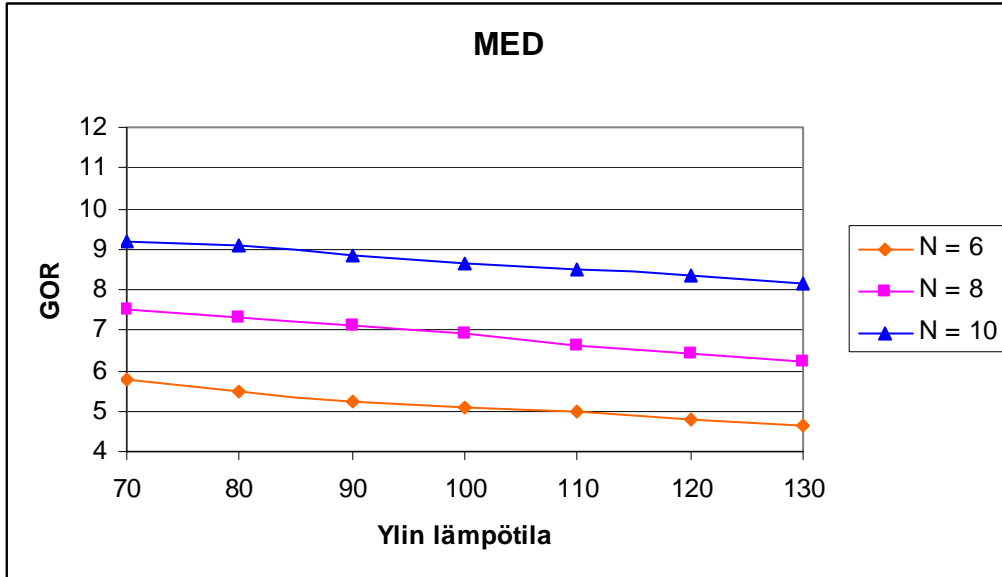
#### 4.1.1 Viite 1

Lähteenä käytettiin raporttia: IEA – Greenhouse Gas R&D programme, Multiple products with CO<sub>2</sub> capture: Power & thermal energy.

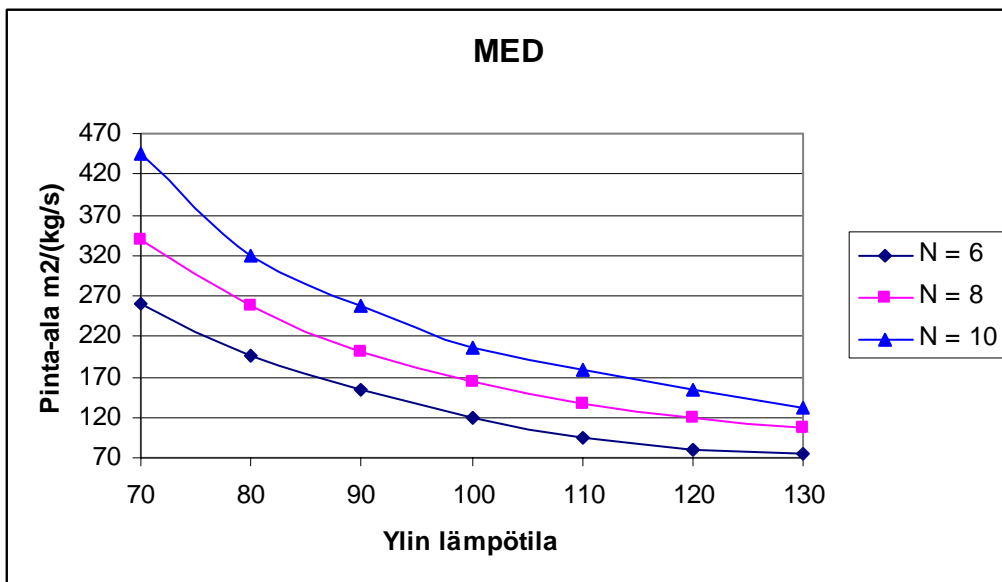
Selvityksessä tarkasteltiin erilaisia yhteistuotantomuotoja, joista yhtenä on sähkön ja veden yhteistuotanto. MSF- ja MED-laitoksia arvioitiin kustannusten osalta yhden kokoluokan tapauksessa, mutta laitosten toimintaparametreja tarkasteltiin eri kokoluokissa sekä kirjallisuuden että simulointimallilla tehtyjen laskelmien perusteella.

Seuraavassa esitetään ensiksi eräitä simuloinnin tuloksia. Kuvassa 9 on MED-laitoksen GOR-arvo laitokseen tuotavan höyryn lämpötilan funktiona käyttäen erilaisia vaihemääriä. MED-laitoksen investointikustannusten indikoimiseksi laskettiin lämmönsiirtimien pinta-alan tarve (vedentuotantoa kohti) eri vaiheiden määrällä ja maksimilämpötilan funktiona (kuva 10). Vaiheiden lukumäärän kasvattaminen lisää yksikkökustannuksia (hinta/tuotto), mutta vaiheita lisäämällä voidaan alentaa energiakustannuksia. Lämpötila vaikuttaa voimakkaasti myös pinta-alan tarpeeseen. Käytännössä kuvassa olevia ylimpiä lämpötiloja ei suositella kattilakiven ja korroosion muodostumisen vuoksi.

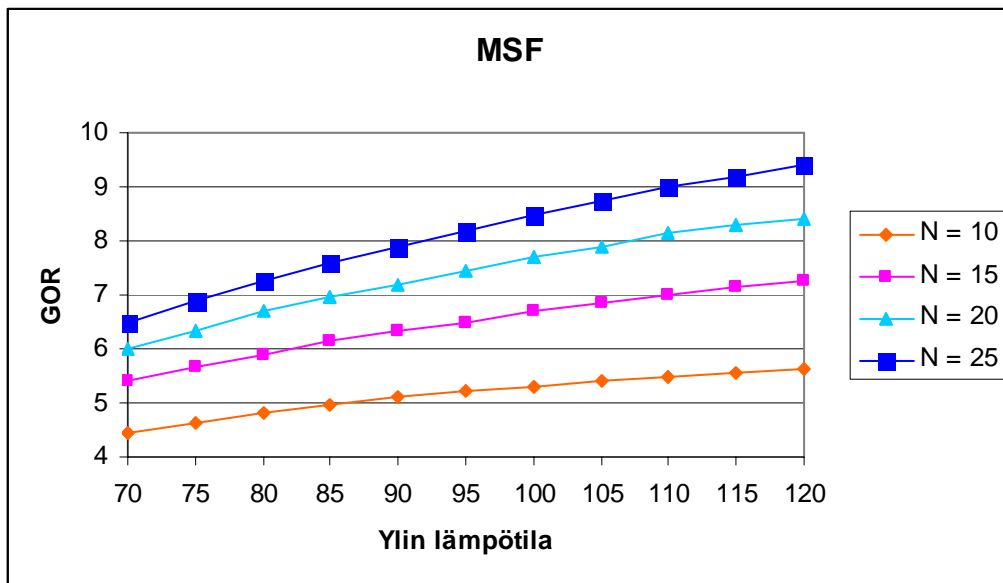
Vastaavat kuvat esitetään MSF-laitoksesta (kuvat 11 ja 12). Todetaan, että pinta-alan tarve MSF-laitoksella on suurempi kuin MED-laitoksella ja että tuotavan lämmön lämpötilan noustessa GOR-arvo kasvaa, kun se MED-laitoksella alenee.



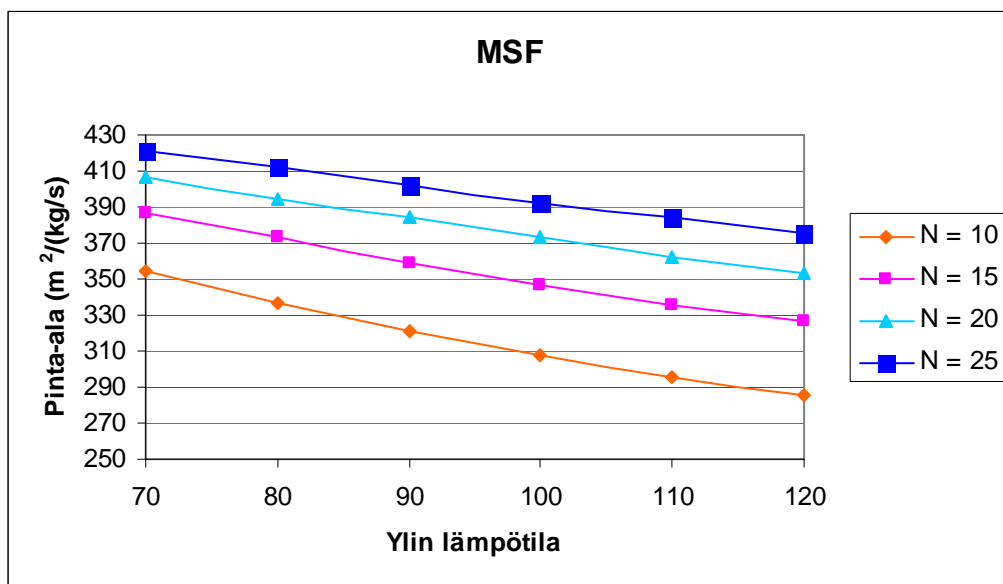
Kuva 9. Ylimmän lämpötilan ja vaiheiden lukumäärän vaikutus lämmön ominaiskulutukseen MED-laitoksessa.



Kuva 10. Ylimmän lämpötilan ja vaiheiden lukumäärän vaikutus investointikustannusparametriin MED-laitoksella.



Kuva 11. Ylimmän lämpötilan ja vaiheiden lukumäärän vaikutus lämmön ominaiskulutukseen MSF-laitoksella.



Kuva 12. Ylimmän lämpötilan ja vaiheiden lukumäärän vaikutus investointikustannusparametriin MSF-laitoksella.

Suolanpoistolaitosten teknillisessä vertailussa tarkastellaan 24 000 m<sup>3</sup>/d:n kokoisia tisluslaitoksia. Mainitun vesimäärän arvioidaan kattavan 50 000 asukkaan kaupungin vedentarpeen, jos keskimääräinen kulutus kaupungin alueella on 480 litraa asukasta kohden päivässä. Taulukossa 22 esitetään MSF- ja MED-laitosten toiminnalliset mitat.

Taulukko 22. Vertailulaitosten toiminta-arvot.

	Yksikkö	MSF	MED
Moduulien lukumäärä	kpl	1	5
Veden tuotto moduulia kohti	m <sup>3</sup> /d	1 000	208
Vaiheiden lukumäärä moduulissa	kpl	24	12
GOR (tisle määrä/höyry määrä)	kg/kg	8	10
Lämmöntuontihöyryn lämpötila	C	100	80
Kokonaistuotto	m <sup>3</sup> /h	1 000	1 040

Taulukon perusteella voidaan todeta, että MED-laitos käyttää selvästi vähemmän energiaa kuin MSF-laitos. GOR-arvon ja 100 °C:ssa olevan kylläisen höyryn energiasisällön perusteella tarvitaan MSF-laitoksessa 125 t/h höyryä eli 78 MW lämpöenergiaa tuottaamaan 1 000 tonnia vettä. MED-laitoksessa tarvitaan 80 °C:n höyryä 104 t/h, mikä vastaa 67 MW:n lämpöenergiämäärää, ja veden tuotto on 1 040 tonnia tunnissa. MSF-laitos käyttää energiaa siten 21 % enemmän kuin MED-laitos tai vastaavasti MED-laitos käyttää 17 % vähemmän lämpöenergiaa kuin MSF-laitos.

Raportissa arvioidaan jonkin verran tekniikkaa. Kattilakiven ja korroosion todetaan olevan hallinnassa, koska uudenaikaisissa MED-laitoksissa suolaveden ylin lämpötila on 60–70 °C ja niissä käytetään kalvohöyrytystä vanhemman, veteen upotettavien putkien-periaatteen sijasta. Happopesu suolahapolla tarvitaan pari kertaa vuodessa ja pesun kesto on 12 tuntia. Hapon tarpeeksi esitetään alle 1 tonnia 1 000 tonnin tuotantokapasiteettia kohti.

Raportissa esitetään myös kustannusarvio 24 000 m<sup>3</sup>/d laitokselle (taulukko 23). Investointien arvioidaan olevan niinkin paljon kuin 56 MUSD eli 2 300 USD/(m<sup>3</sup>/d). Lisäksi todetaan, että yhteistuotannossa säästetään höyryturbiinin ja sähköjärjestelmän rakentamisessa yhteensä noin 29,2 MUSD.

Taulukko 23. Investointien kokonaiskustannukset.

	Investointikust. MUSD
Suolanpoistolaitos	45
Projektin johto	2,2
Engineering	4,5
EPC* contingency	4,5
Yhteensä	56

\* Engineering, procurement, construction



Käyttökustannuksista todetaan seuraavasti: Kemikaalikustannukset ovat pienet, noin 0,05 USD/m<sup>3</sup>, sähkön kulutus on 1,8 kWh/m<sup>3</sup> ja yksi henkilö tarvitaan käyttöhenkilökuntana eli käytännössä edellytetään neljän henkilön palkkaamista. Huoltokustannuksiksi arvioidaan vuosittain 2 % investoinneista. Laitoksen käytettävyydeksi esitetään 94–96 %.

#### 4.1.2 Viite 2

Tietolähde on: Narmine, H. Aly, Evaluation of water cost from seawater desalination in dual-purpose plants for potable water production and electricity. IWTC 99, Fourth international water technology conference, Alexandria, Egypt, 5–8 March 1999.

Tutkimuksessa selvitettiin suolanpoistetun veden hinnan muodostumista, kun tarvittava lämpö ja sähkö tuotetaan yhteistuotantolaitoksessa höyryturbogeneraattori-laitteistolla. Yhteisten energiakustannusten allokoinnissa on käytetty exergiaperiaatetta. Yhteistuotantolaitoksen sähkön nimellisteho on 80 MW ja vedentuotanto 35 000 m<sup>3</sup>/d. Suolanpoistolaitoksen tarvitsema höyry otetaan matalapaineturbiinin välilottona, turbiinin perässä on erillinen merivesilauhdutin. Tutkimuksessa tarkastellaan seuraavia suolanpoistovaihtoehtoja:

- tapaus 1: MSF-laitos, jossa TBT (top brine temperature) on 124 °C ja GOR on 11
- tapaus 2: MSF-laitos, jossa TBT on 90 °C ja GOR on 7
- tapaus 3: HT-MED-laitos, jossa TBT on 124 °C ja GOR 21
- tapaus 4: LT-MED-laitos, jossa TBT on 70 °C ja GOR on 11
- tapaus 5: RO-laitos.

Voimalaitoksen investointikustannuksiksi laskettiin 600 \$/MW, LT-MED-laitoksen kustannuksiksi 1 440 \$/(m<sup>3</sup>/d), HT-MED laitoksen 1 680 \$/(m<sup>3</sup>/d) ja RO-laitoksen 1 350 \$/(m<sup>3</sup>/d). MSF-laitoksen investointi lasketaan GOR- ja tuotto-parametrit sisältävällä kaavalla. Tässä yhteydessä on huomattava, että kustannukset edustavat vuotta 1997–1998.

Vedentuotantolaitoksen käyttöasteena käytetään laskelmissa 85 %:a, laitosten käyttöikä 20:tä vuotta, korkokantana 10 %:a, RO-laitoksen membraanien käyttöaika 5:tä vuotta ja öljyn hintana 18 \$/barreli.

Laitoksien tärkeimmät toimintaparametrit esitetään taulukossa 24 ja kustannusten muodostuminen taulukossa 25. Taulukkoon 24 on lisäyksenä laskettu alimmalle riville yhteistuotannossa menetetty sähkö kussakin vaihtoehdossa, ja taulukon 25 alimmalla rivillä ovat energiakustannukset, kun laskentaperiaatteena on yhteistuotannossa menetetty sähkö ja sähkön hintana on käytetty 0,05 \$:a/kWh.

Kuvassa 13 esitetään veden hinnan muodostuminen eri kustannusosista, ja kuvassa 14 on veden kokonaishinta verrattuna veden hintaan, jos ei olisi ollut yhteistuotantoa. Lisäksi taulukossa 25 esitetään veden hinnan energiakustannukset, jos laskennassa käytetään menetetyä sähkön periaatetta.

Vedentuotantolaitoksen investoinneista todetaan, että oheisrakentamisen kustannukset ovat 36–50 % varsinaisen suolanpoistolaitoksen kustannuksista. Edullisin veden hinta saavutetaan LT-MED-laitoksella ja HT-MED tuottaa suunnilleen samanhintaista vettä. Myös RO-laitoksen vesi on samassa hintaluokassa, mutta MSF-laitoksilla tuotettu vesi on jonkin verran kalliimpaa. Jos ei ole yhteistuotantoa, tulee RO:lla tuotettu vesi edullisimmaksi. Energian hinta on menetetyä ja kulutetun sähkön periaatteella laskettaessa noin 0,21 \$/m<sup>3</sup> MED-laitoksilla ja 0,30 \$/m<sup>3</sup> RO-laitoksella (kuva 15).

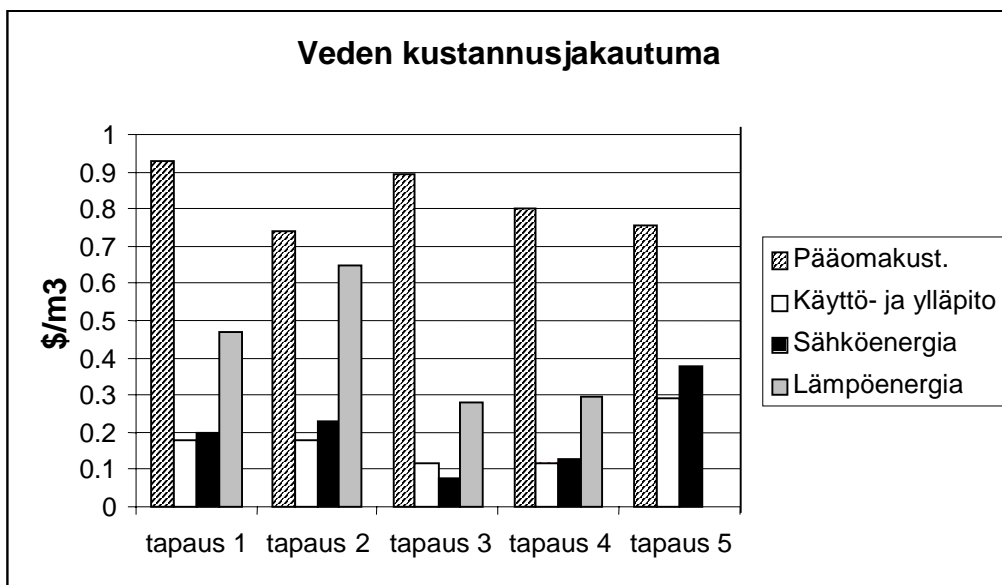
*Taulukko 24. Tarkasteltavien laitosten toiminta-arvot.*

	Yks.	Tapaukset				
		1	2	3	4	5
Suolanpoistolaitos						
Prosessityyppi		MSF	MSF	HT-MED	LT-MED	RO
Ylin suolaveden lämpötila	C	124	90	124	70	
GOR	–	11	7	21	11	
Vaiheiden lukumäärä	lkm	33	19	28	14	
Höyry laitokselle, määrä	kg/s	33,3	57,4	19,2	33,9	
paine	bar	2	0,95	2	0,44	
lämpötila	C	132	98	132	78	
entalpia	kJ/kg	2 736	2 630	2 736	2 520	
Lauhde laitokselta, entalpia	kJ/kg	505	411	505	327	
Laitoksen tuotto	m <sup>3</sup> /d	35 000	35 000	35 000	35 000	35 000
Lämpöenergian tarve	MW	74,3	127,3	42,4	74,3	
Sähköenergian tarve	MW	4,8	5,7	1,8	3,4	8,8
Voimalaitos						
Lämpöenergia turbogeneraattoriin	MW	233	233	233	233	233
Generaattoriteho	MW	68,2	64,6	73,1	73,7	79,6
Omakäyttöteho	MW	3,4	3,2	3,7	3,7	4,0
Nettosähkön teho	MW	64,8	61,4	69,4	70,0	75,6
Sähkäteho verkkoon	MW	60,0	55,7	67,7	66,7	66,9
Menetetty sähköteho *	MW	10,8	14,2	6,2	5,6	8,7

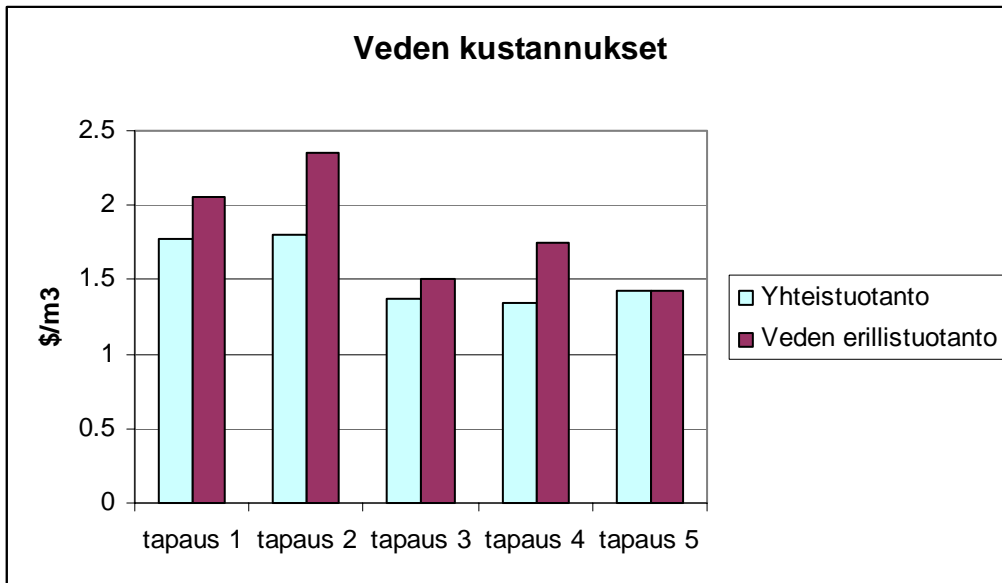
Taulukko 25. Tarkasteltavien laitosten kustannukset.

