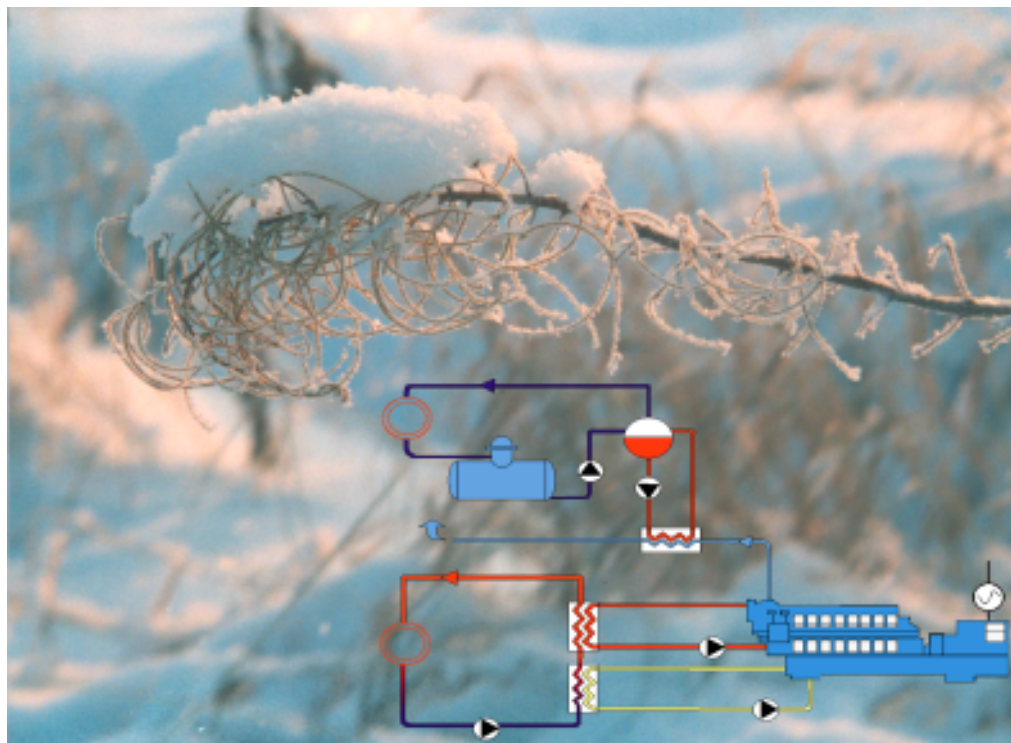


Aulis Ranne

# Multi Supply Plant

## Sähkö ja kylmä





# Multi Supply Plant

## Sähkö ja kylmä

Aulis Ranne

VTT Energia



ISBN 951-38-5826-X (nid.)  
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5827-8 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)  
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2001

#### 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 2001

Ranne, Aulis. Multi Supply Plant. Sähkö ja kylmä. [Multi Supply Plant. Power and chill]. Espoo 2001. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2097. 114 s.

**Avainsanat** power plants, power generation, district heating, district cooling, heat pumps, co-generation, absorption, cooling towers, cold storage, costs

## Tiivistelmä

MSP (Multi Supply Plant) -laitoksen tuoteideana on muodostaa integroitu laitos, joka tuottaa sähköä ja kylmää ja mahdollisesti lisäksi lämpöä, prosessihöyryä, tislattua vettä tms. hyödykettä niissä kohteissa, joissa sähkö tuotetaan moottorivoimalaitoksella ja muut tuotteet voimalaitoksen jätelämmöllä. Tässä tutkimuksessa keskityttiin sähkön ja kylmän tuottamiseen MSP-laitoksella.

Kylmän tuottamiselle on kasvava tarve, kun sisätilojen olosuhteille asetetaan yhä suurempia vaatimuksia tehokkaan työskentelyn tai viihtyvyyden lisäämiseksi. Myös monet uuden teknologian laitteet vaativat valmistus-, testaus- ja käyttövaiheessaan tarkasti säädelyjä olosuhteita, mikä edellyttää ilman jäähdytystä. Perinteisten kylmän käyttökohteiden elintarvike- yms. ketjuissa arvioidaan myös lisääntyvän. Maantieteellisesti kylmän tuottamisen tarve on suurimmillaan suurkaupungeissa, jotka sijaitsevat trooppisessa ilmastossa, mutta kesäaikainen auringonsäteily aiheuttaa esimerkiksi jo Helsingin tasolla sisäilman jäähdytyksen tarvetta. Helsingissä toimistorakennuksen jäähdytystehon tarve on jonkin verran pienempi kuin lämmitystehon tarve vuoden aikana, mutta jo Etelä-Euroopassa tilanne on vastakkainen.

Perinteinen kylmäntuottaminen perustuu sähkökäyttöisiin kompressoreihin, ja lämpimämmässä maissa ovatkin ongelmana jäähdytyksestä aiheutuvat sähkön kulutushuiput kesäaikaan. Kymmenen viime vuoden aikana on kylmäntuotantoa varten kehitetty absorptiotekniikkaa, jossa käyttöenergiana on lämpötilaltaan 80–180 °C-asteinen lämpö. Myös kaukokylmäjärjestelmät ovat lisääntyneet. Kylmä tuotetaan keskitetysti ja siirretään kuluttajille putkistossa. Absorptiotekniikka kuluttaa yhteistuotannossa suunnilleen saman verran primäärienergiaa kuin sähkön erillistuotantoon liitetty kompressorilaitoskin eivätkä kasvihuonekaasutkaan juuri vähene. Kuitenkin jos absorptiolaitoksessa voidaan hyödyntää jätelämpöä, pienenevät sekä primäärienergiantarve että kasvihuonekaasut.

MSP-laitokseen voidaan liittää kylmää tuottava absorptiolaitos käyttäen erilaisia laiteratkaisuja niin, että kuluttajan kylmäntarve voidaan tyydyttää hyvin joustavasti. Moottorivoimalaitosten päämarkkina-alueet ovat alueilla, joissa jäähdytyksen tarve on suurimmillaan. Absorptiokylmälaitosten taloudellisuus muodostuu erittäin hyväksi, kun lämpöenergiana on moottorivoimalaitoksen jätelämpö. Optimaalisen MSP:n toteuttamiseksi tarvitaan vielä jonkin verran tuotekehitystä ja pilottilaitos.

Ranne, Aulis. Multi Supply Plant. Sähkö ja kylmä. [Multi Supply Plant. Power and chill]. Espoo 2001. Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2097. 114 p.

**Keywords** power plants, power generation, district heating, district cooling, heat pumps, co-generation, absorption, cooling towers, cold storage, costs

## Abstract

The product concept of MSP (Multi Supply Plant) includes an integrated plant that produces electricity and chill, and possible also heat, process steam, desalinated water or other commodities on a site, where the engine power plant produces electricity, and the other production is based on waste heat of the plant. This report focuses on the production of electricity and chill by MSP-plant.

Production of chill has a growing need, as bigger requirements are put for room air in order to enhance efficiency of labour and to improve comfort. New-technology equipment requires exactly regulated conditions at the stages of production, testing and use, which cause also a need for air cooling. The number of traditionally refrigerated rooms e.g. in food chains is also assumed to grow. Geographically, the need for chill production is biggest at the metropolises located at the tropic climate, but the solar radiation causes need for chilling e.g. in Helsinki in the summer. The demand for chilling power in office buildings is only a little under the demand for heating power in Helsinki during a year, but the situation is opposite already in Southern Europe.

Chill production is based traditionally on electricity driven compressors, and this is due to peak consumption of electricity in warmer countries at summer time. Absorption technology for chill production has been developed during the past ten years, and driving energy is in these cases heat at a temperature of 80–180 degree centigrade. Also the number of the district cooling systems has increased. The chill production is centralised and the chill is transported to consumption in the pipe network. The primary energy needed for absorption and compressor chillers of the same cooling capacity is quite similar, and greenhouse gas effect is also at the similar level. However, the need for primary energy and the amount of greenhouse gases are reduced, if waste heat is utilised in absorption machines.

The absorption plant can be integrated to MSP using different techniques, and so the need for chill by various consumers can be met very flexibly. The main markets of the engine power plants are in the areas where also the need for cooling is biggest. The competitiveness of MSP including an absorption machine is good based on the utilising of waste heat. Research and pilot-plants are still needed to develop optimal MSP-plant and district cooling system.

# Alkusanat

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin sähkön ja jäähdytystarkoitukseen käytettävän kylmän tuottamista yhteistuotantoperiaatteella, kun sähkö tuotetaan moottorivoimalaitoksella ja laitoksesta saatava hukkalämpö käytetään hyväksi absorptiolaitoksessa kylmän tuottamiseksi. Tutkimuksen pääpaino oli kylmäntuotantojärjestelmien analysoinnissa ja MSP (Multi Supply Plant) -laitoksen kilpailumahdollisuuksien hahmottamisessa.

Kaksiosaisen MSP-projektin ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin sähkön ja juomaveden tuotantomahdollisuuksia, ja siitä on julkaistu erillinen raportti.

Projektin tämän osan rahoittivat Teknologian tutkimuskeskus (Tekes), YIT-Rakennus Oy ja Wärtsilä Finland Oy. Mainitut yritykset osallistuivat myös tutkimuksen toteutukseen toimittamalla tarvittavaa tietomateriaalia.