	Yks.	Tapaukset				
		1	2	3	4	5
Suolanpoistolaitos						
Prosessityyppi		MSF	MSF	HT-MED	LT-MED	RO
Laitoksen investoinnit	milj.\$	63,0	45,3	58,8	50,4	47,3
Meriveden tulo- ja poistoinvest.	milj.\$	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Varalämmönlähteen investoinnit	milj.\$	13,12	13,12	13,12	13,12	13,12
Käyttö ja ylläpitokustannukset	milj.\$/a	1,87	1,87	1,36	1,36	3,09
Voimalaitos						
Sähköntuotannon vuosikustann.	milj.\$/a	27,3	25,0	30,9	30,0	30,6
Sähkön tuotantokustannukset	\$/kWh	0,046	0,042	0,052	0,050	0,051
Vesi						
Tuotannon kokonaisvuosikust.	milj.\$/a	19,4	19,6	14,8	14,7	15,4
Veden hinta (exergiaperiaate)	\$/m <sup>3</sup>	1,79	1,80	1,37	1,35	1,42
Veden energiakustannus *	\$/m <sup>3</sup>	0,36	0,49	0,21	0,20	0,3

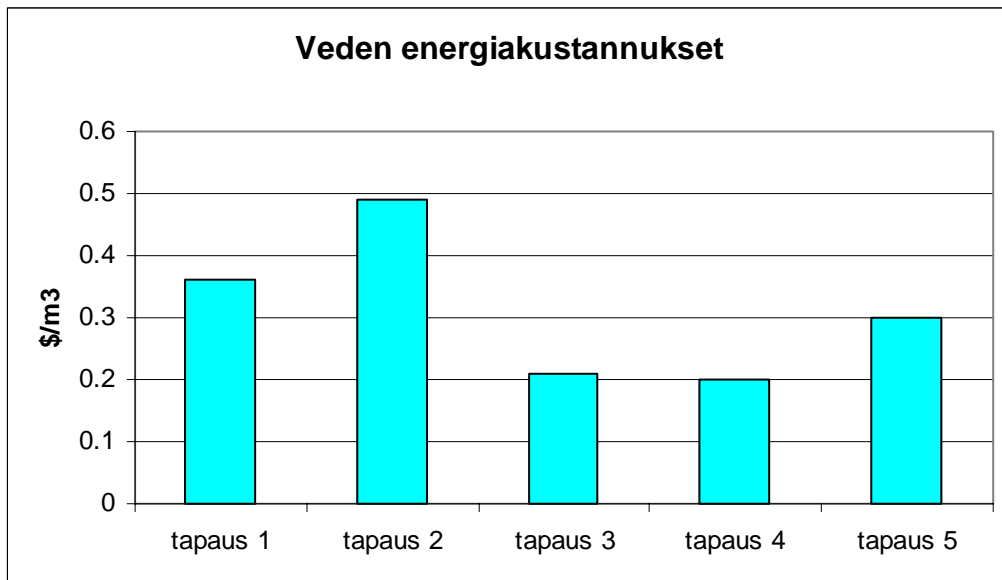
\* lisätty jälkepäin, laskettu menetetyin sähkön perusteella, h = 0,05 \$/kWh



Kuva 13. Veden hinnan muodostuminen exergiaperiaatteella tarkastellussa selvityksessä.



*Kuva 14. Veden kokonaishinta yhteis- ja omana tuotantona.*



*Kuva 15. Vedentuotannon energiakustannukset menetetyin sähkön periaatteella.*

### 4.1.3 Viite 3

Lähde: Kronenberg, G. & Dvornikov, V. Fuel Cost of Water in Dual Plants. IDA Catalog # CD003. Proc., IDA World Congress on Desalination and Water Reuse, San Diego. S. 285–298.

Tutkimuksen johdannossa todetaan energiakustannusten muodostavan 30–50 % käyttökustannuksista laitoksen maantieteellisestä sijainnista ja teknologiasta riippuen. Kirjoittajat pitävät kulutussuhteen (heat rate, kJ/kWh) määrittämistä oikeana tapana laskea suolanpoistossa käytetyn lämmön hinta yhteistuotantotapauksessa. Menetelmässä oletetaan kulutussuhteen alenemisen yhteistuotannossa indikoivan veden lämpöenergian kustannuksia. Selvityksessä todetaan tislausteknologioiden olevan seuraavissa rajoissa:

- MSF höyry 110 °C & 1,43 ata GOR 8–10
- HT-MED (horisontal tube) höyry 72 °C & 0,34 ata GOR 9–11
- VT-MED (vertical tube) höyry 110 °C & 1,43 ata GOR 20–23.

Tutkimuksessa tarkastellaan seuraavia tislauslaitoksia:

- MSF GOR = 10 kaupallisessa toiminnassa
- HT-MED GOR = 10 kaupallisessa toiminnassa
- VT-MED GOR = 22 R&D-vaiheessa.

Veden polttoainekustannukset höyryturbiinilaitoksen tapauksessa lasketaan kaavalla:

$$FCW = \frac{(E_1 - E_2) \cdot HR_1}{Q} \frac{CF}{P_w}, \quad (1)$$

missä

FCW (\$/m <sup>3</sup> )	on veden energiahinta
E <sub>1</sub> (kW)	sähköteho erillistuotannossa
E <sub>2</sub> (kW)	sähköteho yhteistuotannossa
HR <sub>1</sub> (kJ/kWh)	kulutussuhde erillistuotannossa
Q (kJ/kg)	polttoaineen lämpöarvo
CF	polttoainekustannukset: 0,12 \$/kg = 19 \$/bar (maakaasun hinta 0,1 \$/kg)
P <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /h)	veden tuotto.

Tislauslaitokselle otettavan höyryn kustannukset ovat vastaavasti:

$$SC = FCW \cdot ER, \quad (2)$$

missä

SC (\$/tonni höyryä) on höyryn hinta

ER = GOR.

Perinteisen höyryturbiinilaitoksen tapauksessa voimalaitoksen

- sähköteho on 58,7 MW
- kokonaishyötysuhde on 33 %
- polttoaine on raskas polttoöljy (maakaasu kombilaitoksella).

Tarkasteltavat yhteistuotantovaihtoehdot ovat:

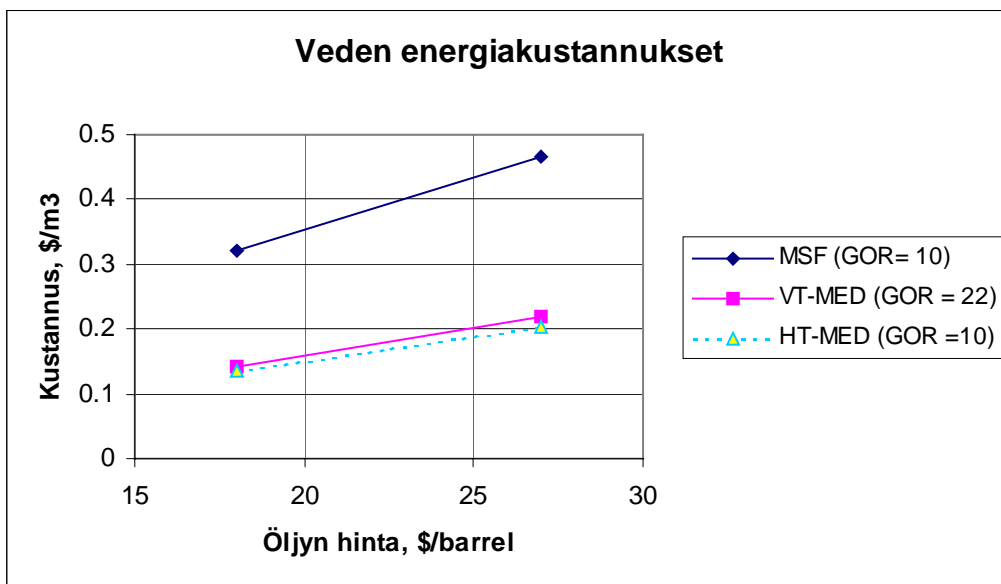
-höyryturbiini liitettynä HT-MED:hen	ht + HT-MED
-höyryturbiini liitettynä VT-MED:hen	ht + VT-MED
-höyryturbiini liitettynä MSF:ään	ht + MSF
-kombilaitos liitettynä HT-MED:hen	kombi + HT-MED
-kombilaitos liitettynä VT-MED:hen	kombi + VT-MED
-kombilaitos liitettynä MSF:ään	kombi + MSF.

Tulokset esitetään taulukossa 26.

*Taulukko 26. Veden energiakustannukset eri vaihtoehdoilla tarkasteltavan selvityksen mukaan.*

Vaihtoehto	Tislauslaitoksen koko, (m <sup>3</sup> /d)	Veden energiahinta \$/m <sup>3</sup>	Höyryn hinta \$/t
ht + HT-MED	39 500	0,139	1,36
ht + VT-MED	87 000	0,143	3,16
ht + MSF	39 500	0,316	3,16
kombi + HT-MED	23 000	0,050	0,50
kombi + VT-MED	50 000	0,049	1,06
kombi + MSF	23 000	0,106	1,06

Selvityksen mukaan veden energiakustannukset ovat MSF-laitoksella kaksinkertaiset MED-laitokseen verrattuna. Kehittelyvaiheessa oleva vertikaaliputkilla varustettu korkealämpötila-MED-laitos ei alenna veden energiahintaa perinteiseen matalalämpötila-MED-laitokseen verrattuna, mutta veden tuottomäärät ovat suurempia. Kuvassa 16 esitetään veden energiahinnan riippuvuus polttoainekustannuksista höyryturbiiniprosessin yhteydessä.



Kuva 16. Veden energiakustannukset (lämpö) yhteistuotannossa öljyn hinnan funktiona viitteen 3 mukaan.

#### 4.1.4 Viite 4

Lähde: IAEA 2000. Draft manual for desalination economic evaluation programme (DEEP). Version 2.0. IAEA-622-I3, Vienna. Limited distribution.

Tutkimuksessa kehitettiin laskentamalli suolanpoistolaitosten ja voimalaitosten teknis-taloudellista laskentaa varten. Mallin verifioimiseksi analysoitiin useita rakennettuja laitoksia, joista tiedot oli saatu erillisistä raporteista tai laitoksien esittelyistä.

#### MED-laitoksen toiminta-arvoja ja investointikustannuksia

Taulukossa 27 esitetään MED-laitosten analysoinnin tuloksia ja taulukossa 28 kehitetyn DEEP-mallin lähtö- ja simuloituja toiminta-arvoja. Kuvassa 17 yhdistetään DEEP-mallin tulokset ja analysoitujen laitosten toiminta-arvot esittämällä GOR-arvot tisluslaitoksen kokonaislämpötilaeron funktiona. Tekijät pitävät esitystapaa yleispäteväenä erilaisissa olosuhteissa toimivien laitoksien vertailemiseksi. Suolanpoistolaitoksen kus-

tannuskuvassa (kuva 18) investoinnin yksikkökustannus esitetään GOR:n funktiona. Kuvaajilla pyritään arvioimaan tulevaisuudessa rakennettavien laitosten kustannuksia, eivätkä käyrät korreloi kovin hyvin rakennettujen laitosten hintatietojen kanssa.

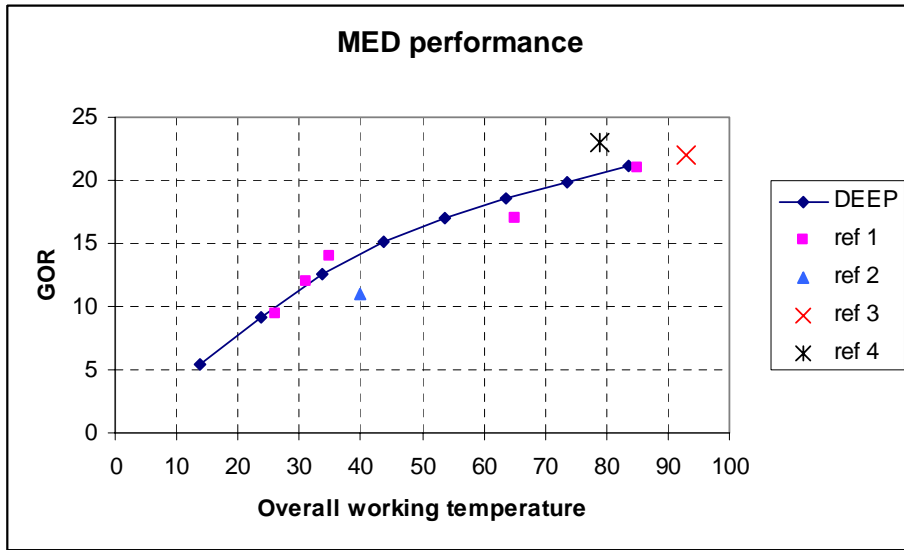
*Taulukko 27. Eri laitosten toiminta-arvoja.*

	ref 1	ref 1	ref 1	ref 1	ref 1	ref 1	ref 2	ref 3	ref 4
seawater temperature	30	30	30	30	30	30	25	20	16
maximum brine temperature	120	100	70	65	60	55	70	120	110
last effect steam temperature	36	36	35	35	35	35	30	27	31
overall working temperature	85	65	35	31	26	21	40	93	79
number of effects	28	23	18	15	12	9	17		30
GOR	21	17	14	12	9.5	7.5	11	22	23

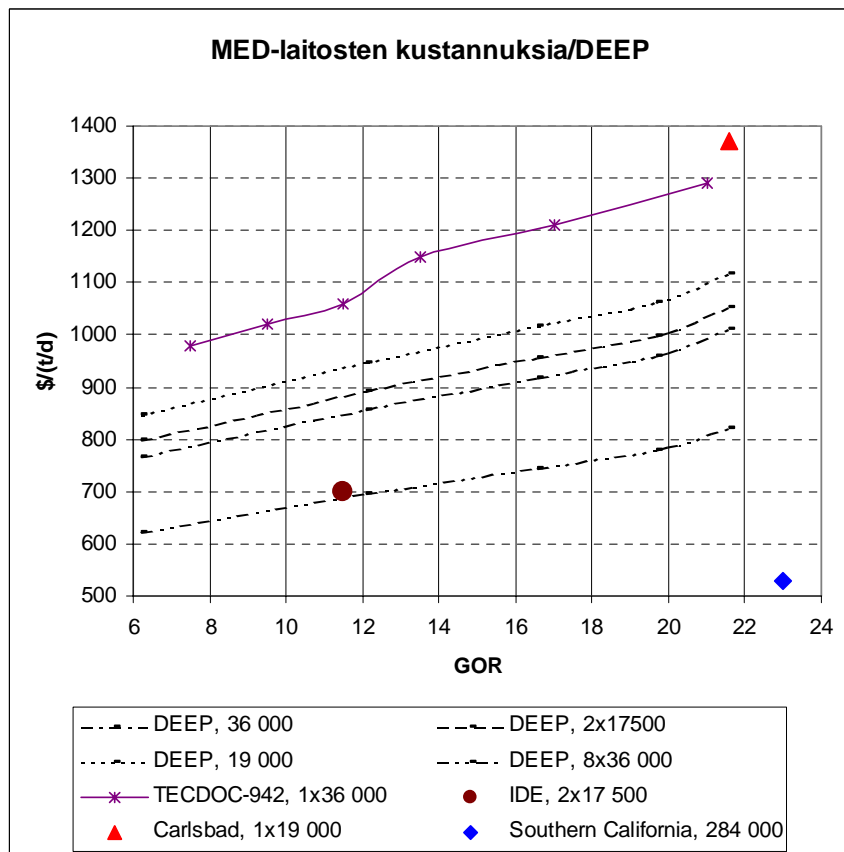
*Taulukko 28. DEEP-ohjelmassa käytettyjä toiminta-arvoja*

	DEEP 1	DEEP 2	DEEP 3	DEEP 4	DEEP 5	DEEP 6	DEEP 7	DEEP 8
seawater temperature	30	30	30	30	30	30	30	30
condenser temperature approach	2	2	2	2	2	2	2	2
condenser temperature range	5	5	5	5	5	5	5	5
maximum brine temperature	50	60	70	80	90	100	110	120
last effect steam temperature	37	37	37	37	37	37	37	37
average temperature drop in effect	2.4	2.4	2.4	2.5	2.6	2.8	3	3.1
overall working temperature	13.7	23.7	33.7	43.7	53.7	63.7	73.7	83.7
average boiling point elevation	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
number of effects	6	10	14	18	20	23	25	27
GOR	5.5	9.2	12.6	15.1	17	18.6	19.9	21.1





Kuva 17. MED-laitosten toimintafunktio (GOR = Gained output ratio= desalted water/steam supply, Overall working temperature= max brine temp – last effect steam temp).



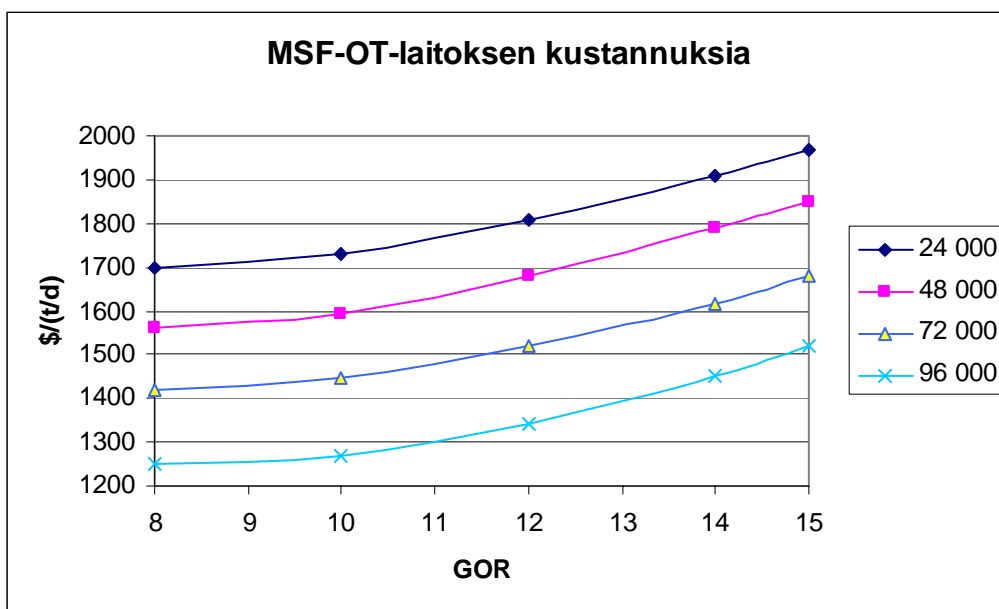
Kuva 18. MED-laitoksen investointikustannukset GOR:n funktiona. DEEP-laskennassa on oletettu alle 72 °C:n lämpötila ja alumiini-materiaali.

## MSF-laitoksen toiminta-arvoja ja investointikustannuksia

MSF-laitoksen toiminta-arvoja esitetään taulukossa 29 sekä kustannuskäyrät (läpivirtauslaitos) kuvassa 19.

Taulukko 29. MSF-laitoksen toiminta-arvoja.

maximum brine temperature	125	110	98	90
seawater temperature	30	30	30	30
brine to seawater temperature difference in last stage= resulting overall working temperature	89,1	74,2	62	53,4
GOR	13,05	11,3	9,29	7,39



Kuva 19. MSF-laitoksen investointikustannukset GOR:n funktiona viitteen 4 mukaan.

## RO-laitoksen toiminta ja kustannukset

Lähteessä verifioitiin RO-laitoksien mallintamista varten kahdeksan rakennettua laitosta, joiden toiminta-arvot ja kustannukset esitetään taulukossa 30.

*Taulukko 30. Rakennettujen RO-laitosten toiminta-arvoja ja kustannuksia.*

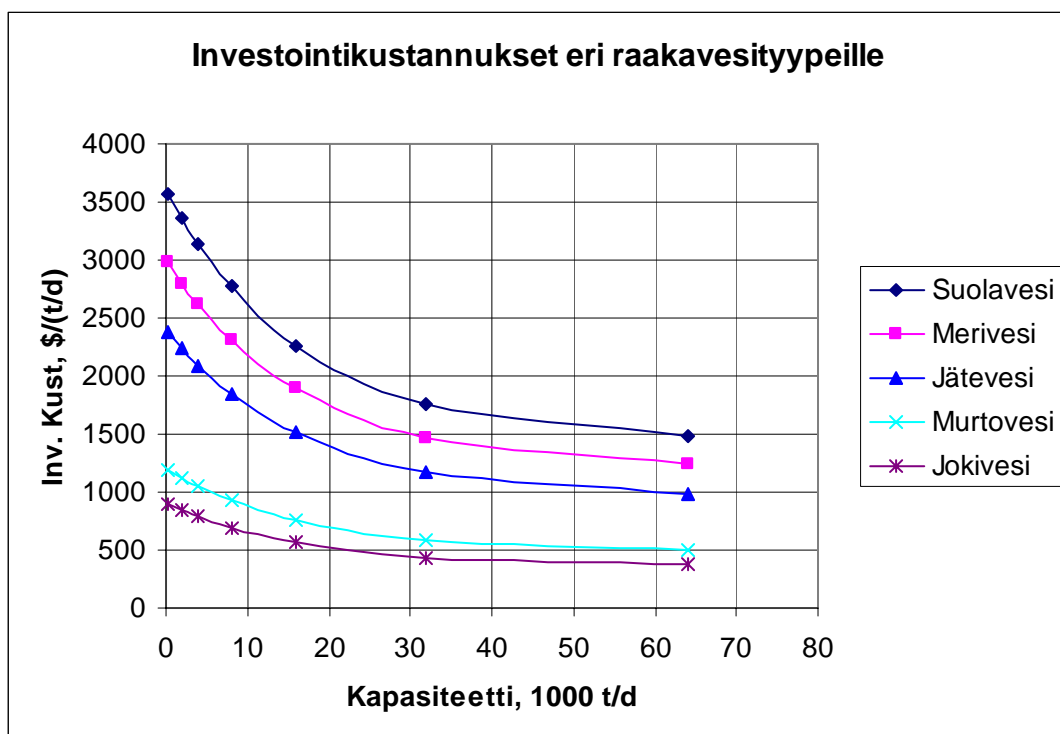
ref 1: Arabian Gulf; ref 2: Arabian Gulf; ref3: Red Sea; ref 4: Mediterranean Sea; ref 5: Caribbean Sea; ref 6: Gulf Area; ref 7: Lanzarote; ref 8: Abu Dhabi

		ref 1	ref 2	ref 3	ref 4	ref 5	ref 6	ref 7	ref 8
Installed plant capacity	m <sup>3</sup> /d	90 840	22 710	45 420	22 710	11 355	142 500	15 000	227 300
Seawater temperature	C	16–35	16–35	24–32	18–24	26	17–37	20	23–41
Seawater TDS	ppm	45 000	45 000	41 000	38 000	36 000	45 000	37 011	45 000
Operation pressure	bar	83–67	83–67	83–74	69–65	69	83–69	68,2	66
High pressure pump efficiency		0,82	0,82	0,80	0,82	0,81			
Energy recovery efficiency		0,83	0,83	0,83	0,83	0,83			
Load factor		0,90	0,90	0,92	0,95	0,95	0,92	0,75	0,9
Discount rate	%/a	8	8	8	8	8	8	8	8
Operation time	years	20	20	20	20	20	20	20	30
Electricity cost	\$/kWh	0,04	0,04	0,04	0,08	0,1	0,04	0,12	0,013
Recovery ratio		0,35	0,35	0,45	0,45	0,50	0,35	0,45	0,4
Membrane area factor									
Pretreatment, pump, piping factor									
Seawater pumping power	kWh/m <sup>3</sup>	0,43	0,45	0,34	0,35	0,32			
Booster pumping power	kWh/m <sup>3</sup>	0,47	0,47	0,38	0,39	0,04			
High pressure pumping power	kWh/m <sup>3</sup>	8,94	8,94	7,12	5,79	5,26			
Energy recovery	kWh/m <sup>3</sup>	-2,90	-2,90	-2,09	-1,94	-1,59			
Other power	kWh/m <sup>3</sup>	0,41	0,41	0,41	0,42	0,29			
<b>Specific power consumption</b>	<b>kWh/m<sup>3</sup></b>	<b>7,35</b>	<b>7,35</b>	<b>6,16</b>	<b>5,01</b>	<b>4,32</b>	<b>7,09</b>	<b>5,6</b>	<b>4,95</b>
Annual average water production	1 000 m <sup>3</sup> /a	29 841	7 460	15 252	7 875	3 937	47 852	4 093	74 600
Total construction cost	M\$								
IDC	M\$								
Total investment	M\$	107,26	33,279	49,479	26,529	11,07	153,5	14,28	414
<b>Specific investment cost</b>	<b>\$/m<sup>3</sup>/d</b>	<b>1 181</b>	<b>1 465</b>	<b>1 089</b>	<b>1 168</b>	<b>1 159</b>	<b>1 080</b>	<b>956</b>	<b>1 820</b>
<b>Portion of intake/outtake</b>	<b>%</b>	<b>6,7</b>	<b>7,1</b>	<b>5,4</b>	<b>7,0</b>	<b>5,4</b>	<b>9,1</b>		<b>0</b>
Water plant fixed charge	\$/m <sup>3</sup>	0,361	0,448	0,326	0,338	0,337	0,327	0,352	0,493
Electricity power cost	\$/m <sup>3</sup>	0,295	0,295	0,246	0,402	0,433	0,284	0,665	0,064
Water plant O&M costs									
- staffing	\$/m <sup>3</sup>	0,014	0,029	0,023	0,034	0,034	0,014	0,112	0,025
- membrane replacement	\$/m <sup>3</sup>	0,074	0,074	0,061	0,050	0,039	0,123	0,042	0,147
- spare parts	\$/m <sup>3</sup>	0,060	0,079	0,055	0,061	0,047	0,053	0,027	0,111
- chemicals	\$/m <sup>3</sup>	0,036	0,036	0,025	0,024	0,007	0,052	0,066	0,069
- insurance	\$/m <sup>3</sup>							0,017	
<b>Total water cost</b>	<b>\$/m<sup>3</sup></b>	<b>0,84</b>	<b>0,96</b>	<b>0,74</b>	<b>0,91</b>	<b>0,905</b>	<b>0,85</b>	<b>1,29</b>	<b>0,91</b>

#### 4.1.5 Viite 5

Lähde: Wangnick, K. 1998. IDA Worldwide Desalting Plants Inventory, Report No. 15. Wangnick Consulting GMBH. 1998.

Raportissa esitetään toteutuneiden suolanpoistolaitosten kustannusanalyysiin perustuen kokonaislaitteiston kustannusfunktio, jossa parametrina on vesityyppi. Kuvassa 20 esitetään kustannuskäyrät. Todetaan, että meriveden suolanpoistolaitos on lähes kolme kertaa kalliimpi kuin murtoveden suolanpoistolaitos. Myös laitoksen koko vaikuttaa voimakkaasti yksikkökustannuksiin.



Kuva 20. Raakaveden vaikutus suolanpoistolaitoksen hintaan.

## 4.2 Vesihuollon kaupallistaminen

### 4.2.1 Vesihuollon liiketoimintapiirteet ja sopimusmallit

Vesihuollon käsite kattaa laajassa mielessä vedenhankinnan ja -jakelun, jätevesien koostamisen, käsittelyn ja johtamisen vesistöön sekä näihin liittyvän ympäristönsuojelun. Vesihuolto on yksi keskeinen yhdyskuntien tekninen palvelu. Sen järjestämisestä ja usein myös palvelujen tuottamisesta ovat perinteisesti olleet vastuussa kunnat joko pe-

rinteisen kunnallisen laitoksen, liikelaitoksen, kunnan omistaman yhtiön tai ylikunnallisen laitoksen kautta. Erityiskohteissa, kuten teollisuuskohteissa, turismialueilla tai pelonkastelualueilla, vesihuollosta voivat vastata osittain tai kokonaan yksityiset organisaatiot, joiden perustamista ja toimintaa kunnat useimmiten tukevat. Yksityissektorilta kunnalliset laitokset ostavat suunnittelu-, rakentamis- ja kunnossapitopalveluita ja hankkivat tarvittavia materiaaleja. Vesihuolto onkin toteutettu julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyönä (public-private partnership, PPP), vaikkakin rahoitus on perinteisesti kuulunut kunnan tai valtion hallintoon. Vastaavanlaisia infrastruktuurin alueita ovat TELE-järjestelmät, energiajärjestelmät, liikenneyhteydet, terveystalot, satamat jne.

Vesi- ja viemärlaitostoiminta on eräisiin muihin julkisiin palveluihin verrattuna luonteeltaan poikkeuksellisen pääomavaltaista (Hukka & Katko 1999). Esimerkiksi Pohjoismaissa, joissa voidaan hyödyntää luonnollisia vesilähteitä, vesi- ja viemärlaitoksen vuosikustannuksista ovat pääomakustannukset eli poistot ja korot usein 70–75 %. Näistä puolestaan selvästi suurimman osan muodostavat verkostot. Tehokkaasti toteutetun ja nykyaikaisen veden ja jäteveden käsittelyn osuus vuosittaisista käyttömenoista on suurimmillaankin vain 10–15 %. Koska vesihuollon terveys- ja ympäristövaikutukset ovat tärkeitä, korostuu kuitenkin veden käsittelyn ja jäteveden puhdistuksen merkitys. Toinen vesi- ja viemärlaitostoiminnan ominaispiirre on se, että kiinteiden eli tuotantomäärästä riippumattomien kustannusten osuus on noin 80 %. Kuitenkin monien laitosten tulot riippuvat lähes yksinomaan myydyn veden määrästä. Kolmas ominaispiirre on se, että vesihuolto on luonteeltaan ns. luonnollinen monopoli. Tietyille alueille on järkevää rakentaa vain yksi vesi- ja viemäriverkosto. Maapallon kuivilla alueilla veden tuottaminen suolanpoistomenetelmillä muuttaa jonkin verran vesihuollon kustannusrakennetta. Suolanpoistolaitoksen pääomakustannukset ovat suuret, mutta energian kulutuksesta ja käyttö- ja ylläpitokustannuksista muodostuu suunnilleen yhtä suuret vuosikustannukset kuin investoinneista.

Rahoitusmahdollisuuksien rajallisuus myös julkisella puolella ja toisaalta lisääntyvä tarve yleishyödyllisten palveluiden tuottamiseen ovat muuttaneet vesihuollon toteutusmallia yksityiseen suuntaan, jolloin myös pankkijärjestelmien rahavirrat ohjautuvat helpommin infrastruktuurin rakentamiseen ja käyttöön. Taulukossa 31 esitetään yksityisen sektorin osallistuminen vesi- ja viemäriprojekteihin kehitysmaissa eri maanosissa vuosina 1990–1997 (World Bank 1998). Laajinta osallistuminen on ollut Latinalaisessa Amerikassa ja Karibian alueella sekä Itä-Aasiassa ja Tyynen meren saarilla. Vuosittain projektien määrä on tasaisesti kasvanut vuosikymmenen alun lähes nolla-tasolta lähtien.

*Taulukko 31. Yksityisen sektorin osallistuminen vesi- ja viemäriprojekteihin kehitysmaissa vuosina 1990–1997.*

Alue	Projektit, lkm	Kokon. investoinnit, MUS\$
Itä-Aasia ja Tyynen meren saaret	30	11 193
Eurooppa ja Keski-Aasia	15	1 499
Latinalainen Amerikka ja Karibia	40	8 225
Keski-itä ja Pohjois-Afrikka	4	3 275
Saharan eteläpuolinen Afrikka	8	37
<b>Yhteensä</b>	<b>97</b>	<b>24 950</b>

Kunnallisen sektorin keskeiset vaihtoehdot yksityisen sektorin suuntaan vesihuoltoalueella ovat palveluiden alihankinta ja ostopalvelu, ylläpitourakointi, vuokraaminen, toimilupa ja omaisuuden yksityistäminen. Taulukossa 32 esitetään eri sopimusmuotojen tyypilliset kestoajat. Arvot perustuvat tyypillisiin vesihuoltosopimuksiin, eivät erityisesti suolanpoistolaitoksiin.

*Taulukko 32. Vesihuollon rahoittamis- ja toteuttamismalleja.*

Toimintamalli	Kesto (vuotta)
Alihankinta ja ostopalvelu (Service contract)	1–2
Ylläpitourakointi (Management contract)	3–5
Vuokraustoiminta (Lease contract)	8–15
Toimilupa (Concession)	25–30
Rakenna – omista – käytä – siirrä (BOOT)	25–30
Omaisuuden yksityistäminen (Divestiture)	määräämätön tai li-senssillä rajoitettu

Seuraavassa tarkastellaan lähemmin BOOT-mallia, jonka voidaan olettaa lisääntyvän erityisesti veden tuottamisen liiketoiminnassa, kun tarvitaan teknillinen ja pääomavaltainen suolanpoistolaitos.

#### **4.2.2 BOOT**

BOOT on lyhenne sanoista Build, Own, Operate ja Transfer. BOOT on suhteellisen uusi toteutusmalli kehittää maan tai alueen infrastruktuuria tai palveluita yksityisen sektorin avulla (Hallmans & Stenberg 1999). BOOT-malli on välimuoto julkisen vallan ja täysin yksityisen toteutuksen ja omistuksen välillä rakennettaessa perusstruktuuria. BOOT:n osat ovat:

- Build: Yksityinen yritys tai ryhmittymä tekee sopimuksen julkisen vallan kanssa toteuttaa infrastruktuuriin liittyvä rakentaminen
- Own, Operate: Sopijayritys omistaa rakennelman ja hankkii sille rahoituksen ja vastaa sen toiminnasta sekä saa sovitun korvauksen tuotteista määrätyn toimintajakson ajan (esim. 20 vuotta).
- Transfer: Sopimusjakson jälkeen laitoksen omistajuuden ja toimintavastuun siirto julkiselle sektorille tai sen esittämälle laitokselle.

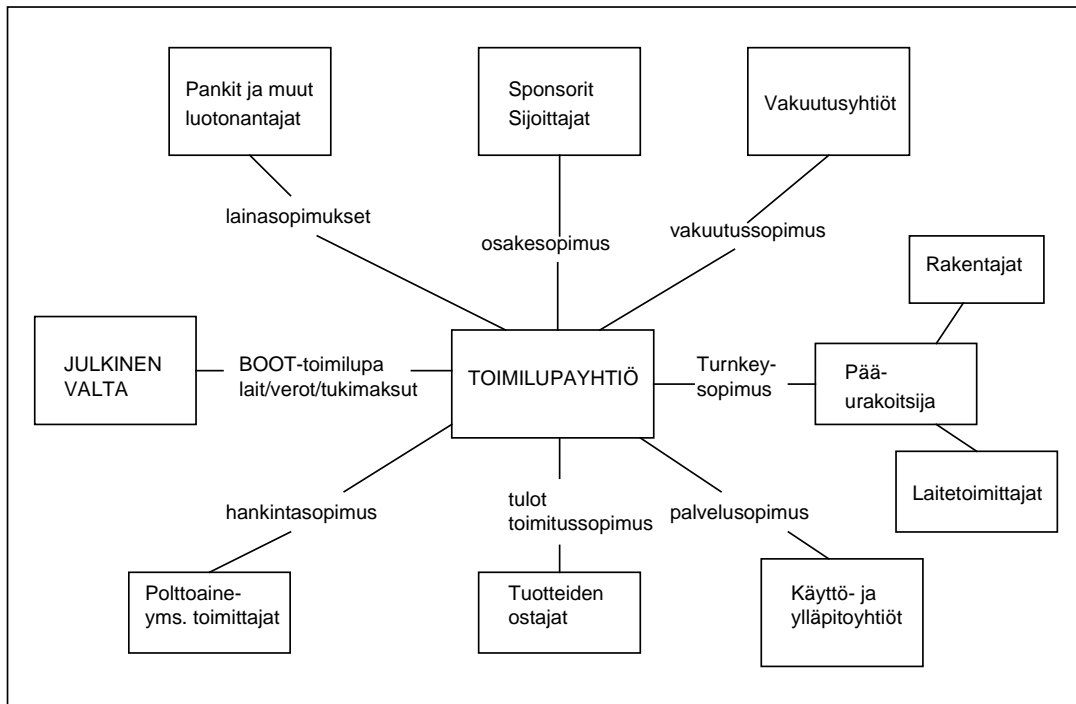
### **Perusteita BOOT:lle**

1. Yksityisen sektorin mukaantulon kautta voidaan monissa tapauksissa
  - tehostaa laitoksen käyttöä ja ylläpitoa
  - erottaa tukiaiset varsinaisesta tuotannosta
  - hoitaa investointien rahoitus ilman julkisen vallan rahoitusta tai takuutarvetta
  - saavuttaa parempi laatu ja palvelutaso tuotteelle
  - huomioida kokonaisvastuun avulla käytön tehokkuus laitoksen toteutuksessa
2. Yksityisen sektorin kannustimena ovat:
  - pitkäaikainen taloudellinen tuotto ja varmennettu markkina-asema
  - riskien pienentyminen
  - pääoman maailmanlaajuinen hankintamahdollisuus
  - uuden tai parannetun teknologian ja organisaation helpompi ja pitkäjänteisempi soveltamismahdollisuus.
3. Välttämättömät edellytykset yksityisen sektorin osallistumiselle ovat:
  - vahva poliittinen tuki
  - rahoituksellinen toimintakyky
  - toiminnan lainperustaiset ja hallinnolliset kehykset
  - todenmukainen arvio olemassa olevasta laitekannasta
  - mukautumismahdollisuudet tilannemuutoksiin.