Projektin johtoryhmään kuuluivat Jerri Laine Tekesistä, Erkki Taskinen YIT-Rakennus Oy:stä ja Anders Lindberg Wärtsilä Finland Oy:stä. Tutkimuksen teki erikoistutkija Aulis Ranne VTT Energiasta.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
Symboliluettelo.....	8
1. Johdanto .....	9
2. Kylmäntuottamisen tarve maapallon eri osissa.....	11
2.1 Ilmastolliset vaikutukset.....	11
2.2 Kylmäntuottamisen tarve tapauskohtaisesti .....	15
2.2.1 Pari esimerkkiä Kaukoidästä .....	15
2.2.2 Pari esimerkkiä Etelä-Euroopasta.....	19
2.2.3 Muita selvityksiä.....	23
3. Kylmäjärjestelmien komponentit.....	26
3.1 Absorptiokoneet .....	26
3.1.1 Toimintaperiaate ja single effect -laitteisto .....	26
3.1.2 One stage ja double effect -absorptiolaitos.....	30
3.1.3 One stage – double lift -absorptiokone .....	33
3.1.4 Testaus- tai ideointivaiheessa olevia kylmälaiteratkaisuja .....	36
3.1.5 Matalat kylmälämpötilat .....	41
3.2 Muut komponentit .....	43
3.2.1 Jäähdytystorni .....	43
3.2.2 Kylmävarastot.....	45
3.2.3 Kaukokylmän siirtojärjestelmä.....	47
4. Kaukokylmän rakentaminen eri maissa .....	49
4.1 Kaukokylmän rakentamisen yleispiirteet .....	49
4.2 Kaukokylmä alueittain.....	51
4.2.1 Eurooppa.....	51
4.2.2 Pohjois-Amerikka .....	59
4.2.3 Aasia .....	60
4.2.4 Muut maat.....	62
5. Yhteistuotantolaitosten toteutus-esimerkkejä .....	64
5.1 Helsingin Ruoholahti.....	64
5.2 Shinjuku Japanissa .....	66



5.3	Dresden microchip plant.....	68
5.4	Köln/Bonn-lentokenttä .....	70
5.5	Jääurheilukeskuksen suunnitelmat .....	72
6.	Kustannustarkastelua .....	74
7.	MSP-sähkö ja kaukokylmä .....	87
7.1	Moottorivoimalaitos .....	87
7.1.1	Energiataseet.....	87
7.1.2	Voimalaitostilastot.....	90
7.2	Sähkön ja kylmäenergian tuotanto .....	94
7.3	MSP:n energiataloudelliset vahvuudet .....	102
8.	MSP:n markkinat .....	105
8.1	Markkinatilanne.....	105
8.2	MSP:n soveltumiskohteet.....	106
8.2.1	Hajautetun energiantuotannon kohteet .....	106
8.2.2	Kaukokylmäjärjestelmä .....	107
8.2.3	Maantieteellinen ja yhteiskunnallinen näkökulma .....	107
9.	Yhteenveto .....	109
	Lähdeluettelo.....	112

# Symboliluettelo

Absorptio	Liukseen tapahtuva imeytyminen
Adsorptio	Kiinteään aineeseen tapahtuva imeytyminen
Desorptio	Kylmäaineen höyrystyminen liuksesta
Generator	Keitin (lämmön tuonti absorptiokoneeseen)
Condencer	Lauhdutin (kylmäaineen lauhtuminen absorptiokoneessa)
Evaporator	Höyrystin (kylmäaineen höyrystyminen absorptiokoneessa)
Single effect	Yksivaiheinen absorptiokone
Double effect	Kaksivaiheinen absorptiokone (kaksi keitintä)
Double Lift	Kaksiosainen lämpötilannosto absorptiokoneessa
Dual heat	Kaksivaiheinen ulkopuolisen lämmön tuonti
Vesi-LiBr	Vesi-litiumbromidi-työainepari absorptiokoneessa
NH <sub>3</sub> -Vesi	Ammoniakki-vesi-työainepari absorptiokoneessa

# 1. Johdanto

Kylmän tarpeen lisääntyminen viime vuosina johtuu ensisijaisesti viihtyvyysvaatimusten lisääntymisestä työssä, vapaa-aikana, julkisissa yleisötiloissa ja myös asumisessa. Rakennusten ilmanvaihto toteutetaan yhä useammin kiinteistökohtaisesti ja tuloilman jäähdyttämisen avulla saadaan sisäilma lämpötilaltaan sopivaksi. Viihtyvyyden parantamisen arvioidaan puolestaan tuottavan hyötyä varsinaiselle toiminnalle. Myös määräykset voivat edellyttää työskentelylämpötilan pitämistä sallituissa rajoissa. Comfort-kylmän lisäksi tekniset laitteistot ja toiminnot edellyttävät ulkoisten olosuhteiden hallintaa ja näin myös lämpötilan säätöä. Luonnollista kasvua kylmän tarpeelle tuovat rakennuskannan uusiutuminen ja lisääntyminen ja toimistotyyppisen työskentelyn lisääntyminen. Perinteisesti kylmää on tarvittu erityisesti elintarviketeollisuuden valmistus- ja säilytysprosesseissa ja kaupan tiloissa. Myös teollisuustilojen jäähdytys on yleistä ja välttämätöntä prosessista ja ilmasto-olosuhteista riippuen.

Kylmän tuotantarvetta ei esiinny vain trooppisilla alueilla, vaan auringonsäteilyn vaihteluiden ja muiden ilmastoon vaikuttavien tekijöiden vuoksi jäähdytystä tarvitaan osan vuotta jopa 60<sup>o</sup>:n leveyspiirien ulkopuolella. Kylmän tarpeen potentiaaliset alueet riippuvatkin ilmasto-oloista, asutuksen ja toimintojen sijoittumisesta maapallolla sekä yhteiskunnallisesta rakenteesta ja maakohtaisista varallisuusseikoista.

Eräs kylmän tuottamisen markkinoihin vaikuttava yhteiskunnallinen muutosilmiö on päätoimintaan liittyvien aputoimintojen ulkoistaminen. Esimerkiksi liiketiloissa liiketoiminta on päätoiminto ja tilojen ylläpito on aputoimintaa, joka eriytetään päätoiminnasta ja siirretään ulkopuolisen erikoisyrittäjän toiminnaksi. Tällä tavalla kylmästä on tulossa aputuote, joka ostetaan kuten muutkin tuotantarvikkeet, ja vastaavasti kylmästä on tulossa kylmäntoimittajille päätuote. Toimintojen eriyttäminen on osaltaan edistänyt kylmäntuotannon tuotekehitystä, ja kymmenessä vuodessa onkin valmistettu sekä parempia laitteita että kilpailevia laiteratkaisuja.

Perinteisenä kylmäntuotantotapana voidaan pitää sähkötoimista kompressorilaitosta. Vanhimmat ja pienimmät laitteet tällä hetkellä ovat mäntäkompressoreita. Niistä ollaan siirtymässä meluttomampiin ja tehokkaampiin pyörimisliiketyyppisiin laitteisiin. Kierukka- ja ruuvityyppiset kompressorit hallitsevat alle muutaman sadan kilowatin markkinoita. Suurimmat kompressorit ovat keskipakotyyppisiä ja niiden yksikkökoko lähentelee suurimmillaan 10 MW:a. Kilpailevana tuotteena ovat absorptiotyyppiset kylmäkoneet. Niiden toimintaperiaate on sisänsä tunnettu jo sata vuotta, mutta kymmenen viime vuoden aikana niiden lukumäärä on voimakkaasti lisääntynyt. Absorptiokoneen käyttöenergiana on lämpöenergia, jonka lämpötila vaihtelee laiteratkaisun mukaan. Tyypilliset lämpötila-alueet ovat 80–120 °C ja 150–180 °C. Vesi on tavanomainen lämmönsiirtoaine, mutta höyry on yleisempi korkeammassa lämpötilassa. Myös suorapoltto voidaan

käyttää energialähteenä. Absorptiokoneet ovat kylmän lämpötilatason puolesta kahdenlaisia: yli nolla-asteessa toimivia vesi-LiBr-koneita tai pääasiassa alle nollan lämpötilaista kylmää tuottavia NH<sub>3</sub>-vesi-koneistoja.

Kaukokylmällä tarkoitetaan kylmää, joka tuotetaan keskitetysti ja siirretään kuluttajalle erillisen siirtojohdon tai -verkon avulla. Kaukokylmästä puhutaan myös silloin, kun kylmä tuotetaan absorptiokoneella, johon lämpöenergia saadaan siirtojohdon avulla keskitetystä lämmöntuotannosta. Kaukokylmälaitosten lukumäärä on maailmalla lisääntymässä sitä mukaa, kun kylmästä on tulossa tuote, jolle on kysyntää kiinteistökohtaisen kylmäntuotannon rinnalla. Kaukokylmän siirtoaineena on tavallisesti vesi, jolloin lämpötilat ovat nollan yläpuolella. Jos kylmä tuotetaan ammoniakkiabsorptiokoneella tai kompressoreilla, voi siirtojohdon lämpötila kylmäaineen, esimerkiksi glykolin, avulla olla miinusasteista.

MSP (Multi Supply Plant) -laitoksen ideana on tuottaa yhteistuotannossa sähköä ja kylmää. Tämä perustuu moottorivoimalaitoksen käyttöön energiantuotannossa. MSP-laitoksella voidaan kylmän lisäksi tuottaa myös lämpöä, prosessihöyryä, tislattua vettä tai muuta tuotetta, jonka valmistuksessa käytetään hyväksi moottorin käytössä vapautuvaa lämpöä. Moottorin jäähdytyksen tai pakokaasujen lämpö on sähkön erillistuotannossa jätelämpöä ja sen hyödyntäminen on energiataloudellista ja ympäristöä säästävää toimintaa.

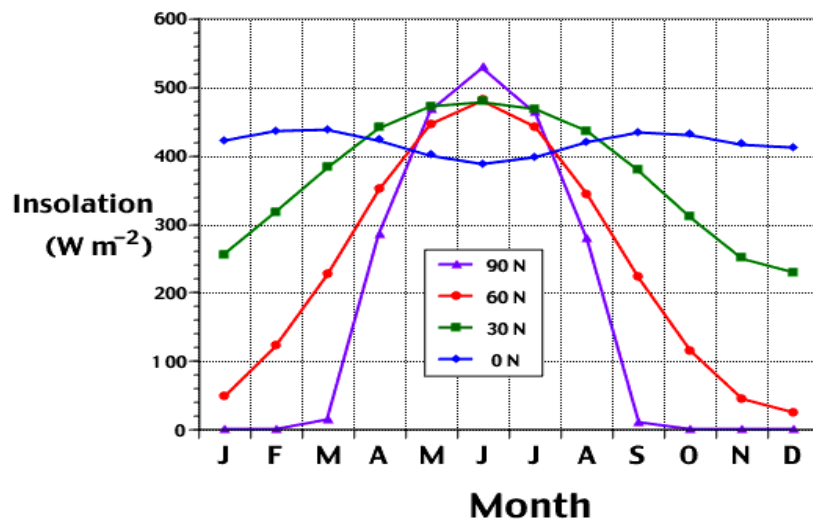
Tämän selvityksen tarkoituksena on arvioida sähköä ja kylmää tuottavan MSP-laitoksen teknillisiä ja taloudellisia mahdollisuuksia maailmanlaajuisilla markkinoilla erityisesti kaukokylmän näkökulmasta. Lähtökohtana on, että moottorivoimalaitoksia otetaan käyttöön vuosittain yhteisteholtaan tuhansia megawatteja ja usein alueilla, joissa kylmäntuotantotarvetta on keskimääräistä enemmän ja joissa infrastruktuuri, esimerkiksi sähköverkot, on yleisesti ottaen kehittymätöntä.