### **Sopimuksen rakenne**

Infrastruktuurin tai peruspalveluiden rakentamisesta ja ylläpidosta vastaavan yrityksen toimintamuoto voi olla hyvinkin erilainen. Tärkeintä on, että se ottaa vastuun projektista

ja tekee tarvittavat sopimukset julkisen sektorin kanssa ja saa toimintavaltuudet. Organisaatorisesti toimilupayhtiö voi olla hallinnollinen yhtiö, joka hankkii tarvittavat palvelut ja resurssit yksityisiltä markkinoilta. Julkisen sektorin näkökulmasta toimilupayhtiön on oltava luotettava ja toimintakykyinen niin, että voidaan olla varmoja hankkeen toteutumisesta. Kuvassa 21 esitetään erilaiset intressipiirit, jotka liittyvät laajan hankkeen toteuttamiseen BOOT-sopimuksessa. Käytännössä teknologian päätoimittaja tai -toimittajat ovat toimilupayhtiön taustayhtiöitä ja taloudellisesti teknisesti vastuussa hankkeesta.



Kuva 21. BOOT-sopimuksen osapuolet.

### BOOT:n toteutus

BOOT:n toimilupayhtiö toimii normaalisti monopolimarkkinoilla, jolloin esimerkiksi tuotteiden hinta ei määräydy kilpailutilanteen mukaan. Tuotteiden hinnan muutoksien hyväksymistä varten tarvitaan osapuolten välinen elin, jonka avulla kohtuullinen hinta voidaan taata muuttuvissa olosuhteissa. Yleisenä periaatteena on, että tuotetulle vedelle muodostuu kustannuksia ja kohtuullista voittoa vastaava hinta ja veden käyttäjille annetaan tarvittava taloudellinen tuki tai tuki maksetaan yhteiskunnan toimesta tuotetulle vedelle. Kehitysmaissa ja monissa veden puutteesta kärsivissä maissa normaali käytäntö on perinteisesti ollut se, että yhteiskunnan tuki veden tuotannosta on jopa 60–70 % veden hinnasta.



Julkisen sektorin tavoitteena on saada tietyt standardit täyttävä tuote tai palvelu ja siirtovaiheessa saada käyttöönsä mahdollisimman hyvässä kunnossa oleva laitteisto.

Toimilupayhtiön tavoitteena on toimia kannattavana yrityksenä tuottamalla sijoittajille kohtuullinen tuotto ja lainan antajille riskitön lainaus. Itse tuotettujen ja ulkopuolisilta tilattujen toimintojen on tuettava kokonaistavoitteiden saavuttamista. Tuotteista saatavan hinnan ja mahdollisesti erikseen sovitun toimintatuen on katettava kulut ja tuottovaatimukset. Erityisen tärkeää on ulkopuolisten yritysten kanssa tehtyjen sopimusten toimivuus ja riskittömyys kehitysmaolosuhteissa ja poliittisesti epävakaisissa valtioissa. Toimintojen tilaaminen tarjouskilpailujen perusteella on monimutkainen prosessi ja usein suorat yhteydenotot yrityksiin tai toimintojen tilaaminen omilta emoyhtiöiltä johtaa parempaan lopputulokseen.

Riskien hallinta on BOOT-projekteissa erityisen tärkeää, koska sopimukset ovat kymmenen tai kahdenkymmenenkin vuoden pituisia. Riskien hallinta liittyy sekä rakentamisvaiheeseen (viivästyminen, laatu, kustannusmuutokset valuuttamuutokset jne.) että käyttötoimintaan (laitteiden käytettävyys, varaosat, polttoaineet, tulot, tuotteen kysyntä, valuuttamuutokset, inflaatio jne.) sisältäen myös poliittisen riskin huomioonottamisen. Täysin riskittömäksi toiminnaksi ei BOOT-yhteistyötä voida saada, mutta riskien jakaminen ja peittäminen eri osapuolien kesken (esim. julkinen sektori ja toimilupayhtiö) helpottaa tilannetta.

BOOT-projektit on yleisesti rahoitettu kaupallisilla lainarahalla tai kansainvälisillä vientirahoituslähteillä (World Bank, Asian Development Bank, Arabic Bank jne. Kaikenlaisten lainojen saanti edellyttää, että BOOT-projekti voidaan osoittaa taloudellisesti toteuttamiskelpoiseksi hyväksyttävällä riskitasolla. Tämän osoittamiseksi tarvitaan projektista perusteellinen taloudellinen kannattavuusanalyysi.

### **Esimerkki BOOT-pohjaisesta suolanpoistoprojekteista**

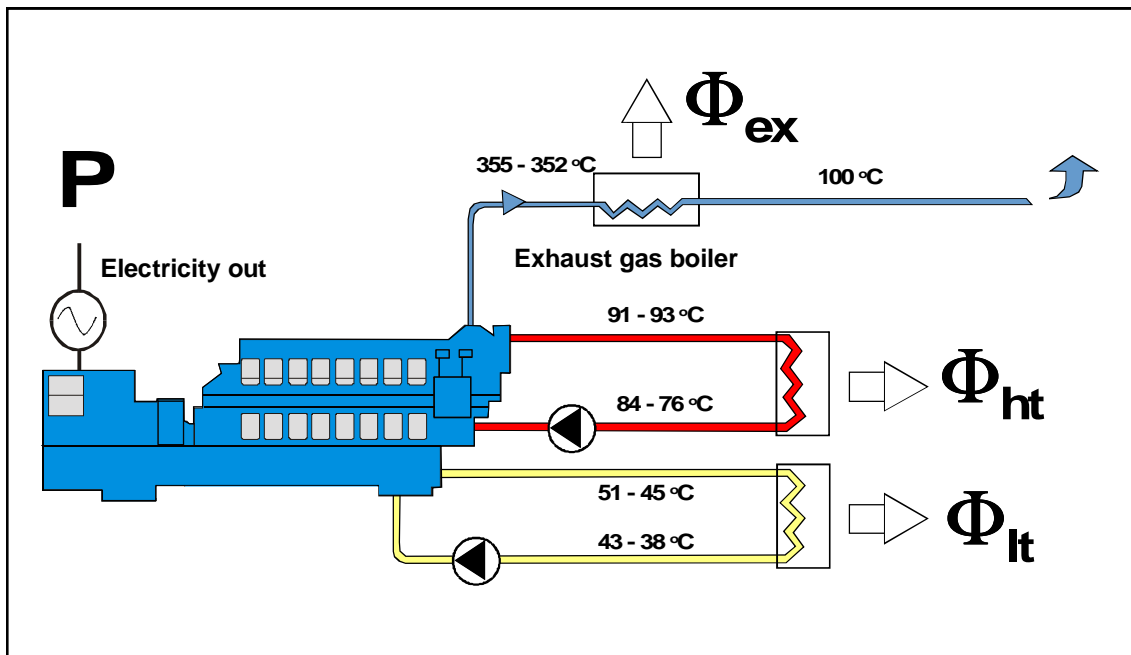
IDE Technologies ltd. (<http://www.ide-tech.com/code/what.htm>) toimittaa Kyprokseen Larnacan alueelle 5 x SWRO 8 000 -suolanpoistolaitoksen. Tilaajana on Kyproksen maatalousministeriön vesihuolto-osasto. Boot-sopimuksen own-operate-jakson pituus on 10 vuotta ja aloitusajankohta syksy 2000. Tuotetun veden suolapitoisuus on sovitettu RO-tyyppiselle laitokselle sopivaksi, TDS-määrä on korkeintaan 500 ppm, ja juomaveden tulee täyttää WHO:n suositukset.

## 5. MSP-sähkö ja vesi

### 5.1 Moottorivoimalaitos

#### 5.1.1 Energiataseet

Moottorivoimalaitos voi käydä kaasulla tai raskaalla polttoöljyllä tai kevyellä polttoöljyllä. Sähköntuotannon hyötysuhde ja myös talteen saatavissa olevan hukkalämmön määrä riippuvat jossain määrin polttoaineesta. Kuvassa 22 esitetään kaavio moottorivoimalaitoksen energiavirroista. Tuleva energiavirta on polttoainetta ja poistuvia energiavirtoja ovat sähköenergia, pakokaasujen poistoenergia, korkealämpötilaisempi jäähdytysenergia (moottorikuoren ja turboahtimen jäähdytys), matalalämpötilaisempi jäähdytysenergia (mm. voiteluöljyjen jäähdytys) sekä huonetilaan siirtyvät lämpövirrat. Periaatteessa kaikki poistuvat energiavirrat voidaan saada hyötykäyttöön. Käytännössä ympäristöön siirtyä aina osa lämpövirroista, tärkein niistä on pakokaasujen mukana siirtyvä lämpö. Rikittömä polttoainetta käytettäessä savukaasut voidaan jäähdyttää alle 100 °C:seen, mutta raskaspolttoöljyä käytettäessä savukaasujen poistolämpötilan pitää olla korroosiovaaran vuoksi lämmön talteenoton jälkeen 170–180 °C.



Kuva 22. Moottorivoimalaitoksen energiavirrat ja lämmön talteenotto.

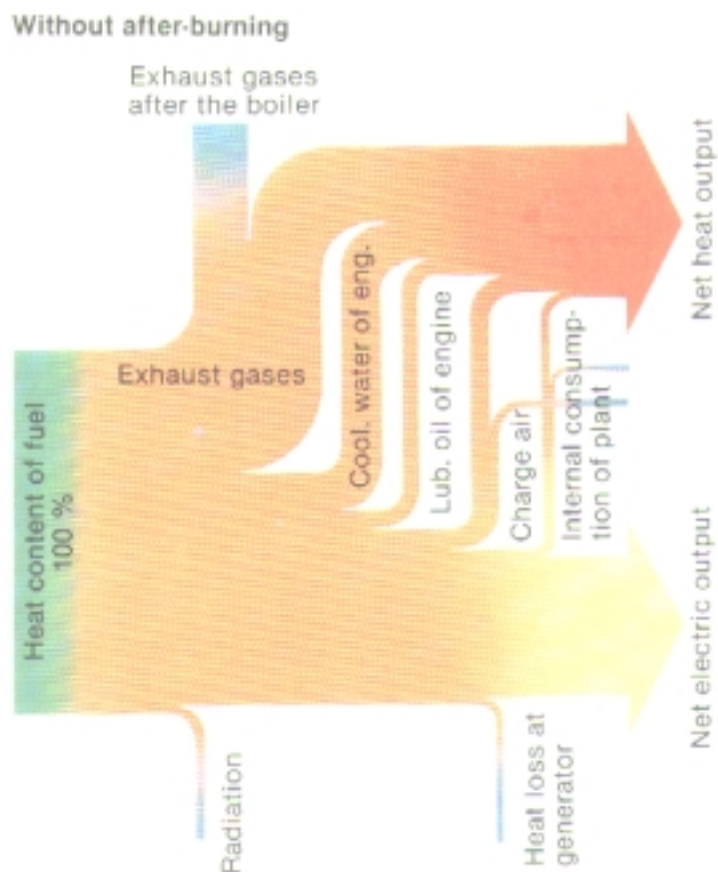
Taulukossa 33 esitetään voimalaitosmoottorit tyypikohtaisesti sekä niiden energiavirrat ja talteen saatavat lämpötehot. Pakokaasulämmön talteenotossa käytetään pakokaasukattilaa, joka tuottaa 8 baarin kylläistä höyryä. Höyryä tuottava pakokaasukattila sijoi-

tetaan diesel-laitokseen jo senkin vuoksi, että saadaan lämpöä raskaspolttoöljyn esilämmitykseen.

*Taulukko 33. Voimalaitosmoottoreiden energiavirrat.*

	Yksikkö	Arvot			
		18V26	18V32	18V38	18V46
<b>MOOTTORIT</b>	text				
Kuorma	%	100	100	100	91,50
Sähköteho(Generaattorilla), P	kW	5 125	6 514	11 000	16 782
<b>JÄÄHDYTYSVEDET</b>					
<b>HT-piiri (High Temperature cooling water)</b>					
Virtaama ( $\pm 5\%$ )	kg/s	26,8	60	55	111,1
Teho ( $\pm 15\%$ ), $\Phi_{ht}$	kW	2 203	2 530	3 823	6 061
Lämpötila ulos moottorista ( $\pm 2^\circ\text{C}$ )	$^\circ\text{C}$	93	91	93	91
Lämpötila takaisin moottoriin ( $\pm 2^\circ\text{C}$ )	$^\circ\text{C}$	84,1	81	76,4	78
<b>LT-piiri (Low Temperature cooling circuit)</b>					
Virtaama ( $\pm 5\%$ )	kg/s	27,6	60	70	55,6
Teho ( $\pm 15\%$ ), $\Phi_{lt}$	kW	1 395	1 490	2 742	3 091
Lämpötila ulos moottorista ( $\pm 2^\circ\text{C}$ )	$^\circ\text{C}$	49,7	43,93	47,4	51,3
Lämpötila takaisin moottoriin ( $\pm 2^\circ\text{C}$ )	$^\circ\text{C}$	42,3	38	38	38
<b>PAKOKAASU</b>					
Virtaama ( $\pm 10\%$ )	kg/s	10,8	13,58	21,4	33,97
Lämpötila ( $\pm 5\%$ )	$^\circ\text{C}$	352	355	355	353
<b>Höyryn tuotanto pakokaasukattilassa, 8bar(a) kylläinen</b>					
Virtaama	kg/s	0,651	0,832	1,308	2,044
Teho, $\Phi_{ex}$	kW	1 540	1 983	3 125	4 859

Kuvassa 23 esitetään moottorivoimalaitoksen energiavirrat Sankey-diagrammin avulla. Sähköntuotannon hyötysuhde on 40–42 %. Kaikki talteen saatava lämpöenergia ei sovellu veden tuottamiseen tisluslaitoksessa alhaisen lämpötilan vuoksi. Alarajaan vaikuttaa ensisijaisesti tisluslaitoksessa käytettävän raakaveden, esimerkiksi meriveden, lämpötila. Pakokaasulämpö ja HT-jäähdytyspiirin lämpö soveltuvat kuitenkin kokonaisuudessaan tisluslaitoksen lämmönlähteeksi.



Kuva 23. Moottorivoimalaitoksen Sankey-diagrammi.

### 5.1.2 Voimalaitostilastot

Wärtsilä NSD:n toimittamia polttomoottorivoimalaitoksia on eri puolilla maailmaa. 1990-luvulla otettiin käyttöön Euroopan ulkopuolella Wärtsilä NSD:n toimittamaa sähköntuotantotehoa 613 voimalaitoksella yhteensä 13 000 MW. Moottoriyksiköitä laitoksilla on keskimäärin useita. Vuonna 1999 Wärtsilä NSD toimitti 3663 MW laiva- ja voimalaitosmoottoria, joista 1320 MW oli voimalaitoksia.

Taulukossa 34 esitetään perusvoiman tuotantoon eri maissa rakennetut moottorivoimalaitokset laitosten lukumäärän mukaan järjestettynä. Taulukossa luetellaan maat, joissa otettiin käyttöön vähintään kolme laitosta. Liitteessä D luetellaan maanosittain kaikki maat. Eniten laitoksia rakennettiin Kiinassa, Intiassa ja Indonesiassa. Teholtaan voimalaitoksia on maakohtaisesti enimmillään 1 000–3 000 MW.

*Taulukko 34. Wärtsilä NSD toimittamat moottorivoimalaitokset 1990-luvulla (lukumäärän mukaan listattu, vähintään kolme per maa).*

Maa	Laitos lkm	Teho MW
INDIA	129	1 555
CHINA	81	3 051
INDONESIA	76	1 178
PHILIPPINES	43	1 385
TAIWAN	25	410
PAKISTAN	20	537
AUSTRALIA	14	137
DOMINICAN REPUBLIC	13	366
SAUDI ARABIA	11	124
YHDYSVALLAT	9	118
BRAZIL	8	322
EGYPT	8	80
MALAYSIA	7	145
JAPAN	7	56
YEMEN	7	132
PERU	6	95
GUYANA	5	72
VIETNAM	5	93
BANGLADESH	5	17
THAILAND	5	33
MAURITANIA	5	37
MAURITIUS	5	120
ECUADOR	4	61
GUATEMALA	4	192
HONDURAS	4	179
IRAN	4	15
SYRIA	4	20
DOMINICAN REPUBLIC	4	170
CANADA	3	12
EL SALVADOR	3	260
NICARAGUA	3	63
ST.VINCENT	3	14
SEYCHELLES	3	56
FRENCH POLYNESIA	3	7
PAPUA NEW GUINEA	3	65
MALDIVES	3	12
SRI LANKA	3	38
COMEROS	3	7
ETHIOPIA	3	30
GUINEA	3	56
UAE	3	20
BANGLADESH	3	231

Moottorivoimalaitosten hankkijoita tarkasteltaessa todetaan suurimman ryhmän olevan sähköyhtiöt, useimmiten kunnalliset yhtiöt, joilla on laajempaakin sähkön tuotantoa ja jakelua. Eräs hankkijaryhmä on teollisuus, jonka osuus kaikista toimituksista oli 1990-luvulla 21 % ollen noin 2 300 MW. Laitosten lukumäärän mukaan laskien teollisuuden osuus oli 28 % eli noin 200 laitosta. Taulukossa 35 esitetään maakohtaisesti merkittävimmät teollisuuskäyttöön hankitut moottorivoimalaitokset kokonaistehon mukaan tuotettuna. Listan kärkipäässä on Kaukoidän ja Etelä-Aasian maita.

*Taulukko 35. Teollisuudelle 1990-luvulla toimitetut moottorivoimalaitokset maittain tehon mukaan listattuna.*

Maa	Teho MW	Laitos lkm
INDIA	809	88
INDONESIA	440	37
PHILIPPINES	278	14
CHINA	151	7
PAKISTAN	144	11
AUSTRALIA	64	8
PAPUA NEW GUINEA	57	1
SAUDI ARABIA	50	2
DOMINICAN REPUBLIC	47	1
CHILE	47	1
VIETNAM	46	3
GUYANA	24	1
EL SALVADOR	18	1
NORTH KOREA	14	2
GUATEMALA	13	1
SRI LANKA	11	1
SIERRA LEONE	10	1
PERU	8	2
HAITI	8	1
ARGENTINA	8	1
SOUTH KOREA	7	2
HONDURAS	7	1
USA	6	1
ECUADOR	3	1
TANZANIA	2	2

Perusvoimalaitosten lisäksi moottorivoimalaitoksia käytetään varavoimalaitoksina. Varavoimalaitokset ovat yleensä varustettu kevyemmin kuin jatkuvassa käytössä olevat moottorit. Varavoimalaitokset ovat kuitenkin potentiaalisesti merkittävä mahdollisuus energian tuottamiseen suolanpoistolaitokselle. Vähäisillä täydennyksillä varavoimalaitos voisi tuottaa lämpöä tisluslaitokselle ja, jos verkossa ei ole sähkön kulutusta, voidaan

sähkö käyttää esimerkiksi sähkökompressorin avulla toimivassa tislauslaitoksessa tai RO-laitoksessa. Taulukossa 36 esitetään Wärtsilä NSD:n toimittamat varavoimalaitokset maittain laitosten lukumäärän mukaan suuruusjärjestyksessä. Listan kärjessä ovat Taiwan, Saudi Arabia ja Indonesia.

*Taulukko 36. Wärtsilä NSD:n toimittamat varavoimalaitokset maittain lukumäärän mukaan listattuna.*

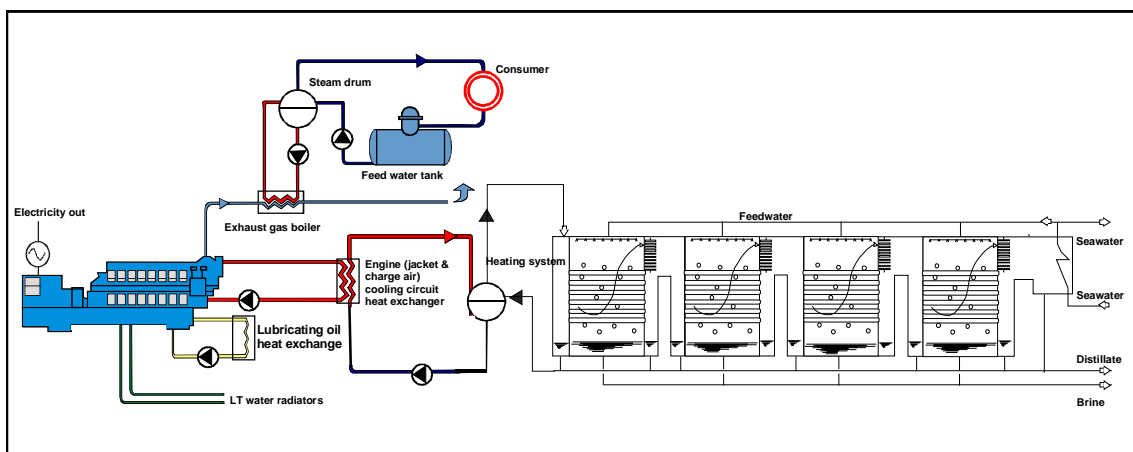
Maa	Laitokset lkm	Kok. teho MW
TAIWAN	12	22,1
SAUDI ARABIA	9	66
INDONESIA	8	19
CHINA	7	15
SOUTH KOREA	6	42,6
SINGAPORE	5	23
UAE	5	21
IRAN	4	13
ECUADOR	4	9
YHDYSVALLAT	3	42
BRAZIL	3	24,6
MALAYSIA	3	10
FALKLAND ISLANDS	3	5
INDIA	2	30
JAPAN	2	10
CANADA	2	5,1
ALGERIA	2	4
NIGERIA	2	4
AUSTRALIA	2	2,8
KUWAIT	1	17
IRAQ	1	9
HONDURAS	1	8,3
BRUNEI	1	6
BANGLADESH	1	4
PAKISTAN	1	4
ARGENTINA	1	2,3
DOMINICA	1	1
LIBYA	1	1
TANZANIA	1	1

## 5.2 Sähkön ja veden tuotanto

Polttomoottorivoimalaitos ja vettä tuottava tislauslaitos voidaan kytkeä monella tavalla MSP-laitokseksi riippuen mm. seuraavista tekijöistä:

- käytävissä oleva moottorikapasiteetti
- sähkön tuotantotarve ja vaihtelut
- makean veden tarve
- hukkalämmön muu käyttötarve
- kilpailutilanne (mm. tuotteiden hinta ja laitoksen toiminta- ja tuottokriteerit).

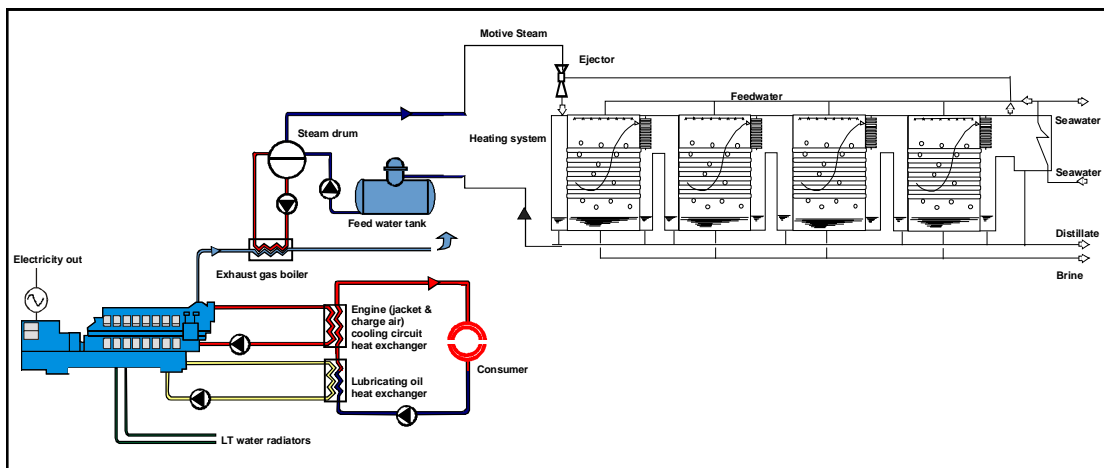
Kuvissa 24–26 esitetään moottorivoimalaitoksen ja tislauslaitoksen kolme pääkytkentä-vaihtoehtoa, joiden avulla voidaan täyttää erilaisia toiminnalle asetettavia kriteereitä. Kuvassa 24 tislauslaitos saa tarvitsemansa lämpöenergian moottorin LT- ja HT-jäähdytyspiireistä. Veteen sitoutunut hukkalämmön annetaan laajennushöyrystystä säiliössä. Muodostuva höyry johdetaan MED-laitokseen, lauhdutetaan siinä ja palautetaan höyrystyssäiliöön ja edelleen moottorin jäähdytysjärjestelmään. Moottorista tuleva HT-piirin lämpö on yli 90 °C, mikä on sopiva lämpötilataso MED-tislauslaitokselle. Koska hukkalämpö on energiahinnaltaan halpaa tai lähes ilmaista, voidaan MED-laitos mitoittaa investoinneiltaan edulliseksi käyttäen yhtä tai vain muutamaa vaihetta. Jos veden tuottoa pyritään maksimoimaan, voidaan rakentaa useampia vaiheita, yli kymmenenkin, tarpeen mukaan.



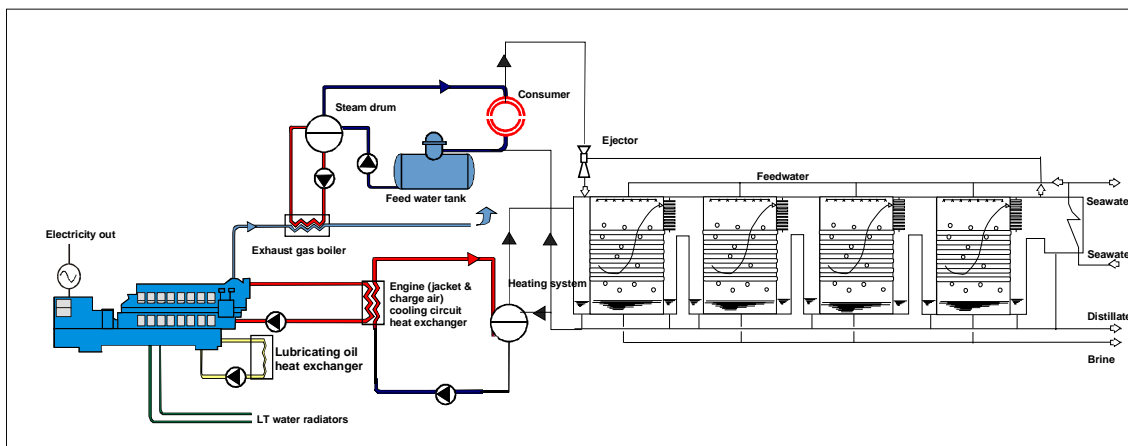
Kuva 24. MSP kytkentävaihtoehto: jäähdytyspiirin hukkalämpö johdetaan MED-laitokseen.



Toinen MSP:n kytkentämahdollisuus on käyttää veden tuottoon pelkästään pakokaasuista talteen otettavaa lämpöä (kuva 25). Pakokaasujen lämmöllä tuotetaan höyryä noin 8 baarin paineessa toimivaan höyrypiiriin. Koska tisluslaitosta varten on käytettävissä höyryä, joka soveltuu höyryejektorin ajohöyryksi, kannattaa toteuttaa ME-TVC-laitos eli termiseen höyryn kompreointiin perustuva ME-laitos. Tilauslaitokselta palautetaan höyrypiiriin vähintään sama vesimäärä kuin höyryn muodossa johdetaan tisluslaitokselle. Tisluslaitos toimii tässä kytkennässä energiatehokkaasti ja tuottomäärät investointikustannusta kohti laskettuna ovat suurempia kuin ensin esitetyssä kytkennässä.



Kuva 25. MSP kytkentävaihtoehto: pakokaasujen hukkalämpö johdetaan MED-TVC-laitokseen.



Kuva 26. MSP kytkentävaihtoehto: pakokaasujen ja jäähdytyspiirin hukkalämpö johdetaan MED-TVC-laitokseen.

Kolmas MSP:n kytkentävaihtoehto on käyttää tislauksessa sekä jäähdytyspiirin että pakokaasun hukkalämpöä (kuva 26). Tällä kytkennällä voidaan maksimoida MSP-laitoksen vedentuotto. Ejektoripiiri tuottaa laitokselle tässäkin tapauksessa edullisen tuotto-investointisuhteen. Jos höyryä käytetään myös muihin käyttötarkoituksiin, voidaan veden tuottoa säätää olosuhteiden mukaan. Myös ajoittainen ejektoripiirin poiskytkeminen on mahdollista.

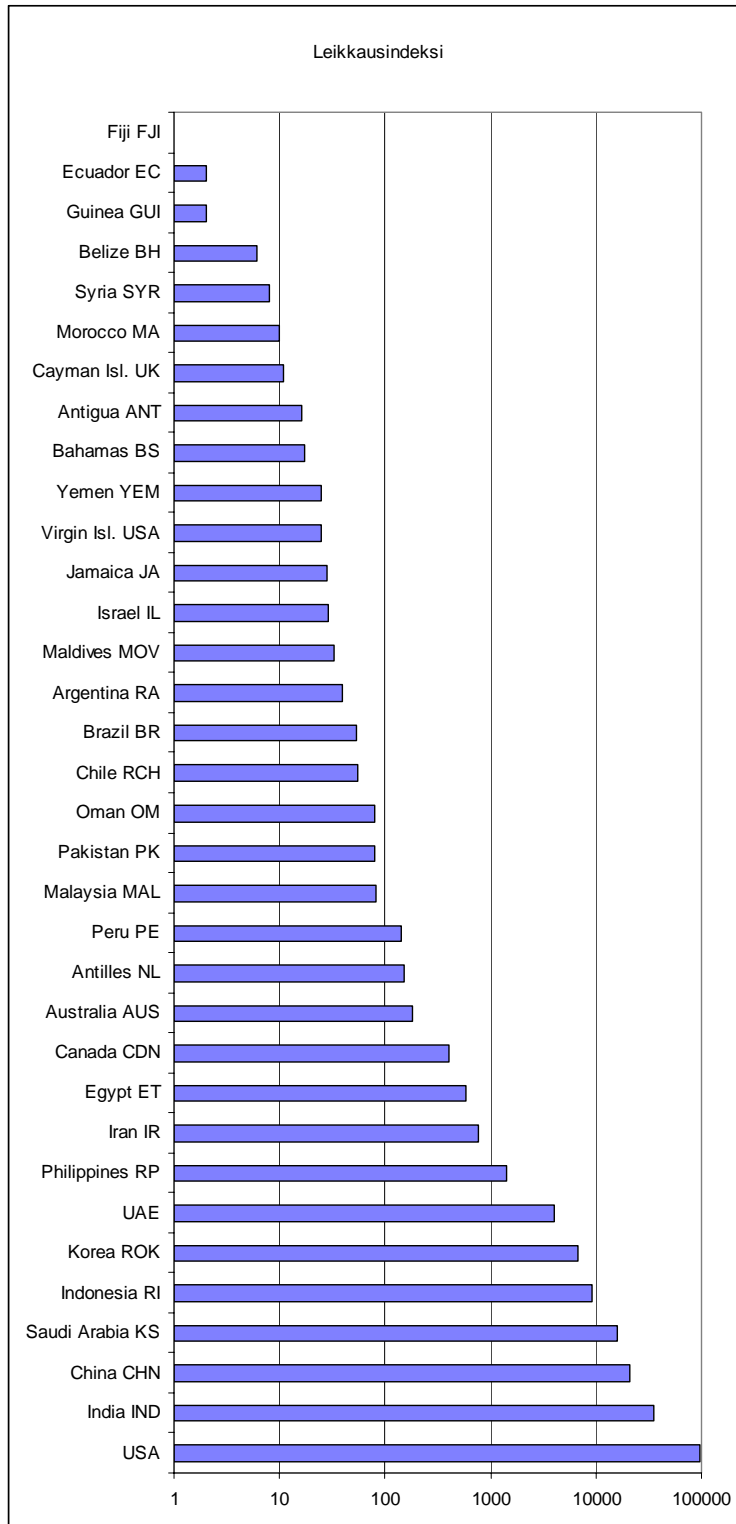
### 5.3 Yhteiset markkina-alueet

MSP:n markkina-alueen arvioinnissa peruskriteerinä on sähkön ja makean veden kysyntä, joka perustuu moottorivoimalaitoksen ja suolanpoistolaitoksen tuotantoon. Mahdollista on myös muodostua MSP:n uutta kysyntää siten, että jommastakummasta tuotteesta on erityisesti kysyntää ja toinen tuote saadaan hyvin edullisesti. Esimerkkinä tästä voisi olla teollisuuslaitos tai vaikkapa valtameriristeilijä, joka tarvitsee moottorivoimalaitoksen varsinaista toimintaansa varten ja saa tisluslaitoksen avulla luotettavasti ja riippumattomasti käyttöönsä puhdasta vettä.

Seuraavassa tarkastellaan MSP:n markkina-alueita tilastojen avulla etsimällä moottorivoimalaitosten ja suolanpoistolaitosten rakentamisen leikkausindeksi. Indeksissä käytetään kullekin maalle seuraavia parametreja:

- parametri 1: vuosina 1990–1999 rakennetun suolanpoistokapasiteetin osuus koko maapallon suolanpoistolaitosten rakentamisesta vastaavana aikana
- parametri 2: vuosien 1990–1999 perusvoimantuotantoon rakennettujen moottorivoimalaitosten (kaikki valmistajat) lukumäärä

Yhteinen markkina-alueindeksi lasketaan em. parametrien tulona kerrottuna luvulla 10 000. Kuvassa 27 esitetään maat indeksin mukaisessa järjestyksessä.



*Kuva 27. Perusvoimantuotannossa olevien polttomoottorilaitosten ja suolanpoistolaitosten markkina-alueindeksi.*

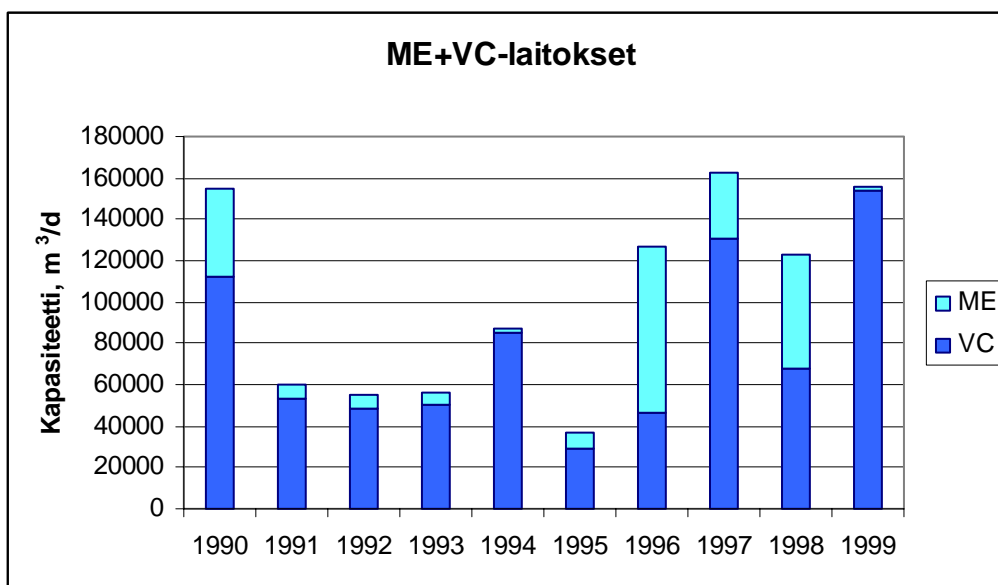
Indeksin mukaan parhaimmat markkina-alueet olisivat Yhdysvaltojen jälkeen Intiassa, Kiinassa ja Saudi-Arabiassa eli yleisemmin Kauko- ja Keski-idässä sekä Keski-Amerikassa. Myös Etelä-Amerikan valtioita on listalla, kuten Peru, Chile ja Brasilia. Jos indeksi lasketaan maille, joissa on polttomoottoriin perustuvia varavoimaitoksia, edellä olevaan luetteloon tulisi mukaan erityisesti Japani.

## 6. MSP:n markkinat

### 6.1 Modernin tislausjärjestelmän markkinatilanne

MSP:n mahdollisuutta vallata merkittävä osuus suolanpoistomarkkinoista voidaan arvioida mm. tekniikan ja käyttökohteen mukaan. Seuraavassa tarkastellaan tilastojen (Wangnick 2000a) avulla niitä tislauslaitosmarkkinoita, joihin MSP luontevimmin soveltuu. Tarkastelussa ovat mukana yli 100 m<sup>3</sup>/d laitokset.

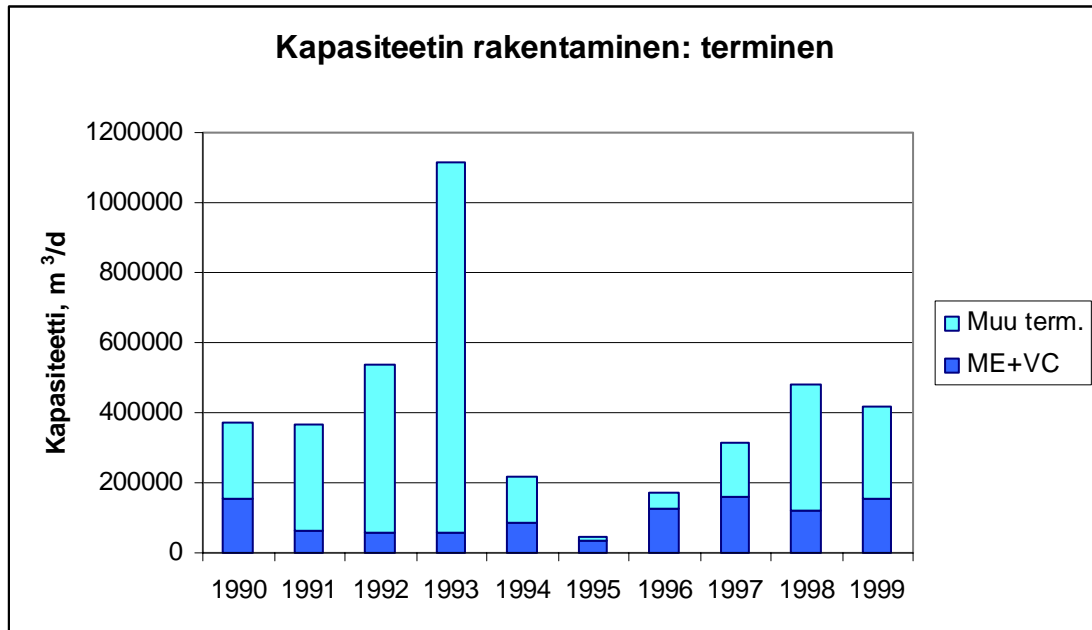
MSP:n tekniikka kuuluu termiseen järjestelmään, ja teknisen ratkaisun puolesta ME- ja VC- (termiseen tai mekaaniseen kompreointiin perustuva ME) -laitoksiin. Kuvassa 28 esitetään tämän ryhmän laitosten rakentaminen vuosina 1990–1999. Vuosittainen rakentaminen on ollut keskimäärin 102 000 m<sup>3</sup>/d. Pelkkiä ME-laitoksia rakennettiin vuosittain 23 800 m<sup>3</sup>/d verran ja VC-laitoksia 77 800 m<sup>3</sup>/d verran. Ejektorilla tai mekaanisella kompressorilla varustetut ME-laitokset ovat siten suosittumia kuin puhtas ME-laitos. Tämän ryhmän laitosten lukumäärän vuosikeskiarvo oli 28 laitosta, joista 23 oli VC-laitoksia ja 5 ME-laitoksia.