## 2. Kylmäntuottamisen tarve maapallon eri osissa

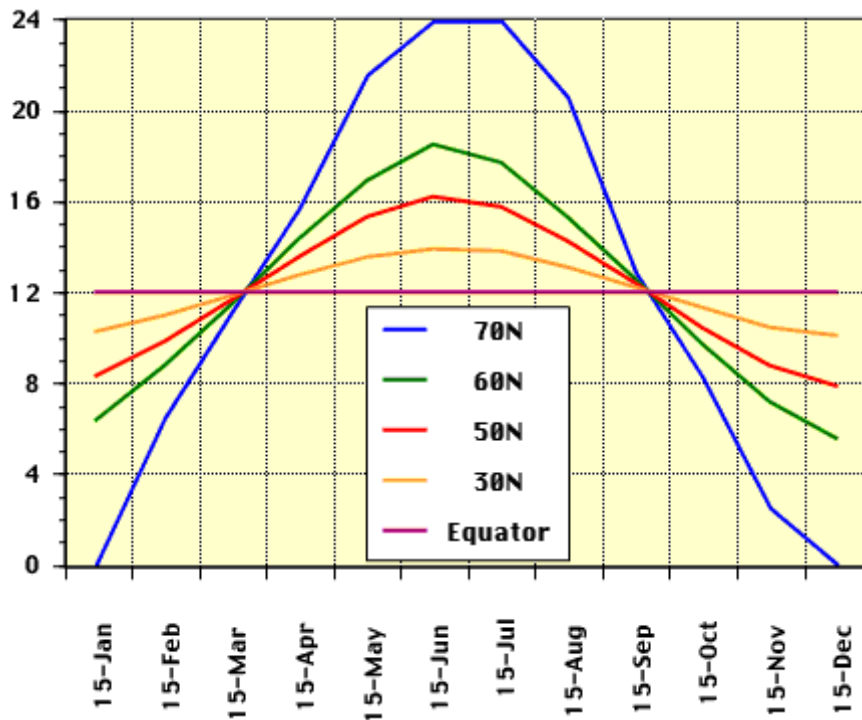
### 2.1 Ilmastolliset vaikutukset

Jäähdytyksen tarve miellyttävän sisäilman aikaansaamiseksi riippuu ulkoisista ja rakennuksen sisäisistä tekijöistä ja rakennuksesta itsestään. Ulkoisia tekijöitä ovat ennen kaikkea ulkoilman lämpötila ja auringon säteily sekä myös ilman kosteus. Sisäisiä tekijöitä ovat ihmisten, laitteiden, valaistuksen jne. tuottama lämpö sekä vaadittava mukavuustaso ja sisäilman laatu. Rakennuksen muodolla sekä rakenteiden ja materiaalien avulla voidaan vaikuttaa jäähdytyksen tarpeeseen. Yleisesti ottaen ulkoilman lämpötila on ensisijainen indikaattori arvioitaessa jäähdytyksen tarvetta maapallon eri osissa.

Maapallon ilmastoerot johtuvat auringonsäteilyn intensiteetistä ja kestosta maapallon pinnalla. Kuvassa 1 esitetään kuukausittainen auringonsäteily pohjoisella pallonpuoliskolla eri leveysasteilla. Kesäaikana säteily on 30 ja 60 leveysasteen kohdalla samansuuruista ja jonkin verran suurempaa kuin päiväntasaajalla. Tämä johtuu päivän pituudesta, mikä näkyy kuvassa 2. Olennaista säteilyjakautumisessa ovat muut vuodenaajat, jolloin säteily selvästi kasvaa siirryttäessä päiväntasaajan suuntaan. Säteilyn ja erilaisten lämpöä kuljettavien, säteilyä absorpoivien tai heijastavien virtausten vaikutuksesta muodostuvat vuodenajoille tyypilliset ulkolämpötilat eri puolille maapalloa.

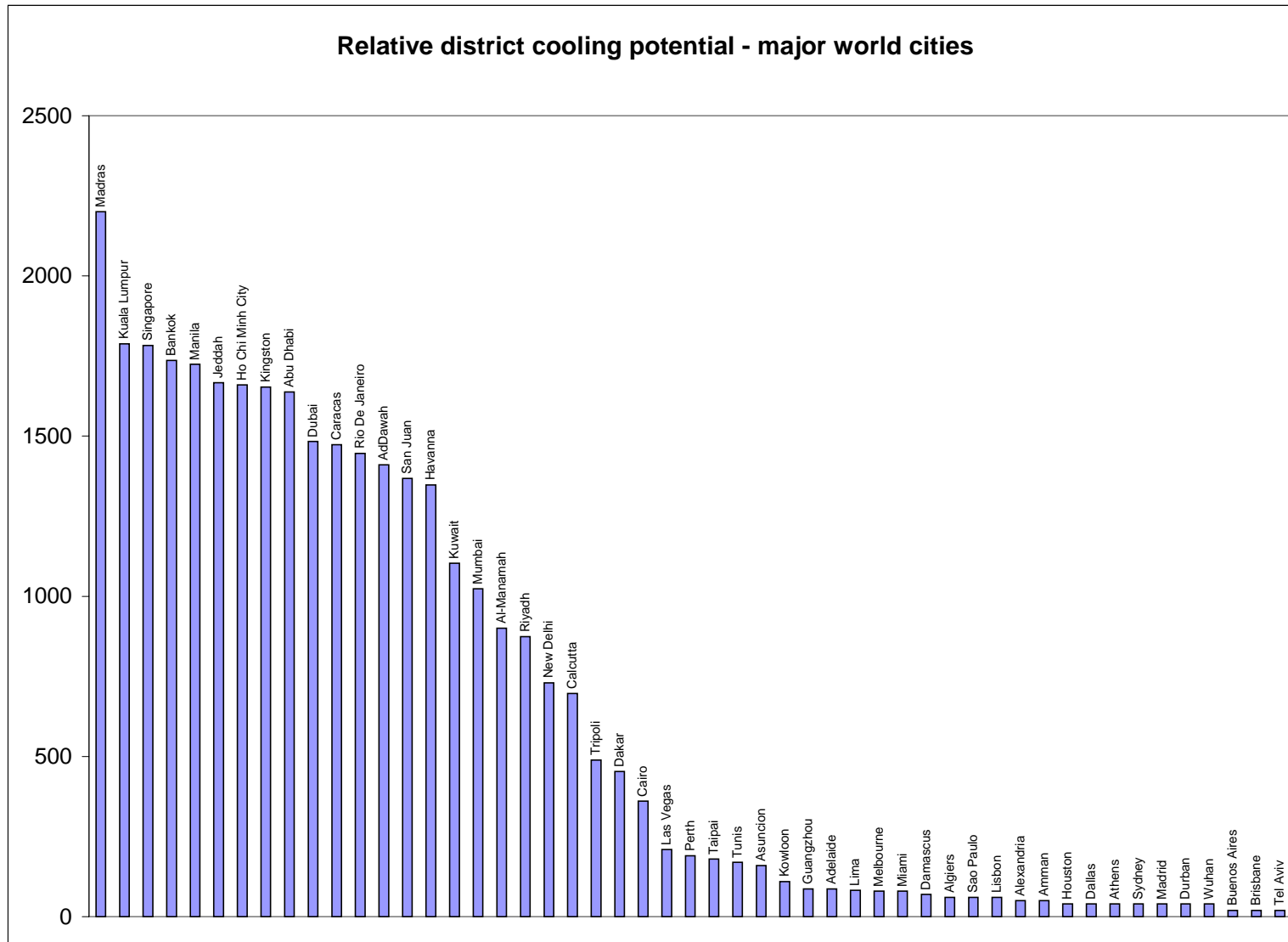


Kuva 1. Auringonsäteily maapallon pinnalla pohjoisella pallonpuoliskolla.

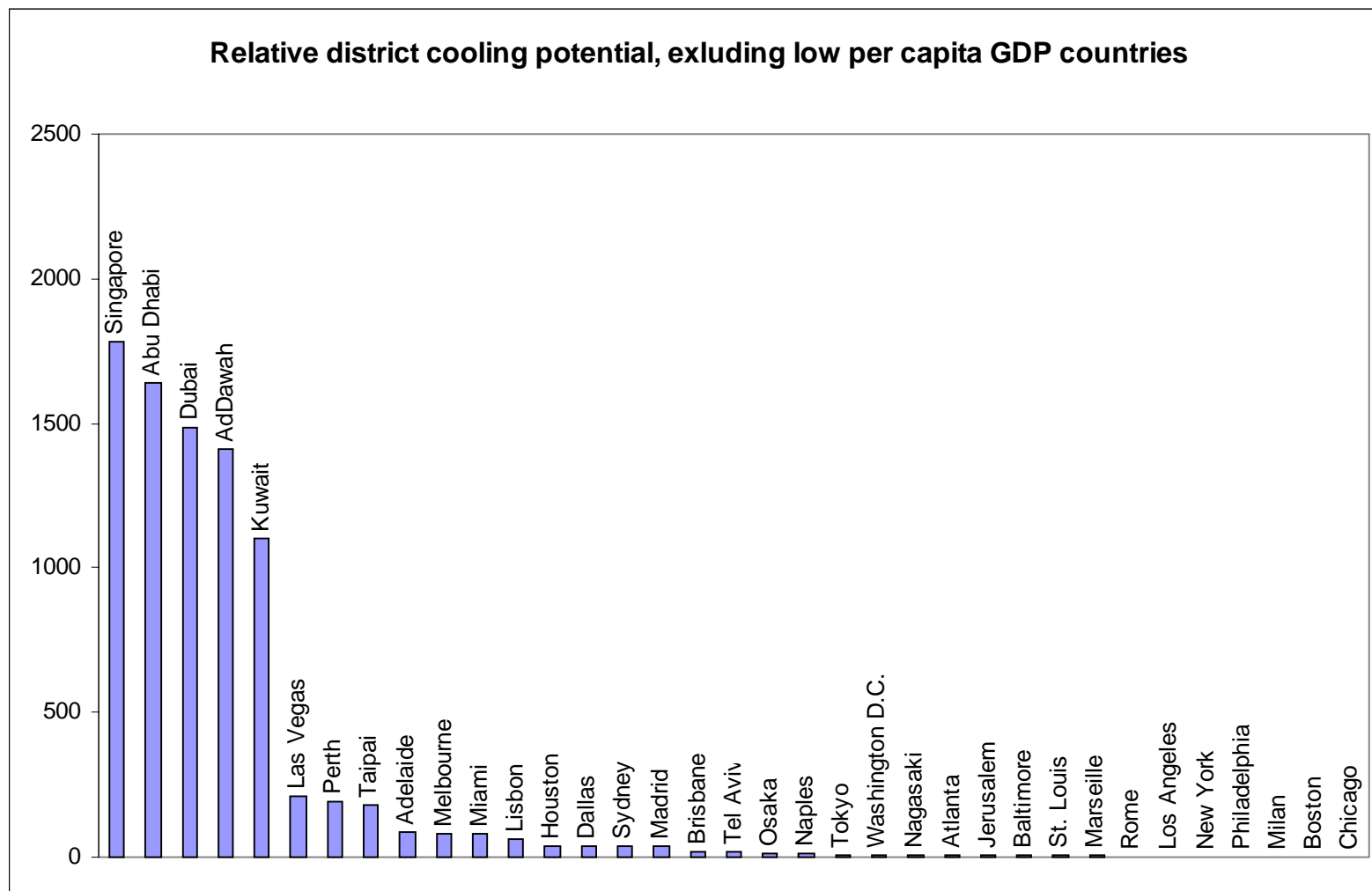


Kuva 2. Päivän pituuden vuotuinen vaihtelu eri leveyspiireillä pohjoisella pallonpuoliskolla.