Kuva 28. ME- ja VC-laitosten rakentaminen kymmenvuotisjaksolla.

MED-tekniikalla toimivat laitokset, joita myös suomalaisten laitokset edustavat, voivat lisätä markkinaosuuttaan muiden menetelmien kustannuksella. Ensisijaisesti tällöin markkinoita menettävä tekniikka olisivat MSF-laitokset. Kuten aiemmin on todettu, MED-tekniikkaa on energiataloudellisempi kuin MSF ja vähitellen myös korroosio-ongelmat on saatu hallintaan. Markkina-asemien muutos näkyy myös tilastoissa. Kuvan 29 mukaan ME+VC-laitosten rakentamiskapasiteetti 1990 luvulla oli 20 % termisistä

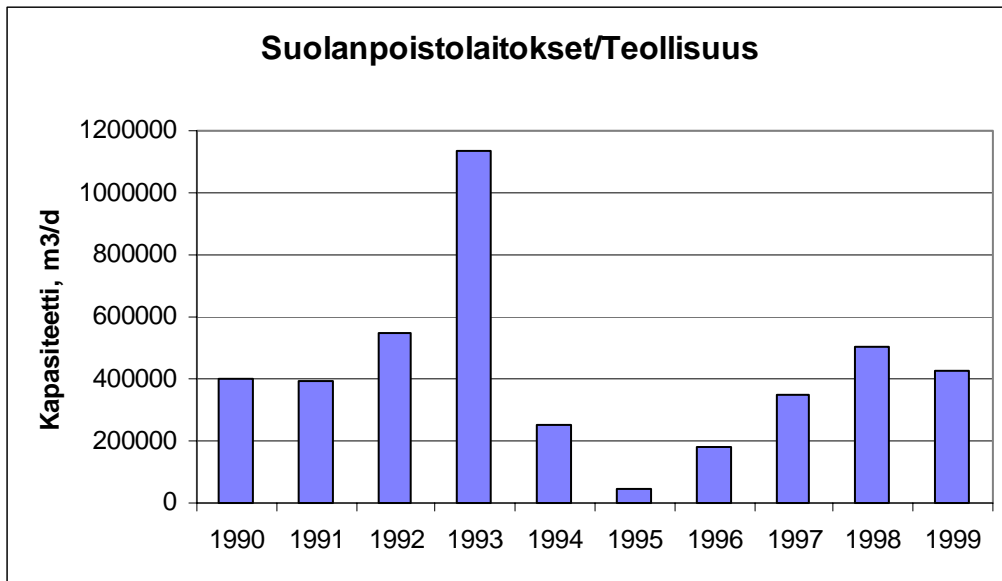
laitoksista. Vuonna 1999 vastaava osuus oli 37 %. Lukumääräisesti ME+VC-laitosten osuus kymmenvuotiskaudella oli 69 % kaikista termisistä laitoksista ja vuonna 1999 osuus oli 76 %. Tilastojen mukaan siis myös ME+VC-laitosten koko on kasvanut.



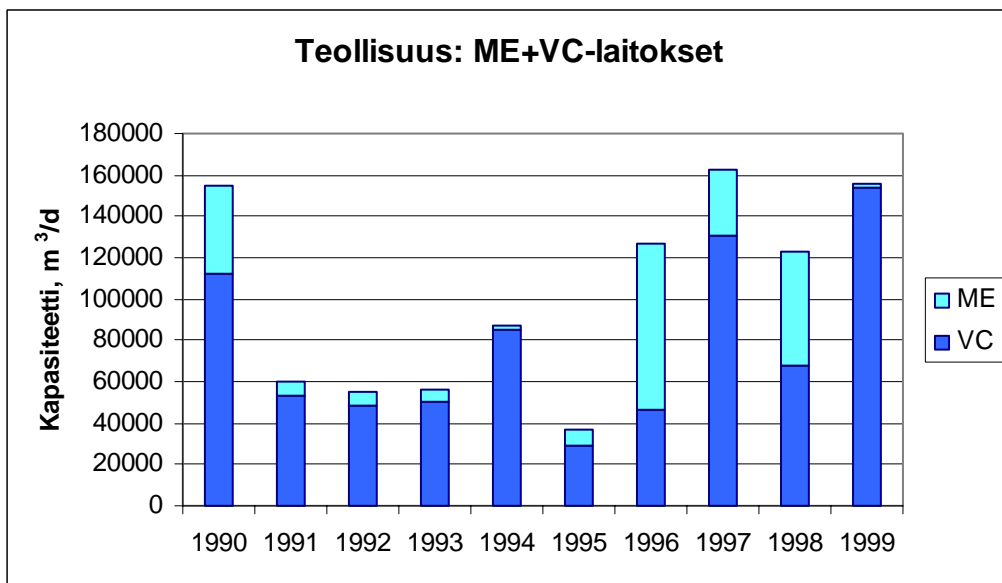
*Kuva 29. MED-tekniikan ja muiden termisten laitosten markkinatilanne 1990-luvulla rakentamiskapasiteetin perusteella.*

Termiset laitokset tuottavat puhdasta vettä, jolle voi olla erikoiskysyntää, lähinnä teollisuudessa. Teollisuuden veden hankinnalla on puhtauden lisäksi yleisesti vaatimuksena korkea tuotannon luotettavuus, lyhyet ja ennalta suunnitellut huoltojaksot sekä lyhyet toimitusajat ja luotettavat toimittajat myös käytön aikaisille varaosille. Suomalaiselle tisluslaitostekniikalle olisi siten markkina-aluetta teollisuuden vedenhankinnassa. Kuvassa 30 esitetään suolanpoistolaitosten rakentaminen teollisuudelle. Kymmenen vuoden rakentamisen keskiarvo on 420 000 m<sup>3</sup>/d vuosittain. Kuvan 31 mukaan tästä rakentamisesta ME- ja VC-laitoksia oli vuosittain keskimäärin 102 000 m<sup>3</sup>/d. VC-tyyppiset laitokset ovat yleisempiä kuin puhtaat ME-laitokset.

Edellä mainitun lisäksi energiantuotantoa varten rakennettiin keskimäärin 20 000 m<sup>3</sup>/d vesikapasiteettia, ja laitosten lukumäärä oli 9,7 vuosittain.



Kuva 30. Teollisuuden käyttöön rakennettu suolanpoistokapasiteetti vuosina 1990–1999.



Kuva 31. ME- ja V-laitosten rakentaminen teollisuuden vedentarvetta varten.

## 6.2 MSP:n markkinavahvuudet

MSP:n (Multi Supply Plant) ajatuksena on tuottaa ympäristöystävällisesti ja energiatehokkaasti sähköä ja makeaa vettä integroimalla moottorivoimalaitos ja tislausperiaatteella toimiva suolanpoistolaitos yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Moottorivoimalaitoksen hukkalämpö voidaan käyttää lähes kokonaan matalalämpötilaisen ME- (multi effect) tislauslaitoksen energianlähteenä. Täydentämällä ME-laitos höyryejektorilla, jonka tarvitsema ajohöyry saadaan moottorivoimalaitoksen pakokaasukattilasta, voidaan energiatehokkuutta (lämpöenergia/lämmönsiirrinpinta-ala) tehostaa edelleen niin, että saavutetaan kustannustaloudellisesti ja käyttöteknisesti maailman huippuluokkaa oleva sähkön ja veden tuotantomoduuli.

MSP:n tuotteiden (sähkön ja makean veden) laatutasoa voidaan pitää erittäin hyvänä ja toimintavarmuutta korkeana, jolloin yhdyskuntien sähkön- ja vedenhuollon ohella myös teollisuuden ja muun liiketoiminnan tuotevaatimukset täyttyvät. Moottorivoimalaitosten rakentamistilastojen mukaan laitosten rakentaminen on suuntautunut kehitysmaihin tai nopeasti kehittyviin maihin, usein alueille, joissa maantieteellisen sijainnin vuoksi on vesipulaa. Näin yhteiset markkina-alueet tukevat MSP:n mahdollisuuksia saavuttaa merkittävä osuus sinänsä voimakkaasti kilpailuilla markkinoilla.

MSP:n markkinakilpailijoina teknisten ratkaisujen osalta ovat paitsi erillistuotantoon perustuvat sähkön tuotanto ja meriveden tislaus myös perinteinen vastapainehöyryvoimalaitos tai kombivoimalaitos ja niihin liitetty tislauslaitos. Erillistuotantoon verrattuna MSP:llä on selvät ympäristö- ja kustannusedut puolellaan ja muihin yhteistuotantomuotoihin verrattuna MSP:n edullisuus vahvistuu niillä alueilla, joilla sähköntuotantoon käytetään moottorivoimalaitoksia ja ilmainen hukkalämpö voidaan käyttää tislaukseen. Erikoiskohteissa, kuten teollisuudessa, MSP tarjoaa riippumattoman ja luotettavan sähkön ja makean veden tuotantovaihtoehdon. MSP:n toimitusajat ovat olennaisesti pienempiä kuin perinteisten, suurempien kokoluokkien laitosten. MSP:n käyttökustannukset muodostuvat pääasiassa vain polttoainekustannuksista (öljy, maakaasu), sen sijaan henkilökustannukset ovat varsin pienet, ja sama henkilöstö voi hoitaa sekä voimalaitoksen että tislauslaitoksen käytön. Sopivien materiaalivalintojen avulla tislauslaitoksen käyttöä voidaan suunnitella voimalaitoksen teknillinen käyttöaika ja näin myös käytön aikaiset korjauskustannukset jäävät pieniksi.

MSP:n erittäin merkittävä kilpailuetu on joustava sopeutuminen erikokoisten tuotantoyksiköiden rakentamiseen ostajan toiveiden mukaan. Tislauslaitoksen kapasiteettia voidaan suunnitteluvaiheessa vaihdella liukuvana suurena ilman porrasmaisia muutoksia käyttäen hyväksi höyrystyspinta-alan lisäämistä vaiheiden sisällä ja vaiheiden määrän lisäämistä tai vähentämistä hyvin laajoissa rajoissa (1–20) . Ostajan toiveiden tai kil-



pailutilanteen mukaisesti voidaan samoja suunnitteluparametreja käyttää myös investointikustannuksien minimointiin tai veden tuotannon maksimointiin.

Suolanpoistolaitosten markkinoilla kalvotekniikkaan pohjautuva RO-menetelmä on laajentamassa markkinaosuuttaan ja tekniikka kehittyä vielä lisää. Menetelmä käyttää sähköenergiaa energialähteenä ja on siten riippuvainen luotettavasta sähkön saannista. RO-menetelmä soveltuu paremmin vähän suoloisten vesien puhdistukseen, ja esimerkiksi Arabian niemimaan merivesiä käsiteltäessä on käytettävä kaksivaiheista RO-laitosta, jolloin kustannukset nousevat selvästi yli tislauslaitoksen kustannustason. RO-laitoksille on tyypillistä vuosittainen membranien vaihtotarve ja teknillisesti suurempi vikaantumisriski kuin tislaustekniikassa. RO-laitoksen tuottama veden laatu on juomavedeksi soveltuvaa, mutta hyvin puhdasta vettä tuotetaan helpommin tislausmenetelmällä.

Tislauslaitoksista MSF-tekniikalla on ollut perinteisesti johtava markkina-asema. Viime vuosina ME-tekniikka on kuitenkin vahvistanut asemiaan MSF:n kustannuksella. ME-tekniikalla saavutetaan parempi energiatalous kuin MSF:llä ja energiakustannusten noustessa ympäristövaatimusten kasvaessa hyötysuhteeseen kiinnitetään entistä suurempaa huomioita. MSF-tekniikka kehittyi johtavaksi tekniikaksi helpomman korroosiohallin vuoksi. Laajennustislauksessa metallipinnat eivät joudu kattilakiven muodostumisen kohteeksi, mikä puolestaan on riskinä ME-tekniikan höyrystyspinnoille. Alempien lämpötilatasojen, sopivien lisäaineiden ja puhdistustekniikan sekä oikeiden materiaalivalintojen avulla myös ME-tekniikka saadaan korroosionkestäväksi ja haitattomaksi kattilankiven vaikutuksilta. Markkinoille pyrkivälle yritykselle on erityisen tärkeää onnistua ensimmäisten laitosten suunnittelussa ja käyttöönotossa, koska tiedonkulku suolanpoistobisneksessä tapahtuu nopeasti ja saavuttaa helposti erilaisten kattoorganisaatioiden kautta kaikki asianosaiset. Suolanpoistolaitostilastojen mukaan laitoksia ovat toimittaneet lukuisat yritykset, suuri osa vain yhden.

Makean veden valmistaminen merivedestä tulee jatkumaan tulevaisuudessakin, ja useiden lähteiden mukaan vettä joudutaan tuottamaan yhä enemmän keinotekoisesti kuluksen kasvaessa. Esitetään arvioita, että suolanpoistolaitosten rakentaminen lisääntyy yhä voimakkaammin, kun luonnollisista lähteistä hankittavan veden hinta kasvaa ja tislauslaitoksilla tuotettavan veden hinta alenee niin, että hinnat kohtaavat toisensa yhä useimmissa olosuhteissa eri puolilla maapalloa.

## 7. Yhteenveto

Makean veden käyttö lisääntyy maapallolla kiihtyvällä vauhdilla. Teollisuus ja sähkön-tuotanto tarvitsevat lisää puhdasta vettä ja erityisesti elintason nousu ja kaupungistumi-nen aiheuttavat veden lisätarvetta. Viljelymaan kasteluun käytetään tulevaisuudessa yhä lisää vettä. Samaan aikaan ilmaston lämpeneminen aiheuttaa sademäärien pienenemistä ja haihtuvuuden lisääntymistä juuri niillä alueilla, joissa jo perinteisestikin on vesipulaa. Sademäärien ja haihtumisen perusteella vesipulasta kärsiviä alueita ovat Välimeren eteläiset ja itäiset maat, osittain myös Välimeren saaret, Arabian niemimaa, osia Yhdysvalloista, Väli-Amerikka ja Karibian saaristo, osia Intiasta ja Pakistanista, eräitä Tyynen Valtameren saarivaltiot, Kanariansaaret sekä osat Saharan eteläpuolisesta Afri-kasta. Puhtaalle vedelle on kysyntää myös tietyissä erikoistarkoituksissa, joita ovat esi-merkiksi turismi, teollisuus, risteilyalukset jne.

Veden määrällisen riittävyyden lisäksi ongelmana on veden saastuminen. Erityisesti kehitysmaissa teollisuuden, maanviljelyn ja yhdyskunnan jätevesien vaikutus puhtaan veden lähteisiin lisää terveydellisiä riskejä ja miljoonien ihmisten arvioidaan kuolevan vuosittain saastuneen veden vuoksi. Pohjavesien liiallinen käyttö aiheuttaa monilla alueilla pääasiallisen vesilähteen pilaantumisen erilaisten suolojen ja raskasmetallien vaikutuksesta. Joillakin alueilla, lähinnä Lähi-idässä, vesi on maiden välisten poliittisten ristiriitojen osatekijä. Vesivarantojen saastumisesta johtuen myös länsimaissa, kuten Alankomaissa, Saksassa ja Isossa-Britanniassa on turvauduttu keinotekoiseen makean veden valmistukseen.

Juomakelpoisen veden puutteeseen on useita syitä: sopivia vesilähteitä ei ole, vesijohto-verkosto puuttuu tai se ei ole asianmukainen, vettä käytetään tuhlaavaisesti, vesi saastuu ympäristömyrkköjen vuoksi jne. Monilla toimenpiteillä voidaan veden saatavuutta pa-rantaa, mutta kun sademäärät tai veden luonnolliset kulkulähteet eräillä maapallon alueilla eivät riitä veden hankkimiseen, on turvauduttava keinotekoiisiin menetelmiin. Maapallon vesistä meriveden osuus on 97 %, ja poistamalla siitä suolat ihmiselle sopi-valle tasolle saadaan juomakelpoista vettä tai teollisuusprosessien vaatimaa sitäkin puhtaampaa vettä. Mitään jyrkkää kasvua suolanpoistetun veden käytössä ei ole kuiten-kaan tapahtunut, vaan kasvu on ollut kohtalaista sisältäen vuosittaisia vaihteluita. Suo-lanpoistolaitosten rakentaminen on ollut 1–1,4 milj. m<sup>3</sup>/d vuotuisella tasolla viime vuo-sikymmenen aikana.

Suolanpoistolaitosten rakentaminen on kuitenkin maailmanlaajuisesti suuri bisnes ja kymmenet ylikansalliset ja kansalliset yrityksen rakentavat ja toimittavat suolanpoisto-laitoksia. Suolanpoistolaitos on teknillinen järjestelmä, jonka käyttö edellyttää jonkin verran järjestäytyneitä hallinto-organisaatiota ja teknillistä osaamista. Suurten suolan-poistolaitosten rakentaminen vaatii huomattavan investointirahoituksen, laitos tarvitsee energiahuollon sähkön, lämpöenergian tai polttoaineen muodossa, käyttötoiminta edel-

lyttää teknologian hallintaa ja raakavesilähde pitää olla olemassa. Meriveden lisäksi raakavesilähteinä voivat olla suolapitoiset tai muutoin saastuneet pohjavedet, jokivedet, jätevedet jne.

50 000 asukkaan kaupungin varustaminen meriveden suolanpoistolaitoksella (n. 25 000 m<sup>3</sup>/d) vaatii noin 270 milj. mk:n investoinnin itse laitokseen ja oheisinvestointeja 60 milj. mk:n edestä. Pääomakustannuksien lisäksi toiminnasta muodostuu käyttökustannuksia, jotka voivat vuosikustannuksina olla lähes yhtä suuret kuin pääomakustannukset. Veden tuotantohinnaksi muodostuu helposti 10 mk/m<sup>3</sup>, vaihtelut ovat kuitenkin suuria olosuhteiden mukaan. Suolanpoistolaitoksia on rakennettu erityisesti Keski-itään, jossa Saudi-Arabiassa on eniten kapasiteettia, Yhdysvaltoihin, Kaukoitään, Väli-Amerikkaan, Pohjois-Afrikkaan ja Eurooppaan (mm. Välimeren alueelle ja Kanarian-saarille).

MSP (Multi Supply Plant) tuottaa ympäristöystävällisesti ja energiatehokkaasti sähköä ja makeaa vettä. Se perustuu moottorivoimalaitoksen hukkalämmön hyödyntämiseen tehokkaassa tisluslaitoksessa. Sähkön ja makean veden teknillinen, fysikaalinen ja kemiallinen laatu ovat niin hyviä, että ne soveltuvat sekä yhdyskuntien sähkön- ja vedenhuoltoon että teollisuuden ja muun liiketoiminnan vaatimuksiin.

Moottorivoimalaitosten rakentamistilastojen mukaan laitosten rakentaminen on suuntautunut kehitysmaihin tai nopeasti kehittyviin maihin, usein alueille, joissa maantieteellisen sijainnin vuoksi on vesipulaa. Näin yhteiset markkina-alueet tukevat MSP:n mahdollisuuksia saavuttaa merkittävä osuus sinänsä voimakkaasti kilpailluilla markkinoilla.

MSP:n markkinakilpailijoina ovat paitsi erillistuotantoon perustuvat sähkön tuotanto ja meriveden tislus myös perinteinen vastapainehöyryvoimalaitos tai kombivoimalaitos ja niihin liitetty tisluslaitos. Erillistuotantoon verrattuna MSP on ympäristöystävällisempi ja kustannuksiltaan edullisempi, ja muihin yhteistuotantomuotoihin verrattuna MSP:n edullisuus vahvistuu niillä alueilla, joilla ennestäänkin käytetään moottorivoimalaitoksia sähköntuotantoon. Erikoiskohteissa, kuten teollisuudessa, MSP tarjoaa riippumattoman ja luotettavan sähkön ja makean veden tuotantovaihtoehdon.

Suolanpoistolaitosten markkinoilla kalvotekniikkaan pohjautuva RO-menetelmä laajentaa markkinaosuuttaan. Menetelmä käyttää sähköenergiaa energialähteenä eikä siten täysin kilpaile samoilla markkinoilla kuin MSP. Lisäksi RO-menetelmä soveltuu paremmin vähän suoloisten vesien puhdistukseen kuin erittäin suolaiselle raakavedelle. Tislusmenetelmiä verrattaessa voidaan olettaa ME-tekniikan valtaavan markkinoita MSF:ltä paremman energiahyötysuhteen ansiosta, mikä osaltaan parantaa MSP:n mahdollisuuksia.

## Lähdeluettelo

Alawadhi, H. 1999. Regional report on desalination – Middle East. IDA Catalog # CD003. Proc., IDA World Congress on Desalination and Water Reuse, San Diego. S. 13–21.

Andrews, W. 1999. Regional report on desalination – Latin America and Caribbean. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. 1999.

BenJemaa, F., Houcine, I., Chahbana, H. 1999. Desalination in Tunisia: Past experience and future prospects. Desalination 116, s. 123–134.

BOSS, G. 2000. Boss Information Stock Quote Service. New York, dollari (USD). [www.finansium.fi/moneyline/bi/stock/USD.html](http://www.finansium.fi/moneyline/bi/stock/USD.html). (29.5.2000).

Corral, M., Juan J. 1999. Desalination in Spain, a race for lowering power consumption. IDA Catalog # CD003. Proc., IDA World Congress on Desalination and Water Reuse, San Diego. S. 23–32.

Ettouney, H., ElDessouky, H., Alatiqi, I. 1999. Understand thermal desalination. AIChE (American Institute of Chemical Engineers), Chemical Engineering Progress, September 1999. ISSN 0360-7275. S. 43–56.

Goto, T., McCormick, T. 1999. Overview of desalination in the Pacific Region. IDA World Congress on desalination and water reuse. IDA. 1999.

Hallmans, B., Stenberg, C. 1999. Introduction to BOOT. Desalination 123, s. 109–114.

Hawkins, R. 2000. Water Management – Priorities for International Hotel Industry. Presented at the Second World Water Forum. Organised by the World Water Council. The Hague, the Netherlands, 17–22 March, 2000. 10 s.

Heitman, H.-G. 1990. Saline Water Processing: Desalination and Treatment of Seawater, Brackish Water, and Industrial Waste Water. John Wiley and Sons Ltd. ISBN 3527278265. 319 s.

Hukka, J., Katko, T. 1999. Yksityistäminen vesihuollossa? Kunnallisan kehittämissäätiö. Kunnallisan kehittämissäätiön tutkimusjulkaisut, nro 19. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala. ISBN 952-9740-65-4, ISSN 1235-6956. Julkaisu on tulostettavissa säätiön kotisivuilta: [www.kaks.fi](http://www.kaks.fi)

IAEA 1998. Report on the validation of CDEE 8.2 – Improvements and validation of the IAEA cogeneration and desalination economic evaluation software (CDEE). IAEA advisory group meeting on "in-depth economic assessment of nuclear seawater desalination". Vienna, 9–13 March, 1998.

Legorreta, C., Hinge, S., Tonner, J., Lovato, A. 1999. Plates – the next breakthrough in desalination. *Desalination* 122, s. 235–246.

Mwansa, B. 2000. Prospective of tourism development with relation to water resources in Barbados. Presented at the Second World Water Forum. Organised by the World Water Council. The Hague, the Netherlands, 17–22 March, 2000. 8 s.

OUC 2000. Water Availability and Distribution. Introduction to Environmental Issues. Okanagan University College (OUC). Online Distance Courses, Geography. Kotisivu: <http://www.arts.ouc.bc.ca/> (15.4.2000).

Siswono, A. 1999. Desalination process as an Alternative for Potable Water Production in Indonesia. IDA Catalog # CD003. Proc., IDA World Congress on Desalination and Water Reuse, San Diego. S. 341–352.

Wangnick, K. 2000. IDA Worldwide Desalting Plants Inventory. Wangnick Consulting GMBH. CD-ROM: PAM2000. Gnarrenburg. Kotisivu verkossa: [www.wangnick.com](http://www.wangnick.com)

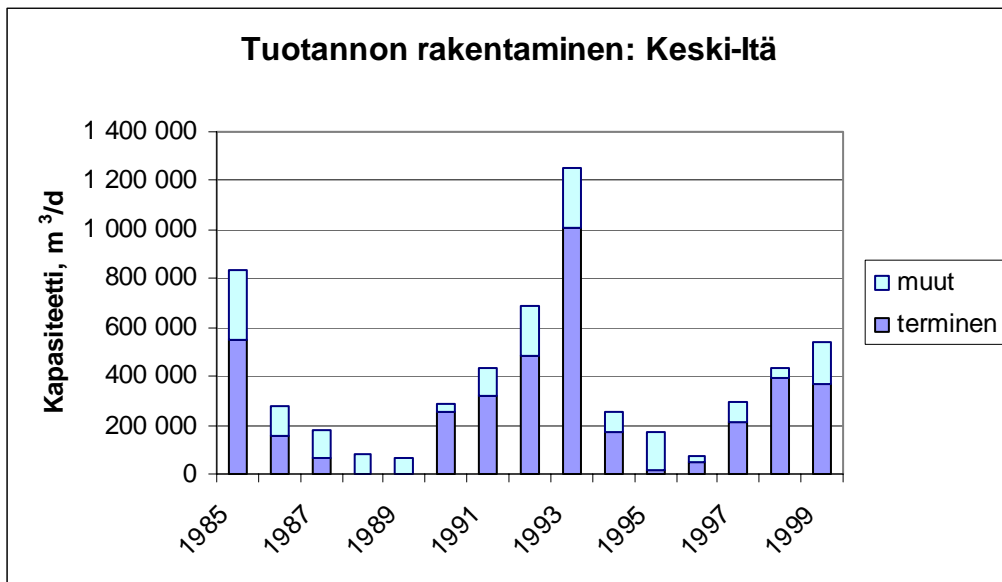
Wangnick, K. 2000. Present status of thermal seawater desalination technique. *The International Desalination & Water Reuse, Quarterly*. May/June, Vol. 10, No.1, s. 14–20. ISSN 1022-5404.

World Bank 1998. Private Participation in the water and sewage sector – Recent trends. The World Bank. Viewpoint, Note no. 147.

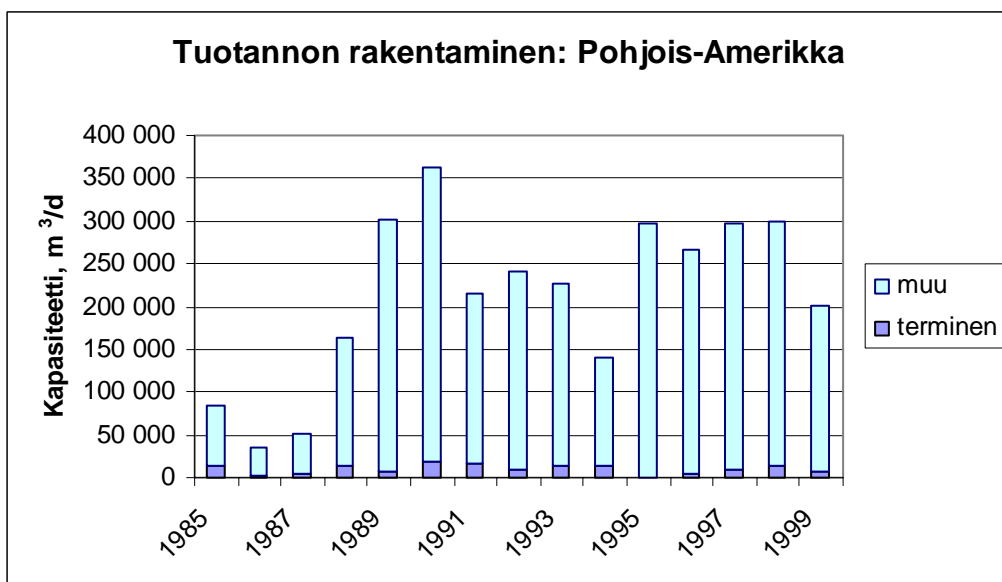
World Wide Water 2000. Verkkolähde: <http://www.desalination.com/>. 5 s.

WWV 2000. World Water Vision. Toim. Cosgrove, W. & Rijsberman, F. World Water Council. Earthscan Publications Ltd, London. 108 s. ISBN 1 85383 730 X. Verkkoversio kotisivu: <http://www.worldwaterforum.org/>

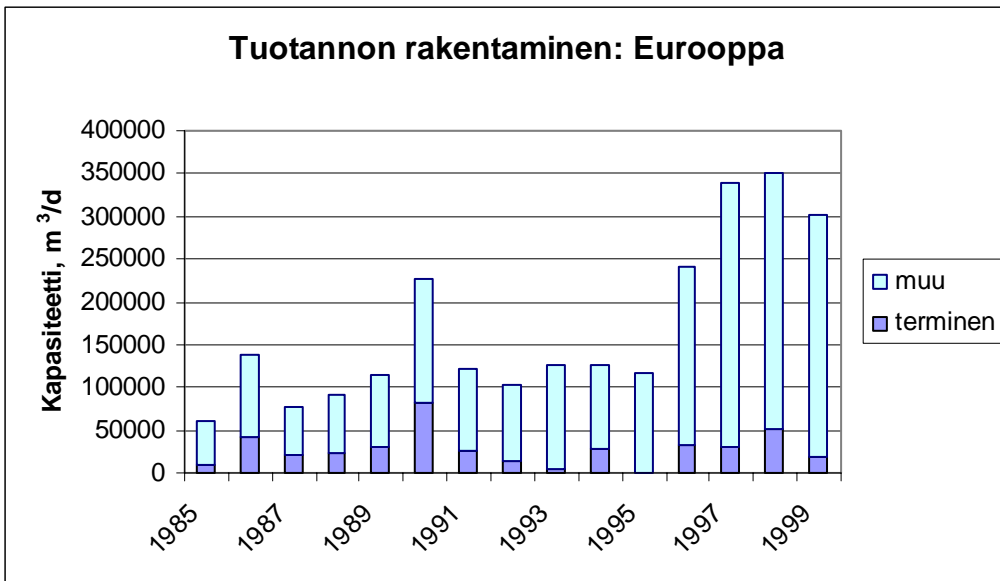
## Liite A: Suolanpoistokapasiteetin rakentaminen maanosittain



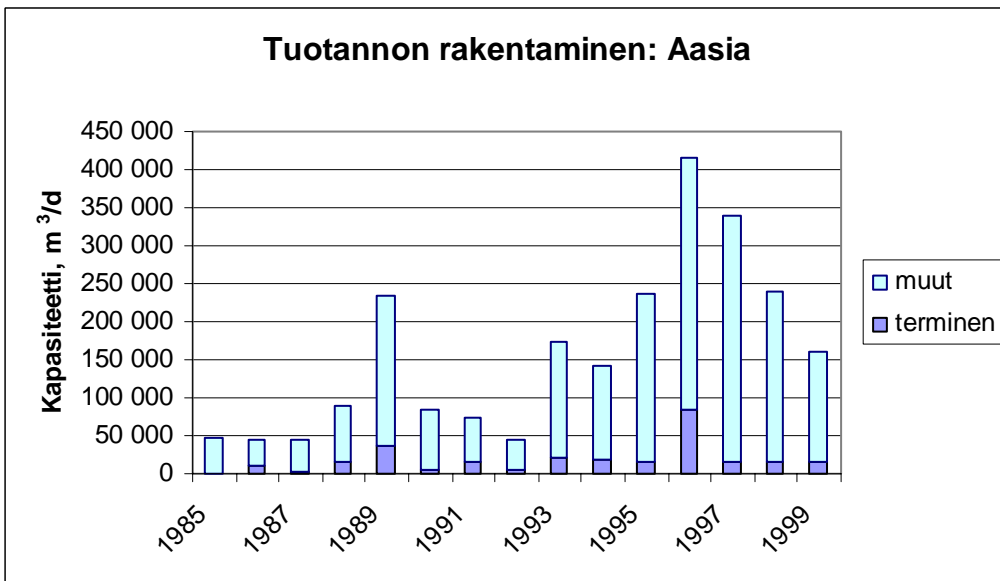
Kuva A-1. Suolanpoistolaitosten vuosittainen rakentaminen Keski-idässä.



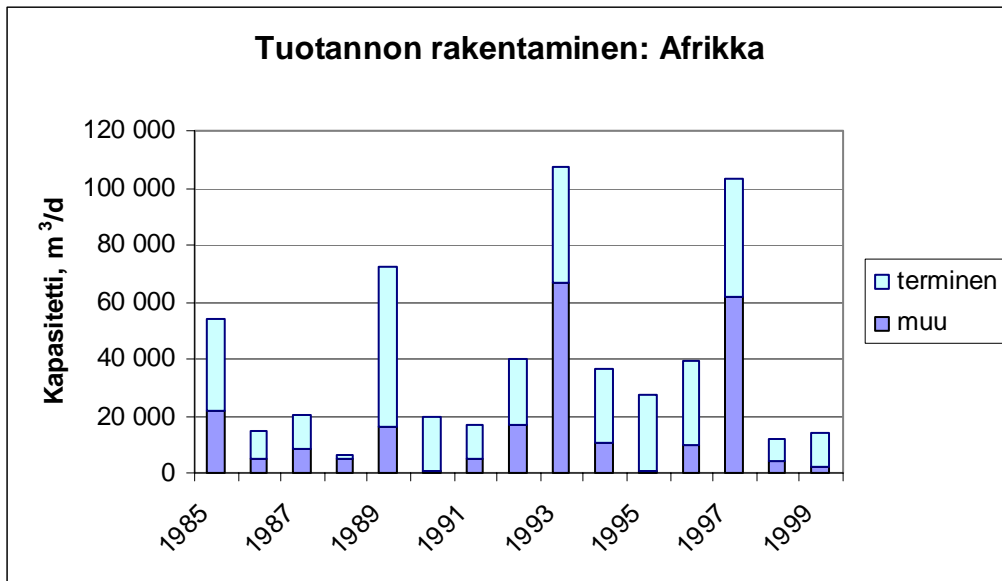
Kuva A-2. Suolanpoistolaitosten vuosittainen rakentaminen Pohjois-Amerikassa.



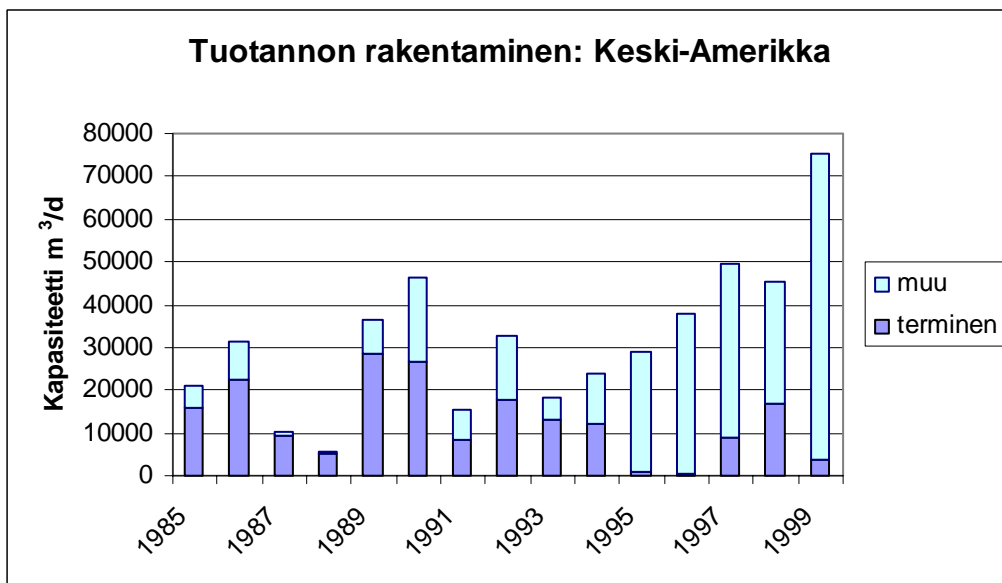
Kuva A-3. Suolanpoistolaitosten vuosittainen rakentaminen Euroopassa.



Kuva A-4. Suolanpoistolaitosten vuosittainen rakentaminen Aasiassa.

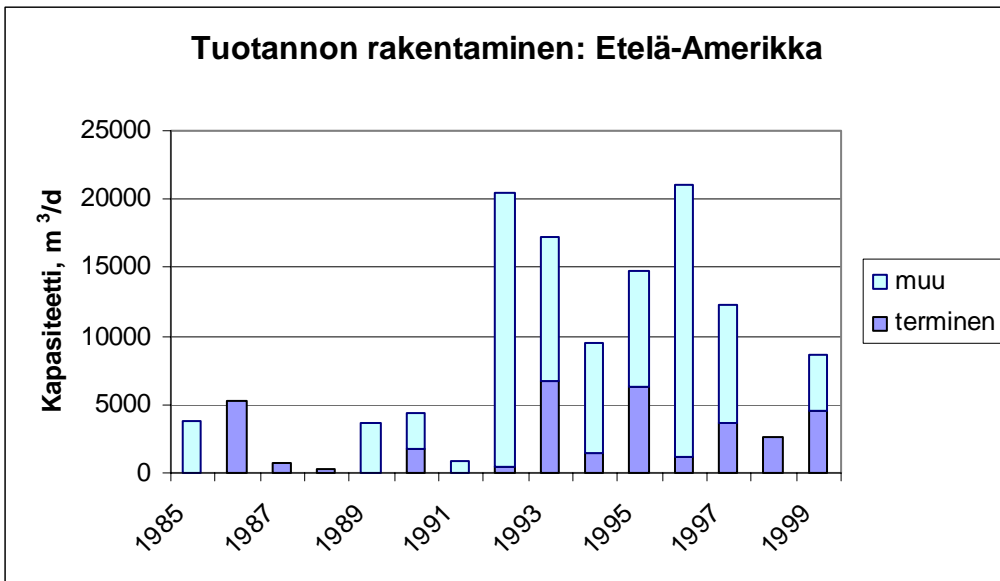


Kuva A-5. Suolanpoistolaitosten vuosittainen rakentaminen Afrikassa.

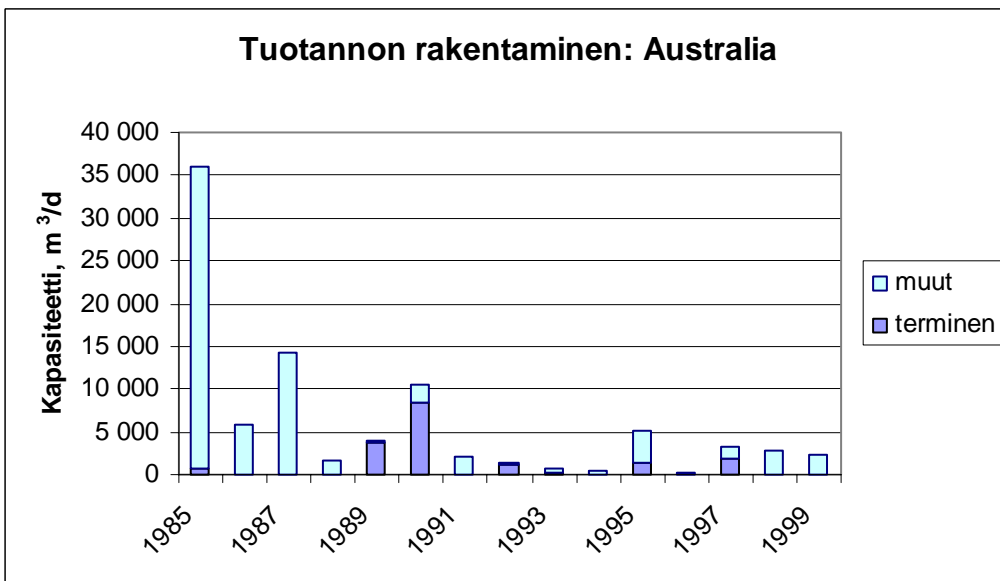


Kuva A-6. Suolanpoistolaitosten vuosittainen rakentaminen Keski-Amerikassa.