Jäähdytyksen potentiaalinen tarve on suurinta isoissa kaupungeissa, mikä johtuu rakennusten käyttötarkoituksesta ja lukumäärästä. Kuvaan 3 on laskettu jäähdytyksen aste-päiväluku isoimmille kaupungeille. Vertailulämpötilana on 23 °C, joka vähennetään vuorokauden ulkolämpötilasta laskettaessa kumulatiivista astepäivälukua koko vuodelle. Parinkymmenen suurkaupungin astepäiväluku on yli 1 000 °C-vrk, kun esimerkiksi Ateenan astepäiväluku on vain noin 100. Jos tarkastelu kohdistetaan korkeamman bruttokansantuotteen maihin, saadaan kuvan 4 mukainen järjestys, jossa Kauko- ja Keski-idässä sijaitsevat suurimpien astepäivälukujen kaupungit. Pois jääviä kaupunkeja ovat mm. Intian kaupungit Madras ja New Delhi, Kuala Lumpur, Bangkok, Manila, Jedda, Brasilian suurimmat kaupungit, Egyptin suurkaupungit jne. Juuri näissä maissa on yhteiskunnallisiin olosuhteisiin liittyvää potentiaalia MSP-laitoksille. Edellä mainittujen kuvien ulkopuolelle jäävät järjestyksessä mm. seuraavat kaupungit: Barcelona, Detroit, Minneapolis, Geneve, Frankfurt, Pariisi, San Francisco, Wien ja Berliini.



Kuva 3. Kylmäntarpeen astepäiväluku isoimmissa kaupungeissa.



*Kuva 4. Kylmäntarpeen astepäiväluku isoimmissa kaupungeissa teollistuneissa maissa.*



## 2.2 Kylmäntuottamisen tarve tapauskohtaisesti

### 2.2.1 Pari esimerkkiä Kaukoidästä

#### Singapore

Kaukoita on potentiaalinen alue ilmastonin jäädytykselle. Seuraavassa esitetään ilmastotietoja Singaporesta, jonka sijaitsee lähellä päiväntasaajaa (leveysaste on 1°21') (Hawlander et al. 1987).

Taulukossa 1 esitetään tyypillisiä meteorologisia arvoja Singaporen ilmasto-oloista: kuukausittaiset keskilämpötilat kymmenien vuosien keskiarvona, auringonpaisteajat, kokonaissäteily ja suhteellinen kosteus. Lämpötila ei merkittävästi vaihtele vuoden aikana, kuukausien välinen vaihtelu on vain 1,9 °C. Vuorokauden aikainen vaihtelu on 8,3 °C. 34 vuoden ajanjaksolla maksimilämpötila oli 34 °C ja minimilämpötila 19,6 °C. Alueella vallitsevat lounaiset monsuunituulet toukokuun puolivälistä syyskuun loppuun ja koilliset monsuunivirtaukset marraskuun lopulta maaliskuun loppuun. Talvimonsuunien aikana lämpötila on hieman alhaisempi ja kosteus pienempi kuin muuna aikana. Taulukon perusteella voidaan päätellä, että alueella tarvitaan ilmastonin jäädytystä ja kosteuden poistoa. Taulukossa 2 esitetään eri lämpötilaluokkiin sijoittuvien tuntien lukumäärä vuonna 1978 sekä keskimääräiset märkälämpötilat.

*Taulukko 1. Tyypillisiä ilmastotietoja Singaporesta.*

	Ulko- lämpötila, °C	Aurinko (tuntia)	Kokonais- säteily, mWh/cm <sup>2</sup>	Suhteell. kosteus
Tammikuu	25,5	5,03	454,9	85,0
Helmikuu	26,1	6,34	509,7	83,1
Maaliskuu	26,5	6,11	520,9	84,1
Huhtikuu	27,0	5,93	497,9	84,8
Toukokuu	27,3	5,90	465,3	84,5
Kesäkuu	27,4	6,09	462,7	82,9
Heinäkuu	27,2	6,21	455,5	82,5
Elokuu	27,2	5,97	481,4	82,8
Syyskuu	26,9	5,58	485,9	83,1
Lokakuu	26,7	5,20	454,8	84,3
Marraskuu	26,2	4,65	436,5	86,1
Joulukuu	25,7	4,51	392,6	86,5
Vuosi keskimäärin	26,6	5,63	468,2	84,1

Taulukko 2. Ulkolämpötilojen jakautuminen eri lämpötilaluokkiin Singaporessa.

Vuosi	Lämpöt. luokka	Tuntien lukumäärä			Yht. tuntia	Märkälämpötilat		
		klo 1–8	klo 9–16	klo 17–24		MCWB	WB MAX.	WB MIN.
1978	33–35	0	8	1	9	26	27,2	23,8
	30–32	0	1 061	59	1 120	26	28,5	23,8
	27–29	189	1 435	905	2 529	25,5	27,8	22,5
	24–26	2 235	359	1 833	4 427	24,5	26,6	21,8
	21–23	496	57	122	675	23,0	23,9	21,0
	18–20	0	0	0	0			

## Manila

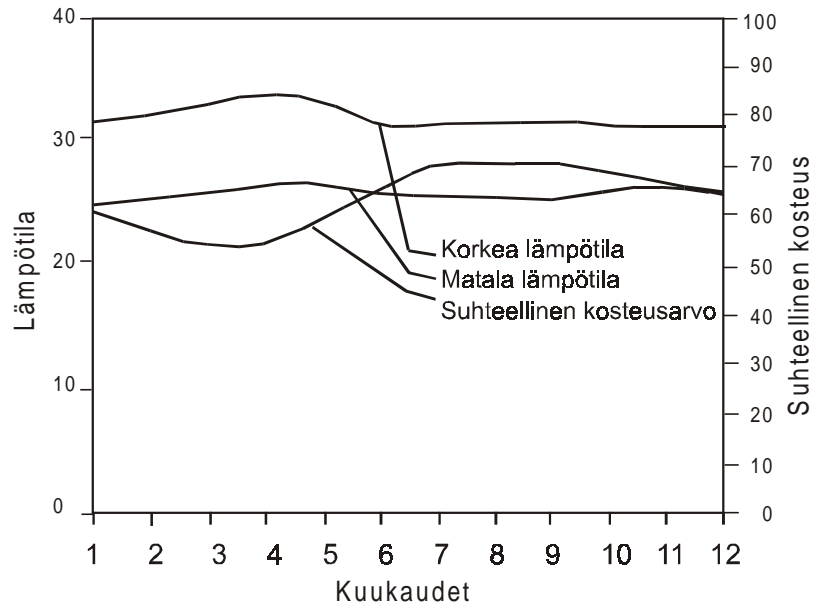
Toisena esimerkkinä jäädytyksen tarpeesta Kaukoidässä tarkastellaan seuraavassa Manilaan rakennetun pankki- ja toimistorakennuksen eri energiavaihtoehtoja ja alueen ilmasto-olosuhteita (Gujral et al. 1987). Rakennuksen kokonaispinta-ala on 120 000 m<sup>2</sup>.

### Ilmasto-olosuhteet Manilassa

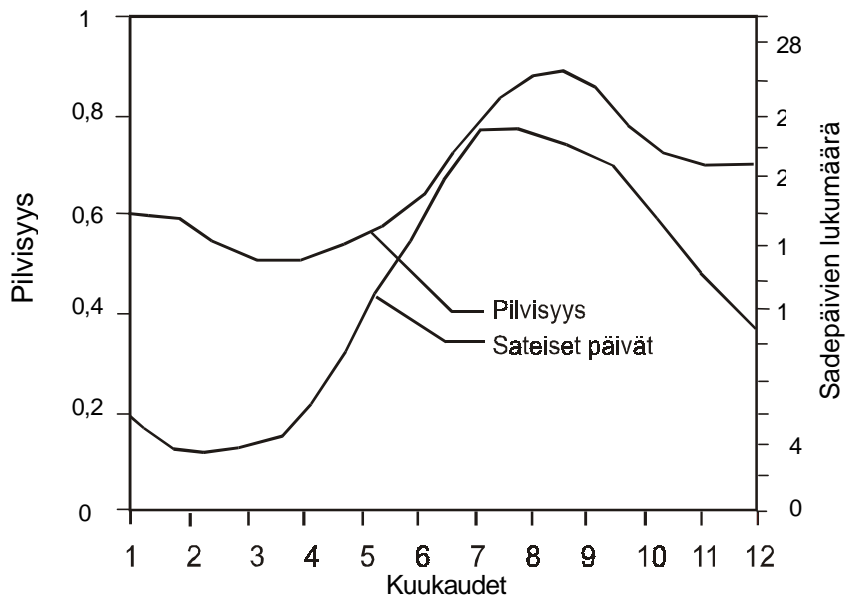
Kuva 5 esittää kuukausittaisten lämpötilojen keskimääräiset korkeimmat ja matalimmat arvot sekä suhteellisen kosteuden kello 13:00. Kuvan mukaisesti lämpötilat pysyvät melko vakioina koko vuoden ajan. Korkeimmillaan keskilämpötila on huhtikuussa (33 °C) ja alimmillaan elokuussa (20 °C). Keskimääräinen suhteellinen kosteus klo 13:00 on ylimmillään kesällä (74 %) ja alimmillaan keväällä (55 %). Alueen lämpötilan ja kosteuden yhdistelmä merkitsee erittäin epäviihtyisiä ympäristöolosuhteita erityisesti loppukesällä ja alkusyksystä.

Kuva 6 esittää kuukausittain keskimääräisen pilvisyyden ja sadepäivien lukumäärän. Pilvipeite vaihtelee maaliskuun arvosta 0,5 elokuun arvoon 0,9, mikä merkitsee varsin pilvistä ilmasto. Sadepäiviä on eniten toukokuusta marraskuuhun ja niiden määrä on enimmillään heinäkuussa, keskimäärin 24 sadepäivää.

Rakennuksen ilmastoinnin näkökulmasta alueella vallitsee melko tasainen ja kuuma lämpötilataso koko vuoden ja lisäksi taivas on pilvinen ja sadekaudet ovat pitkiä. Näissä olosuhteissa ulkoilman käyttö rakennusten sisäilman jäädytykseen ei ole mahdollista. Ilmastotyyppi kasvattaa myös jäädytystornin kokoa ja aiheuttaa korkean paluulämpötilan.



Kuva 5. Lämpötilan ja ilman kosteuden vaihtelut Manilassa.




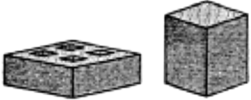
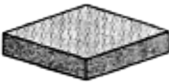
Kuva 6. Pilvisyys ja sadepäivät Manilassa.

#### Rakennusmuodot

Laskentamallilla simuloitiin kolme erilaista rakennuksen muotoa, jotka edustavat erilaisia ulkopinta-aloja ja vastaavasti erilaista energiakäyttötymistä:

- Muoto 1 44 kerrosta, 2 000 m<sup>2</sup> per kerros
- Muoto 2 20 kerrosta, 4 700 m<sup>2</sup> per kerros
- Muoto 3 5 kerrosta, 19 000 m<sup>2</sup> per kerros.

Kuva 7 esittää eri rakennusmuotojen jäähtyksen, apulaitteiden (puhaltimien ja pumpujen) sekä valaistuksen energiankulutuksen. Ulkoilmaolosuhteiden pienistä vaihteluista johtuen erot eri rakennusmuotojen energiankulutuksissa ovat pienet. Kuitenkin voidaan todeta, että lasipintojen pienentyminen vähentää jäähtyksen tarvetta jonkin verran, vaikkakin luonnonvalon määrä vähenee lisäten keinovalaistuksen energiamäärää.

		ENERGY CONSUMPTION		
 SCHEME 1	COOLING	147.3 MJ/SM/YR	(37.1%)	
	FANS	72.6 MJ/SM/YR	(18.3%)	
	LIGHTS	176.5 MJ/SM/YR	(44.6%)	
		<u>396.4 MJ/SM/YR</u>		
 SCHEME 2	COOLING	138.1 MJ/SM/YR	(35.1%)	
	FANS	63.6 MJ/SM/YR	(16.2%)	
	LIGHTS	191.4 MJ/SM/YR	(48.7%)	
		<u>393.1 MJ/SM/YR</u>		
 SCHEME 3	COOLING	132.4 MJ/SM/YR	(33.5%)	
	FANS	56.9 MJ/SM/YR	(14.4%)	
	LIGHTS	205.9 MJ/SM/YR	(52.1%)	
		<u>395.2 MJ/SM/YR</u>		

Kuva 7. Rakennuksen muodon vaikutus energiatarpeisiin Manilan olosuhteissa.

## Energiajärjestelmät

Energiajärjestelmien valintaa varten tarkasteltiin erilaisia vaihtoehtoja:

1. Keskipakokompressorilaitos. Laitteisto käsittää neljä sähkömoottorien käyttämää hermeettistä jäähtytinkonetta, joiden kunkin teho on 3,5 MW. Yksi koneista on varakoneena.
2. Keskipakokompressorilaitos ja kylmävesivaraaja. Kylmävaraajan tarkoituksena on lähinnä alentaa sähkön huipputehoa. Manilan sähköhinnoittelussa oli suunniteluhetkellä erityinen huippukulutusmaksu ja varaston avulla voitiin kuukausittaista huipputehoa alentaa noin puoleen.
3. Absorptiokylmäkone liitettynä jäteämpökattilaan ja jätteidenpolttoon. Järjestelmä käsittää neljä absorptiokonetta, joiden teho on 3,5 MW. Lisäksi neljä 3,5 MW:n kaasuturbiinia rakennetaan tuottamaan rakennuksessa tarvittava sähkö. Kaasuturbiinien jäte­lämmön lisäksi lämpöä saadaan absorptiokoneille kiinteistössä tuotetun jätepaperin poltosta.

4. Absorptiokylmälaite ja aurinkokeräimet. Aurinkokeräimillä lämmitetään vesi riittävän korkeaksi absorptiolaitetta varten. Lisäksi tarvitaan lämpimän veden varasto.

Selvityksessä todetaan energianäkökulmasta aurinkoabsorption olevan paras ratkaisu, mutta laitteiden saatavuuden yms syiden vuoksi sitä ei kuitenkaan pidetty käyttökelpoisena vaihtoehtona. Parhaaksi vaihtoehdoksi energian kokonaiskulutuksen perusteella saatiin selvityksessä sähkökäyttöinen jäähdytyskoneisto, joka käyttää polttoaineenergiaa  $1\,436\text{ MJ/m}^2$  vuodessa. Vuotuisten kokonaiskustannusten perusteella absorptiolaitos liitettynä jätepaperin polttolaitokseen ja yhteistuotantoon on edullisin vaihtoehto (taulukko 3).

*Taulukko 3. Primäärienergian kulutus ja vuosikustannukset eri vaihtoehtoissa.*

Vaihtoehto	Primäärienergian tarve MJ/(m <sup>2</sup> , a)	Vuosikustannus (laatu tuntematon)
Keskipakokompressorilaitos	1 436	9 832
Kompressor + varaaja	1 450	9 759
Absorptio + CHP	1 453	9 159

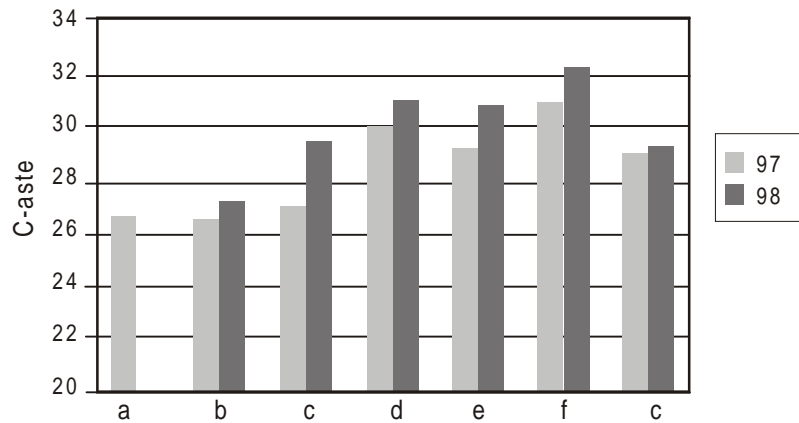
### 2.2.2 Pari esimerkkiä Etelä-Euroopasta

Kylmäenergian tarvetta ja kylmätehon suuruutta Välimeren alueella tarkastellaan tutkimuksessa (Hassid et al. 2000), jossa kohteena ovat Ateenan eri kaupunginosat ja ympäröivä maaseutu. Urbanin ympäristön todetaan merkittävästi vaikuttavan jäähdytyskylmän tarpeeseen. Lämpötilan ja säteilyn arvot perustuvat mittauksiin ja kylmän tarve on laskettu DOE2.1E-mallilla asuinrakennukselle (neljän asunnon kaksikerroksinen rakennus) käyttäen parametreina mm. sisälämpötilaa ja ilmanvaihdon määrää.

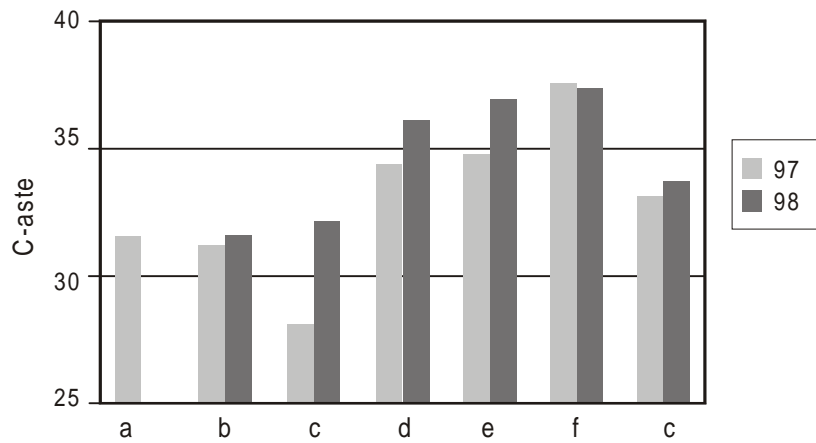
Suur-Ateenan alueella tarkasteltavat alueet ovat: Ateenan keskusta, Pentali, Illoupolis Aigaleo, Liosia, Geoniki ja Haidari. Kuvassa 8 esitetään alueiden keskilämpötilat heinäkuussa ja kuvassa 9 maksimilämpötilojen keskiarvo. Keskilämpötiloissa ja maksimilämpötiloissa todetaan olevan enimmillään yli kuuden asteen ero alueiden välillä.

Kuvassa 10 esitetään vuotuinen jäähdytysenergian tarve tarkasteltavalle asuinrakennukselle eri alueilla, kun sisälämpötilaksi asetetaan 23,7 °C. Enimmillään kylmäntarve on 85 kWh/m<sup>2</sup> ja alimmillaan noin 40 kWh/m<sup>2</sup> eri alueita vertailtaessa.

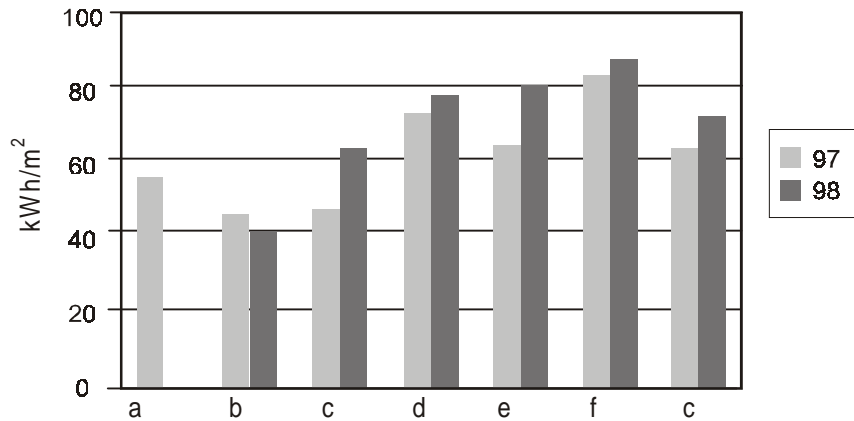
Taulukossa 4 esitetään jäähdytyksen aiheuttaman sähköenergian tarve ja huipputehon suuruus sisälämpötilan eri arvoilla vuosien 1997 ja 1998 ulkolämpötilan ja säteilyn mittaustiedoilla laskettuna.



Kuva 8. Heinäkuun keskilämpötilat Ateenan eri alueilla.



Kuva 9. Maksimilämpötilojen keskiarvo Ateenan eri alueilla.