Kuva A-7. Suolanpoistolaitosten vuosittainen rakentaminen Etelä-Amerikassa.



Kuva A-8. Suolanpoistolaitosten vuosittainen rakentaminen Australiassa.

## Liite B: Suolanpoistolaitosten rakentaminen maittain

*Taulukko B-1. Suolanpoistolaitosten vuotuinen rakentamisvauhti vuosina 1990–1999 eri maissa.*

Maa	%-määrä kaikista	Kapasiteetti, m <sup>3</sup> /d per vuosi
USA	20.96 %	249538
Saudi Arabia KS	14.68 %	174721
UAE	13.50 %	160764
Spain E	8.07 %	96075
Japan J	4.27 %	50803
India IND	3.16 %	37671
Italy I	2.70 %	32172
Korea ROK	2.60 %	30987
Kuwait KWT	2.09 %	24907
Iran IR	1.91 %	22771
Qatar Q	1.90 %	22626
Bahrain BRN	1.79 %	21337
China CHN	1.44 %	17101
France F	1.33 %	15881
Taiwan RC	1.33 %	15829
United Kingdom	1.20 %	14263
Egypt ET	1.15 %	13740
Indonesia RI	1.12 %	13354
Mexico MEX	1.08 %	12806
Libya LAR	1.06 %	12589
Turkmenistan TM	0.95 %	11365
Germany D	0.89 %	10640
Cyprus CY	0.87 %	10300
Oman OM	0.79 %	9381
Antilles NL	0.76 %	9014
Malta M	0.50 %	5917
Tunisia TN	0.49 %	5845
Netherlands NL	0.40 %	4765
Singapore SGP	0.29 %	3501
Barbados BDS	0.29 %	3500
Canada CDN	0.29 %	3497
Israel IL	0.29 %	3482
South Africa ZA	0.29 %	3427
Algeria DZ	0.28 %	3386
Chile RCH	0.28 %	3376
Philippines RP	0.27 %	3224
Virgin Isl. USA	0.25 %	3005

## Liite C: RO-laitosten laitetoimittajat vuosina 1990–1999

*Taulukko C-1. RO-laitosten toimittajat 1990–1999.*

Laitetmittaja	Kapasiteetti m <sup>3</sup> /d	Yksiköt lkm	Yksikkökoko* m <sup>3</sup> /d	Laitokset lkm
IONICS USA	597774	444	1346	276
KURITA J	355864	239	1489	158
USFILTER USA	304045	149	2041	125
NOMURA J	285880	228	1254	161
EMCO USA	257990	44	5863	14
DEGREMONT F	244574	79	3096	30
MITSUBISHI J	193500	37	5230	11
ADVANCED ES USA	164396	29	5669	9
USF ARABIA KS	160961	338	476	262
HYDRANAUTICSUSA	154260	30	5142	9
HYDROPRO USA	145469	47	3095	30
CADAGUA E	136155	29	4695	12
CAMP DRESSER US	135000	15	9000	1
PRIDESA PASA E	134620	54	2493	32
METITO GROUP UA	126347	184	687	105
CHRIST CH	121980	116	1052	45
ABENGOA/PRIDES A	115000	16	7188	2
HANJUNG ROK	111680	6	18613	2
PREUSSAG D	109699	25	4388	9
ORGANO J	108114	106	1020	82
TEDAGUA E	106890	69	1549	51
WATER&POWER USA	95455	51	1872	47
AES USA	94286	33	2857	17
USF CULLIGAN US	94084	10	9408	4
WEIRWESTGARTH UK	85592	76	1126	27
CULLIGAN I	75779	128	592	112
ZENON CDN	70700	19	3721	14
ACWA UK	69172	49	1412	26
HARN USA	62910	23	2735	15
VATECH WABAG A	61346	45	1363	17
WATERLINK USA	60736	20	3037	13
INIMA E	56400	10	5640	1
IDE IL	54720	9	6080	4
POLYMETRICS USA	54000	12	4500	3
MANUFACTURER A	50160	20	2508	12
CADAGUA/INFILCO	50000	7	7143	1
AL KAWTHER KS	46479	121	384	108
DEGREMONT E	43200	5	8640	1
PRIDESA/INIMA E	42000	4	10500	1

MEMBRANESYS USA	41378	10	4138	5
AQUA CHEM USA	41171	156	264	7
GRAVER USA	40897	24	1704	18
CADAGUA/PRIDESA	40000	6	6667	2
ACE WATER J	38480	111	347	97
BABCOCK D	37560	11	3415	9
NUCHEM WEIR IND	37548	30	1252	20
WOONGJIN ROK	34067	12	2839	8
IONEXCHANGE IND	33078	17	1946	14
SVERDRUP USA	31854	7	4551	3
ROEN USA	30280	4	7570	1
HAGER&ELSÄSSER	28568	30	952	22
DESALCO UK	28068	19	1477	15
USF ENERSERVE N	28015	10	2802	6
OSMO SISTEMI I	27696	16	1731	16
GETCO KS	27359	45	608	35
SPA E	27300	12	2275	8
*Unknown	26966	14	1926	12
WATERSOURCE USA	23660	7	3380	2
PHIL. MUELLER D	23100	4	5775	2
TORAY ENG J	21420	16	1339	16
KECO USA	21256	78	273	1
AQUATECH IND	20500	6	3417	3
SASAKURA J	19650	13	1512	6
GACO CDN	18925	5	3785	1
BLACK&VEATCH US	18925	4	4731	1
MATRIX USA	18915	41	461	32
PWT AMERICA USA	18547	5	3709	1
EBARA J	17850	22	811	19
KAWASAKI J	17620	19	927	11
WEIR ENVIG ZA	17283	23	751	10
SNAM PROGETTI I	17000	4	4250	1
UAT USA	16856	31	544	18
SEPCON USA	16650	4	4163	1
INFILCO E	16500	4	4125	3
FANGDAR CHN	16480	13	1268	5
SHINKO J	16420	19	864	11
MT FRESHWATER S	16335	21	778	19
SPECIFIC EQ USA	16185	33	490	13
MEKOROTH IL	15930	6	2655	5
FISIA I	14600	13	1123	4
GAWA D	13960	15	931	14
SEATEC USA	13840	17	814	8
HOH DK	13562	20	678	20
MEMBRANE I	11516	21	548	16
CARDINAL USA	11355	5	2271	2
USF ROSSMARK NL	10800	3	3600	1
NIPPON RENSUI J	10760	27	399	22
SETEC NL	10648	15	710	15

KEI ROK	10409	1	10409	1
STEINMUELLER D	10200	4	2550	2
THERMAX IND	10000	2	5000	1
DORR OLIVER IND	9550	1	9550	1
MEDRO USA	8706	2	4353	2
THAMES WATER AU	8376	4	2094	2
UNIHA A	8120	8	1015	7
AQUA ENG. A	8055	7	1151	7
HYDREX F	7800	7	1114	2
AQUATECH USA	7570	2	3785	1
USF BEKOX E	6912	2	3456	1
BHARAT IND	6800	7	971	2
BLANCO RA	6440	6	1073	6
PALL ROCHEM D	6088	25	244	19
UNITIKA J	6040	7	863	7
PERMIONICS IND	5930	6	988	4
TOYOBO J	5862	7	837	6
ISEL CDN	5200	2	2600	2
NITTO DENKO J	5098	13	392	11
WTD I	5000	5	1000	1
CHEMITREAT SGP	4999	17	294	16
MITCO USA	4905	7	701	4
HITACHI PLANT J	4560	8	570	7
AQUAMATCH USA	4100	9	456	8
STORK FRIESL NL	3990	4	998	4
WSA USA	3816	2	1908	2
DESOCOL E	3667	12	306	12
POLYSEP NL	3600	2	1800	1
KRAFTANLAGEN D	3250	3	1083	3
SAUDI TRAD KS	3000	1	3000	1
AQUAMBIENTE	3000	2	1500	1
ENVPRODUCTS USA	2853	3	951	2
TEAM IND	2775	6	463	6
PERMUTITBOBYAUS	2728	2	1364	2
MARLAND USA	2500	2	1250	1
BIWATER UK	2430	2	1215	2
BHABHA RESEARCH	2300	1	2300	1
ALBUROOJ OMA	2265	13	174	10
APPLIED MEM USA	2180	1	2180	1
CULLIGAN B	1980	3	660	3
MCCORMACK USA	1962	2	981	2
AROCON USA	1960	2	980	2
WPT USA	1745	1	1745	1
IONPURE D	1638	5	328	2
BKG WASSER D	1524	7	218	7
OSMONICS USA	1514	1	1514	1
REDCON	1500	1	1500	1
MADEIRA ENG	1500	1	1500	1
IDRECO I	1500	1	1500	1

DOSHI ION IND	1500	1	1500	1
WATERPRO USA	1471	3	490	3
REL. WATER USA	1363	1	1363	1
VILL.MARINE USA	1257	2	629	2
LUKAP	1000	1	1000	1
WATERLAB RUS	960	1	960	1
TER	900	1	900	1
HTS NL	900	1	900	1
KOLON ENG. ROK	840	1	840	1
HITACHI ZOSEN J	700	2	350	2
ICH ENVIRON NL	600	1	600	1
NIPPON STEEL J	590	3	197	2
W&ES USA	550	1	550	1
HDO	550	1	550	1
MWT CH	480	2	240	2
CANDESAL CDN	420	2	210	2
TAKARASAKUSEI J	400	3	133	3
OSMOFLO AUS	400	1	400	1
MAEZAWA J	400	2	200	2
METEK GR	300	1	300	1
ALFA LAVAL DK	300	1	300	1
SAN-OH J	200	2	100	2
HATENBEER	200	1	200	1
NIHON WACON J	120	1	120	1
HUBERT STAVO NL	100	1	100	1

\* Laskennallinen keskiarvo

## Liite D: 1990-luvulla rakennetut polttomoottori-voimalaitokset

Taulukko D-1. Vuosina 1990–1999 rakennetut perusvoimaa tuottavat Wärtsilä NSD-polttomoottorilaitokset.

Maanosa	Valtio	Laitosten lmk	Kok.teho MW
Amerikka			
	Argentina	2	20
	Bolivia	1	3
	Brazil	8	322
	Canada	3	12
	Chile	2	59
	Curacao	2	39
	Dominican Republic	13	366
	Ecuador	4	61
	El Salvador	3	260
	Grenada	1	5
	Guatemala	4	192
	Guyana	5	72
	Haiti	1	11
	Honduras	4	179
	Jamaica	2	87
	Martinique	1	90
	Netherlands Antilles	2	24
	Nicaragua	6	63
	Peru	6	95
	St. Lucia	2	42
	St. Vincent	3	14
	USA	9	118
	Virgin Islands	1	10
	Caribbean	1	16
	Seychelles	3	56
	Antigua	1	12
Australia			
	Australia	14	137
Aasia ja Oseania			
	China	81	3 051
	North Korea	2	17
	South Korea	1	13
	French Polynesia	3	7
	Guam	1	2
	New Calenodia	1	14
	Philippines	43	1 385
	Papua New guinea	3	65
	Cambodia	2	24
	Malaysia	7	145

	Vietnam	5	93
	India	129	1 555
	Bangladesh	5	17
	Maldives	3	12
	Nepal	1	12
	Pakistan	20	537
	Sri Lanka	3	38
	Indonesia	76	1 178
Afrikka ja Keski-Itä			
	Burkina Faso	1	5
	Chad	1	4
	Comores	3	7
	Egypt	8	80
	Ethiopia	3	30
	Guinea	3	56
	Iran	4	15
	Israel	1	26
	Kenya	1	5
	Mali	1	9
	Mauritania	5	37
	Maritius	5	120
	Morocco	2	13
	Oman	1	3
	Saudi Arabia	11	124
	Sierra Leone	1	10
	Syria	4	20
	Tanzania	1	113
	Togo	1	5
	UAE	3	20
	Yemen	7	132
Proomuvoimailaitokset			
	Bangladesh	3	231
	Dominican Republic	4	170
	Guatemala	1	110
	Indonesia	1	10
	Jamaica	2	72
	Philippines	12	444



## Liite E: Wärtsilä NSD:n toimittamat varavoimalaitokset

*Taulukko E-1. Wärtsilä NSD:n toimittamat varavoimalaitokset maanosittain ja maittain.*

Maanosa	Maa	Kokonaisteho MW	Laitosten lkm
Amerikka			
	ARGENTINA	2,3	1
	BRAZIL	24,6	3
	CANADA	5,1	2
	DOMINICA	1	1
	ECUADOR	9	4
	FALKLAND ISLANDS	5	3
	HONDURAS	8,3	1
	YHDYSVALLAT	42	3
Australia			
	AUSTRALIA	2,8	2
Aasia ja Kaukoitä			
	CHINA	15	7
	JAPAN	10	2
	SOUTH KOREA	42,6	6
	TAIWAN	22,1	12
	INDONESIA	19	8
	BRUNEI	6	1
	MALAYSIA	10	3
	SINGAPORE	23	5
	INDIA	30	2
	PAKISTAN	4	1
	BANGLADESH	4	1
Afrikka ja Keski-Itä			
	ALGERIA	4	2
	EGYPT	3	10
	IRAN	13	4
	IRAQ	9	1
	KUWAIT	17	1
	LIBYA	1	1
	NIGERIA	4	2
	SAUDI ARABIA	66	9
	TANZANIA	1	1
	UAE	21	5



Tekijä(t) Ranne, Aulis			
Nimeke <b>Multi Supply Plant</b> <b>Sähkö ja vesi</b>			
Tiivistelmä <p>MSP (Multi Supply Plant) -laitoksen tuoteideana on muodostaa integroitu laitos, joka tuottaa sähköä ja makeaa vettä ympäristöystävällisesti ja energiataloudellisesti niissä kohteissa, joissa tuotannon luotettavuudelle ja tuotteiden hyvälle laadulle asetetaan korkeat vaatimukset ja joissa kustannusten kokonaisuutena pidetään tärkeänä. MSP perustuu moottorivoimalaitoksen ja veden tisluslaitoksen integrointiin niin, että voimalaitoksen hukkalämpö käytetään makean veden tuottamiseen merivedestä.</p> <p>Suolanpoistolaitosten rakentaminen on ollut parikymmentä vuotta hienoisessa kasvussa ylittäen nykyisellään 1 milj. m<sup>3</sup>/d vuosittaisen rakentamismäärän. Markkinat ovat sinänsä suuret ja tulevaisuudessa arvioidaan tarvittavan yhä lisää suolanpoistokapasiteettia vesipulan helpottamiseksi, mutta myös laitosten toimittajia on paljon ja käyttökohteiden olosuhteet vaihtelevat suuresti. Modernin tislustekniikan ja edullisen energian avulla sekä sopivien sähkömarkkinoiden alueella MSP:llä voidaan arvioida olevan mahdollisuuksia saavuttaa merkittävä markkina-asema. Tälläkin hetkellä moottorivoimalaitoksia rakennetaan maanosiin ja erilaisiin kohteisiin, joissa käyttövedestä on puutetta.</p> <p>Vesipulasta kärsivät alueet ja alueet, joissa on sijaintinsa, yhdyskuntarakenteensa ja teknistaloudellisen tasonsa puolesta on valmiuksia hankkia suolanpoistolaitoksia, ovat Arabian niemimaa, Välimeren etelän- ja idänpuoleiset maat, Välimeren saaret ja eräät Väli-Amerikan valtiot, osa Intiaa, eräät alueet Itä- ja Kaakkois-Aasiassa sekä Yhdysvallat ja Espanja (mm. Kanariansaaret). Tisluslaitoksia rakennetaan runsaasti myös muissa maissa erityistarpeita varten, kuten saastuneen tai suolaantuneen makeanveden puhdistamiseksi, puhtaan veden saannin varmistamiseksi ja luotettavuuden parantamiseksi lähinnä teollisuustarkoituksiin ja turistialueita varten.</p> <p>Maapallon vesipulan arvioidaan pahenevan jatkuvasti väestömäärän kasvaessa, elintason noustessa, teollisuuden ja maanviljelyn vedentarpeen lisääntyessä sekä luonnollisten vesivarantojen ylikäytön vuoksi. Monilla alueilla pohjavesivarannot ovat saastumassa liiallisen käytön vuoksi. Myös jätevesien huono viemärointi pilaa käytettävissä olevia vesivarantoja. Ilmaston lämpenemisen arvioidaan eräillä alueilla lisäävän keinotekoisien vedenhankinnan tarvetta. Veden puute ja sen huono laatu aiheuttavat jo tällä hetkellä vuosittain miljoonien ihmisten kuoleman tautien yms. vuoksi.</p>			
Avainsanat power generation, dual-purpose power plants, internal combustion engines, power supply, water supply, integration, seawater, desalination, distillation, costs			
Toimintayksikkö VTT Energia, Energiajärjestelmät, Tekniikantie 4 C, PL 1606, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5759-X (nid.) 951-38-5760-3 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Projektinnumero N9SU00349	
Julkaisu-aika Marraskuu 2000	Kieli Suomi	Sivu-ja 84 s. + liitt. 12 s.	Hinta B
Projektin nimi MSP		Toimeksiantaja(t) Tekes, Andritz-Ahlstrom, Wärtsilä DSN	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	



Author(s) Ranne, Aulis			
Title <b>Multi Supply Plant Power and potable water</b>			
Abstract <p>The product concept of MSP (Multi Supply Plant) includes an integrated plant that eco-efficiently produces electricity and potable water on a site, where high reliability and good quality for the products are required, and where the total economy is paid attention to. MSP is based on integration of engine power plant and desalination plant in such a manner that waste heat from power plant is utilized in production of freshwater from seawater.</p> <p>The amount of construction of desalination plants has grown moderately during the last twenty years, and exceeds annually a capacity of one million m<sup>3</sup> per day. The market for desalination is as such large, and additional capacity is assumed to be needed for relief of water scarcity in the future. But, the amount of suppliers of desalination plants is also large, and in addition, conditions on each site vary in a large range. MSP has an opportunity to reach a considerable market share in production of freshwater by modern distillation techniques and by using waste heat. In these days, engine power plants are built in all the continents and in different targets, where also lack of potable water exists.</p> <p>The areas suffering of water scarcity and having technical, economical and social potential to provide desalination plants are Middle East, southern and eastern countries of Mediterranean, some islands such as Canarian Islands, some countries in Middle America, a part of India, some countries in Far East, and USA. Desalination plants are built for special purposes also in other countries, e.g. for industry and tourism to ensure the reliable supply of pure water, and for purification of polluted ground water.</p> <p>The water scarcity is expected still to worsen on Earth due to growing population, rising living standard, growing agriculture and industry, and due to the overexploitation of natural water sources. The ground water reservoirs are polluted because of excessive use in several places. Poor sewage disposal pollutes also freshwater sources. The climate change is expected to raise the need for artificially produced freshwater in some areas. The lack of potable water and poor quality of water annually cause death of millions of people e.g. because of diseases.</p>			
Keywords power generation, dual-purpose power plants, internal combustion engines, power supply, water supply, integration, seawater, desalination, distillation, costs			
Activity unit VTT Energy, Energy Systems, Tekniikantie 4 C, P.O.Box 1606, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5759-X (nid.) 951-38-5760-3 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Project number N9SU00349	
Date November 2000	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 84 p. + app. 12 p.	Price B
Name of project MSP		Commissioned by Tekes, Andritz-Ahlstrom, Wärtsilä DSN	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	