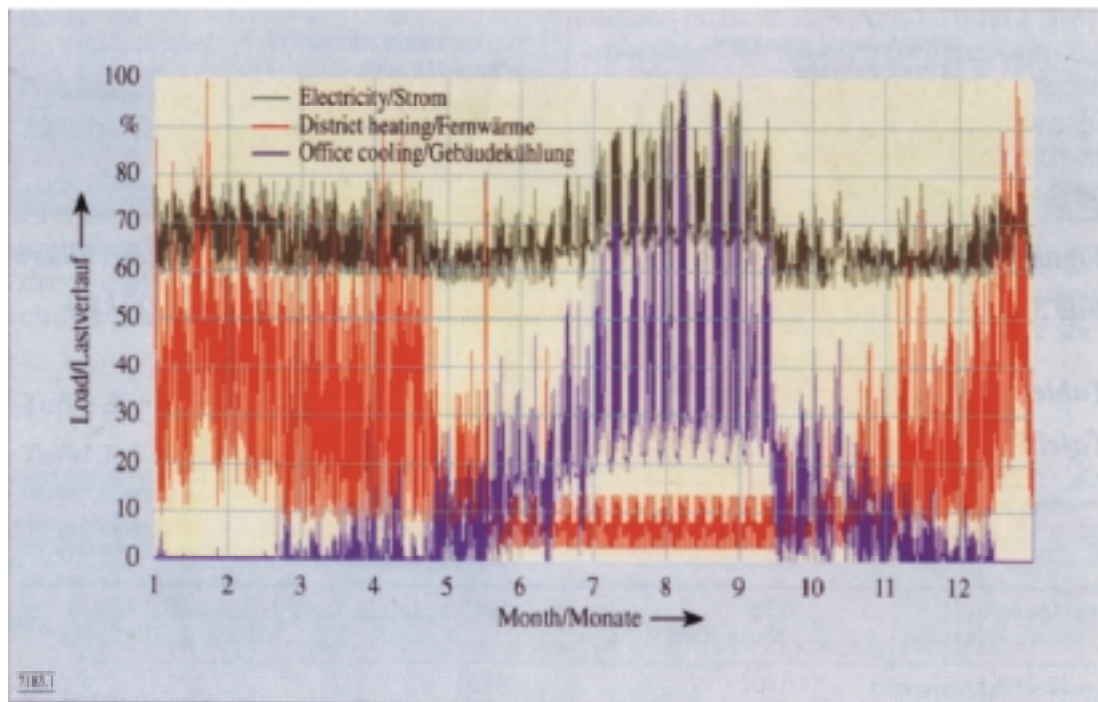
Kuva 10. Kylmän tarve Ateenassa.

Taulukko 4. Jäähdytysenergian tarve ( $kWh/m^2$ ) ja huipputeho ( $W/m^2$ ) eri sisälämpötiloilla Ateenan alueella asuintalossa.

		Sisälämpötila, °C			
		24	25	26	27
Energia					
	Illioupolis, 1997	31,9	28,0	24,0	20,0
	Aigaleo, 1997	49,5	45,2	40,8	36,3
	Illioupolis, 1998	44,5	39,9	35,3	30,8
	Aigaleo, 1998	55,3	50,4	45,4	40,6
Teho					
	Illioupolis, 1997	19,0	16,8	14,9	13,1
	Aigaleo, 1997	34,5	32,6	30,6	28,7
	Illioupolis, 1998	33,8	31,5	29,1	26,8
	Aigaleo, 1998	44,1	41,4	37,8	35,3

Sähkön kulutuksen todetaan kasvavan 35 %, kun sisälämpötila alennetaan 27 °C:sta 24 °C:seen.

Kreikassa ja muualla Välimeren alueella on talvella lämmityksen ja kesällä jäähdytyksen tarvetta. Sähkön tarve kesäaikaan on kasvanut viime vuosikymmenen aikana voimakkaasti kompressorikoneiden lisääntyessä ilmastointitarkoitukseen. Sähkön kulutushuippu on heinä–elokuussa, mikä näkyy kuvassa 11, jossa on alueelle tyypilliset sähkön, lämmön ja jäähdytyksen kulutuskäyrät (Ahola 1999). Jäähdytys kuvaa toimistorakennuksen jäähdytystehoa.



Kuva 11. Kaukolämmön ja kylmän vaihtelu toimistorakennuksessa sekä sähkönkulutuksen vaihtelu Välimeren alueella.

Eräs Etelä-Eurooppaan liittyvä artikkeli käsittelee sähkön säästöpotentiaalia erilaisten ikkunamateriaalien avulla virastorakennuksissa Madridissa (Cordoba et al. 1998). Tutkimuksessa tarkastellaan ensin tyypillisen virastotalon energiataseita ja vaihtelurajoja ko. olosuhteissa.

Madridissa arvioidaan vuonna 1993 olleen 10,6 milj. m<sup>2</sup> toimistotilaa, joista 7,5 milj. m<sup>2</sup> oli yksinomaan toimistorakennuksissa ja 3,1 milj. m<sup>2</sup> sekakäytössä olevissa rakennuksissa. Vuonna 1996 rakennettiin 0,30 milj. m<sup>2</sup> lisää virastorakennuksia.

Tyypillisen, muutaman vuoden ikäisen toimistorakennuksen lämmitys- ja jäähdytyskuormat sekä lämmön muodostuminen rakennuksessa ovat:

Lämmityskuorma	70 W/m <sup>2</sup>
Jäähdytyskuorma	130 W/m <sup>2</sup>
Lämpö ihmisistä	20 W/m <sup>2</sup>
Valaistuksen lämpöteho	15–25 W/m <sup>2</sup>
Muu sisäinen lämpö	20–40 W/m <sup>2</sup> .



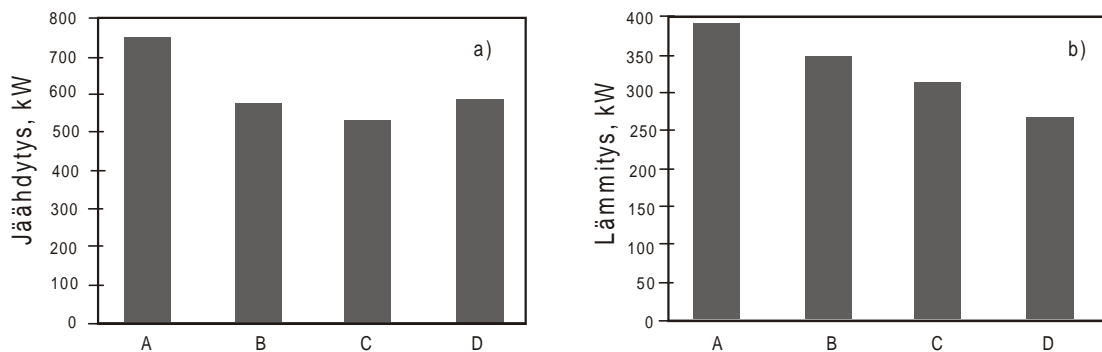
Tyypilliset sähkökuormat ovat:

Valaistus	25 W/m <sup>2</sup>
Muut kuormat	10 W/m <sup>2</sup>
Ilmastointi	60 W/m <sup>2</sup>
Hissit	10 W/m <sup>2</sup> .

Kulutusseurannan perusteella virastorakennuksen energiankulutus vuodessa on 140–208 kWh/m<sup>2</sup>. Madridin ilmaston määrittelemät suunnittelu-arvot ovat:

Talven mitoituslämpötila (DB)	-3 °C
Kesän mitoituslämpötila (DB)	35 °C
Kesän mitoituslämpötila (WB)	20,5 °C
Lämmityksen astepäiväluku DD (18 °C)	1 800.

Ikkunalaatujen analysoinnissa valittiin taloksi kahdeksankerroksinen 7 800 m<sup>2</sup>:n rakennus, jossa 40 % ulkopinnasta on ikkunoita. Virastoaikana rakennuksessa on 780 henkilöä 7–19 välisenä aikana ja ilmastoinnin määrä on 25 m<sup>3</sup>/h/henkilö. Valaistuksesta tuleva kuorma on 21 W/m<sup>2</sup> ja muista laitteista 5 W/m<sup>2</sup>. Kuvassa 12 esitetään jäähdytysteho ja lämmitysteho eri lasityypeille. Todetaan säteilyn vaikutuksen eliminoimisen huomattava vaikutus energiantarpeeseen.



Kuva 12. Kylmätehon ja energian tarve Madridissa toimistotalossa käytettäessä erilaisia ikkunamateriaaleja.

### 2.2.3 Muita selvityksiä

Suomessa tehdyssä kylmäenergian kannattavuustutkimuksessa (Ekono 1998) selvitettiin kaukokylmän kannattavuutta eri puolilla maailmaa. Selvityksessä simuloitiin toimistorakennuksen, hotellin ja ostoskeskuksen lämmön ja ilmastointikylmän tarve olettaen kiinteistöjen sijaitsevan Singaporessa, Soulessa, Barcelonassa ja Pietarissa. Laskelmissa

käytettiin kunkin paikkakunnan säätietoja. Taulukossa 5 esitetään rakennustietojen ohella kylmäntarpeen tehot ja energiat sekä huipun käyttöajat. Suurimmillaan kylmäntarve laskettuna rakennuspinta-alaa kohti on ostoskeskuksessa. Kylmätehon huipun käyttöaika puolestaan on korkein hotellirakennuksessa.

*Taulukko 5. Kylmäntarpeen arviointi eri rakennustyypeissä eri puolilla maailmaa (Ekono 1998)*

		Rakennukset			
		yks.	Toimisto	Hotelli	Ostoskeskus
<b>Rakennustiedot</b>	Tilavuus	m <sup>3</sup>	36 000	20 300	147 000
	kerroksia		20	11	3
	kerrosala	m <sup>2</sup>	510	450	7 000
	pinta-ala	m <sup>2</sup>	10 200	4 950	21 000
<b>Singapore</b>	Kylmäteho	kW	582	395	2 392
		kW/m <sup>2</sup>	57	80	114
	Kylmäenergia	MWh/a	2 103	2 825	7 713
	Huipun käyttöaika	h	3 613	7 152	3 224
<b>Soul</b>	Kylmäteho	kW	520	397	2 407
		kW/m <sup>2</sup>	51	80	115
	Kylmäenergia	MWh/a	575	659	2 240
	Huipun käyttöaika	h	1 106	1 660	931
<b>Barcelona</b>	Kylmäteho	kW	457	334	2 031
		kW/m <sup>2</sup>	45	67	97
	Kylmäenergia	MWh/a	529	538	2 037
	Huipun käyttöaika	h	1 158	1 611	1 003
<b>Pietari</b>	Kylmäteho	kW	254	208	1 300
		kW/m <sup>2</sup>	25	42	62
	Kylmäenergia	MWh/a	82,4	74,6	405,7
	Huipun käyttöaika	h	324	359	312

IEA:n kaukolämpö- ja kaukokylmätutkimuksissa on arvioitu jäähdytyksen ja lämmityksen tarvetta vuoden 1990 tekniikalla rakennetuissa toimistorakennuksissa, joiden sijainti on Oslo, Helsinki, Oberhausen Saksassa ja Soul (IEA 2000). Rakennuksen kokonaispinta-ala on 2 160 m<sup>2</sup>. Taulukossa 6 esitetään energian kulutustiedot ja tehotiedot Helsingin tapauksessa.

*Taulukko 6. Toimistorakennuksen lämmityksen ja jäähdytyksen kulutustietoja.*

		Paikkakunta			
		Oslo	Helsinki	Oberhausen	Soul
Lämmitys	Teho, W/m <sup>2</sup>		52,7		
	Energia, kWh/ m <sup>2</sup>	69	67	22	15
	Huipunka., h		1 271		
Jäähdytys	Teho, W/m <sup>2</sup>		34,7		
	Energia, kWh/m <sup>2</sup>	15	17	32	41
	Huipunka., h		490		

Helsingin alueella rakennetuissa, uusissa toimistorakennuksissa on merkittävä vaihtelu ns. nokiatalojen ja tavanomaisten toimistorakennusten välillä. Nokiataloissa jäähdytystehot ovat 67–85 W/m<sup>2</sup>, kun tavanomaisessa toimistorakennuksessa kylmätehon tarve on 20–44 W/m<sup>2</sup>. Lämmitysteho on jonkin verran suurempi kuin kylmäteho, noin 60 W/m<sup>2</sup> tavallisessa toimistorakennuksessa (Oinonen 2000).

## 3. Kylmäjärjestelmien komponentit

Tässä luvussa tarkastellaan kaukokylmän tuottamisessa tarvittavia laitteita, joiden käyttöenergiana on lämpö.

### 3.1 Absorptiokoneet

#### 3.1.1 Toimintaperiaate ja single effect -laitteisto

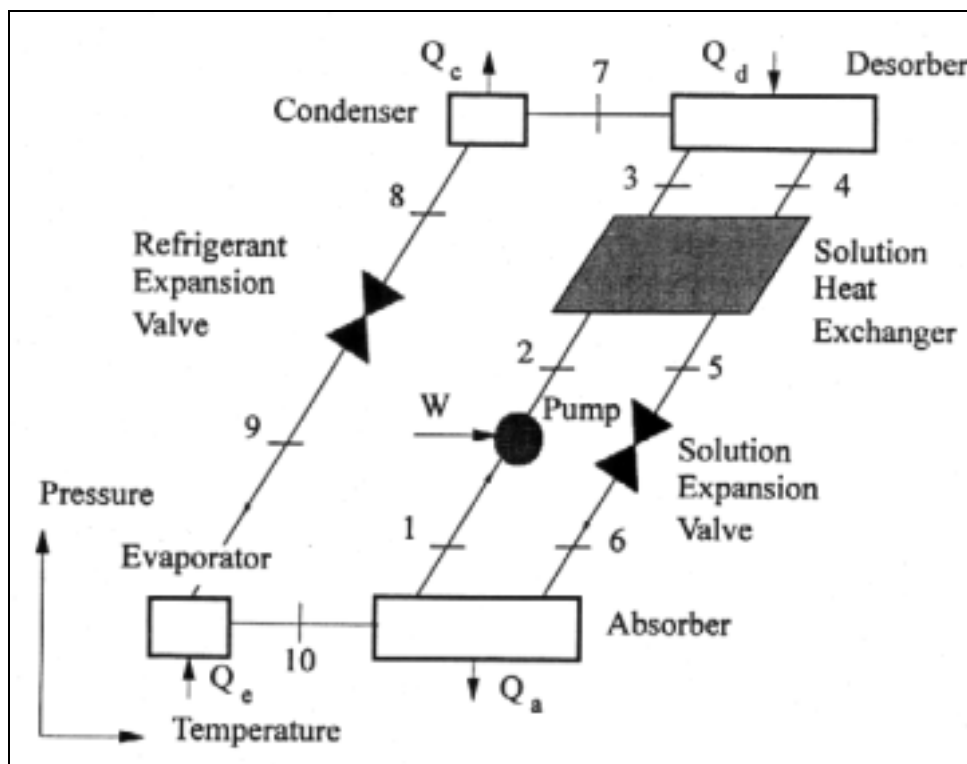
Tällä hetkellä melkein kaikki kaupallisesti käytettävissä olevat, huoneilman jäähdyttämiseen tarkoitetut absorptiolaitokset toimivat vesi/LiBr-työaineparilla. Termohydraulisten ominaisuuksien perusteella absorptiokoneistolle on vakiintunut nimityksiä, joiden merkitys vaihtelee jonkin verran eri esityksissä. Perustyyppi on yksi-osainen (one stage) ja yksivaiheinen (single effect) absorptiokone, jota kutsutaan usein lyhyesti single effect (SE) -tyyppiseksi absorptiokylmäkoneeksi. Se on yksinkertainen laitekokonaisuus, jossa on vain välttämättömät nestekierrot kylmän tuottamista varten absorptioperiaatteella. Laitoksen sisäisten ainevirtojen välisillä lämmönsiirtimillä voidaan parantaa energiata-  
setta ja lämpötilajakautumista prosessissa.

Kuvassa 13 esitetään single effect -absorptiolaitoksen prosessin toimintakaavio ja kuvassa 14 periaatteellinen laitokuva. Vesi-LiBr-työaineparin kiertopiireissä vesi toimii kylmäaineena (refrigerant), mistä seuraa, että alle 0 °C:n lämpötiloja ei voida käyttää. Absorptioaineena on litiumbromidi-suolaliuos, jonka käytössä merkittävin rajoitus on suolan kiteytymisriski väkevän liuoksen jäähtyessä.

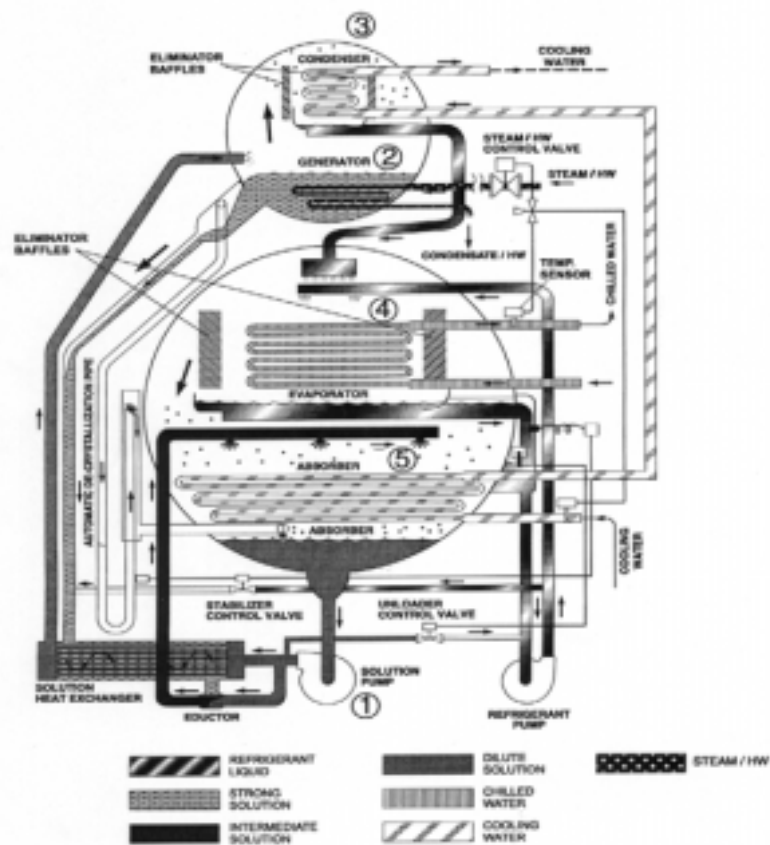
Toimintaperiaatteen olennaisia osia ovat vesihöyryn imeytyminen LiBr-liuokseen alhaisessa lämpötilassa ja veden höyrystyminen sitä korkeammassa lämpötilassa. Kuvan mukaisesti höyrystimellä, matalassa paineessa syntyvä vesihöyry imeytetään hydroskoopiseen LiBr-liuokseen. Tapahtuma on eksoterminen ja imeytintä jäähdytetään ulkopuolisella vesivirralla. Imeyttimestä (absorber) pumpataan vesi-LiBr-seos neste-muodossa ylemmässä paineessa olevaan keittimeen (generator, kuvassa 13 desorber), jossa vesi vapautetaan kantaja-aineesta lämpötilaa nostamalla keittimeen tuotavan ulkopuolisen lämpöenergian avulla. Myös keittimessä vallitsee alipaine, joten alle 100 °C:n lämpötilat saavat aikaan veden höyrystymisen. LiBr-liuos sen sijaan ei saa höyrystyä keittimessä, vaan se johdetaan väkevöityneenä takaisin imeyttimeen. Höyrystynyt vesi puolestaan johdetaan lauhduttimeen (condenser), jossa se ulkopuolisen jäähdytysveden avulla lauhdutetaan vedeksi ja johdetaan edelleen alemmpipaineiseen höyrystimeen (evaporator). Höyrystymisessä sitoutuva lämpö tuottaa kylmäenergian jäähdyttämällä kylmävesipiirin vettä.

Single effectin toiminta esitetään kuvassa 15 Dühringer-diagrammin avulla, josta selviävät vesi-LiBr-työparin paineet ja lämpötilat kierron eri vaiheissa sekä litiumbromidiliuoksen väkevyys ja kiteytymisraja. Prosessin on toimittava kiteytymisrajan vasemmalla puolella, eli imeyttimelle tulevan väkevän liuoksen pitoisuus ei saa ylittää kiteytymispitoisuutta.

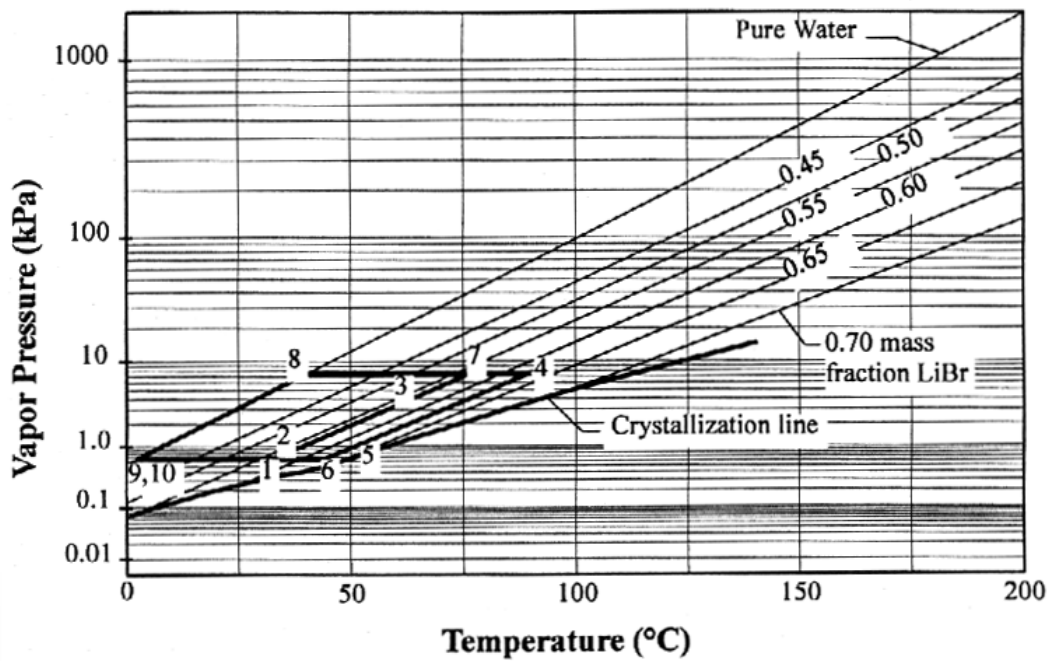
Single effect -laitoksissa voidaan käyttöenergia tuoda joko kuumavesimuodossa tai matalapaineisena höyrynä. Tulevan kuumaveden lämpötilan tulee olla 80–130 °C. Lämpötila-alueen korkeammilla lämpötiloilla voidaan rakentaa halvempi laitos pienemmän lämmönsiirtopinnan ansiosta. COP-arvo yksivaiheisissa laitoksissa on 0,68–0,82 riippuen mm. jäädytysveden ja kylmäveden lämpötiloista ja laitoksen eri osien optimoinnista. Standardipaketit eivät yleensä tuota parasta tulosta, koska olosuhteet vaihtelevat tapauskohtaisesti. Kuvassa 16 esitetään COP-käyriä keittimen lämpötilan funktiona, kun parametrina on jäädytysveden tulolämpötila. Lämmönlähteen lämpötilan kohotessa COP:n arvo alenee.



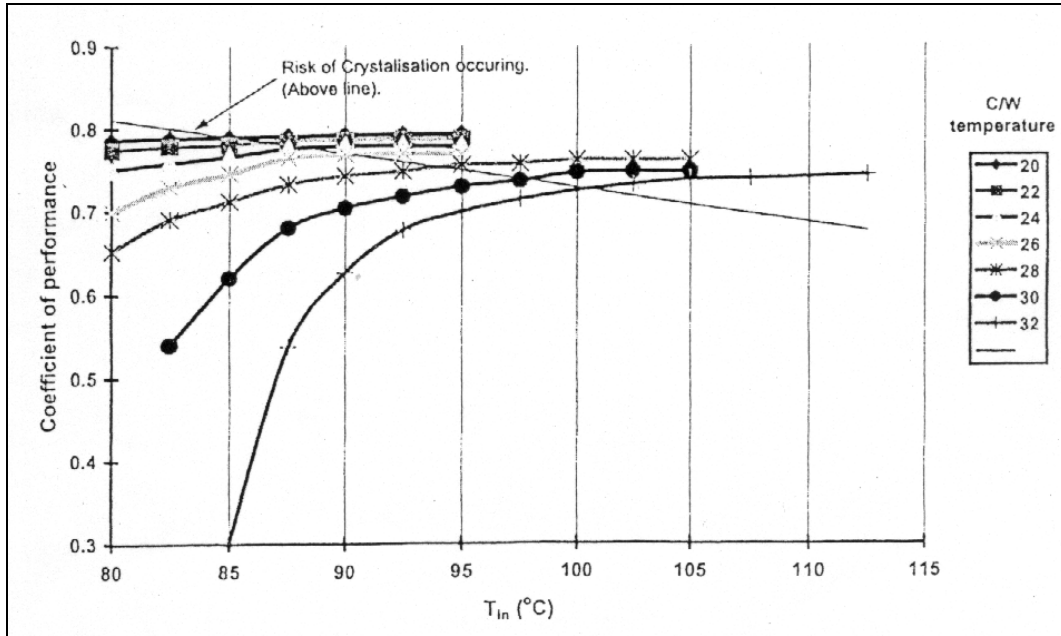
Kuva 13. Single effect -tyyppisen absorptiokoneen toimintakaavio (Herold et al. 1996).



Kuva 14. Single effect -tyyppisen absorptiokoneen laitekaavio (YORK 2000).

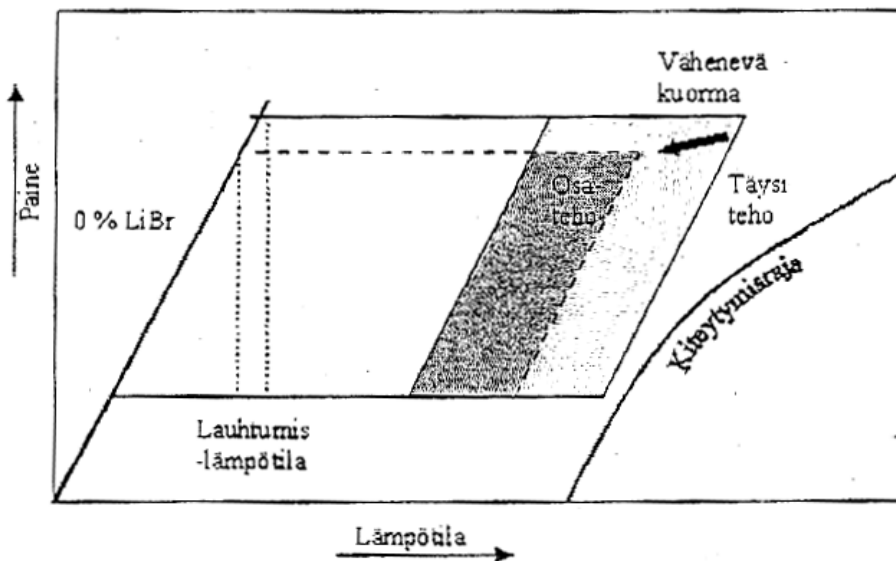


Kuva 15. Absorptiokoneen toiminta paine-lämpötilakuvaajassa (Herold et al. 1996).



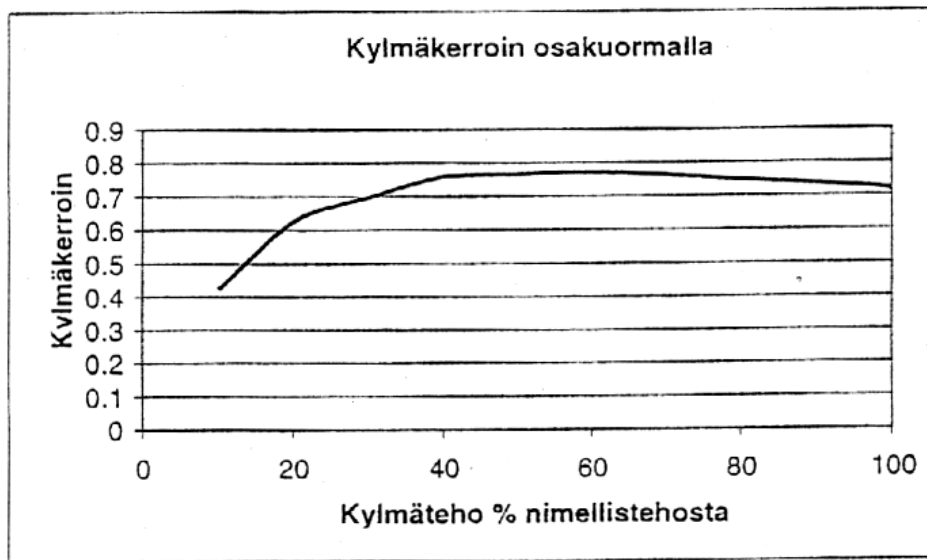
Kuva 16. Single effect -tyyppisen absorptiokoneen COP:hen vaikuttavat parametrit, kun kylmän lämpötila on 5 °C (Merz 1999).

Absorptiokoneen tehoa voidaan säätää liukuvalla säädöllä laitteesta riippuen 10...40–100 %:n tehoalueella. Säätö tapahtuu yksinkertaisimmin keittimen lämpötilaa alentamalla, mikä aikaansaadaan ulkopuolisen lämmönlähteen tehoa pienentämällä esimerkiksi lämpötilatasoa laskemalla. Keittimessä höyrystyy vähemmän vettä, ja väkevöityvän liuoksen pitoisuus alenee kuvan 17 mukaisesti. Jos lauhduttimen jäähdytys pidetään vakiona, laskee myös lauhduttimen paine ja lämpötila.



Kuva 17. Absorptiokoneen osakuormasäädön periaate (Ek 2000).

Käyttämällä em. säätötapaa voi COP-arvo aluksi suurentua kylmätehoa alennettaessa. Kuitenkin alle 25–40 %:n osakuormilla alenee myös COP (kuva 18).



Kuva 18. Single effect -absorptiokoneen osakuorma-ajon vaikutus COP:hen (Ek 2000).

### 3.1.2 One stage ja double effect -absorptiolaitos

Jos vaiheiden lukumäärä määritellään höyrystin-imeytinparien lukumääränä, niin 1-vaihe-absorptiotyyppeihin voidaan saada erilaisia kiertopiirejä generaattoreiden eli keittimien ja samalla myös lauhduttimien lukumäärää lisäämällä. Tällöin puhutaan effectien lukumäärästä. One stage – double effect -laitos, jota usein sanotaan vain double effect (DE) -laitokseksi (ja joskus tästä esityksestä poiketen myös double- tai two stage), on myös yleisesti tunnettu ja kaupallisessa käytössä oleva absorptiokoneeratkaisu. Siinä on kaksi keitintä, jotka voivat olla veden höyrystämisen kannalta toisiinsa nähden sarjassa (peräkkäin) tai rinnan. Energiatehokkuuden kannalta olennaista on, että korkealämpötilaisessa keittimessä muodostuneen vesihöyryn lauhtumislämpö käytetään hyväksi matalalämpökeittimessä. Generaattoreiden lisäyksellä saavutetaan korkeampi COP-arvo, mutta edellytyksenä on korkeampi lämpötilataso lämmön tuonnissa. Tarvittava lämpötilataso on noin 140–180 °C, mikä saavutetaan käytännön sovellutuksissa joko keskipaineisen höyryn (esim. 8–10 bar) avulla tai polttoaineen, normaalisti maakaasun, suorapoltolla tai esim. kaasuturbiinin pakokaasujen suoralla lämmöntalteenotolla. COP:n arvo on 1,16–1,2 (–1,3) riippuen kytkennöistä ja siitä, kuinka energiataloudelliseksi laite on haluttu rakentaa hintaa lisäämällä.

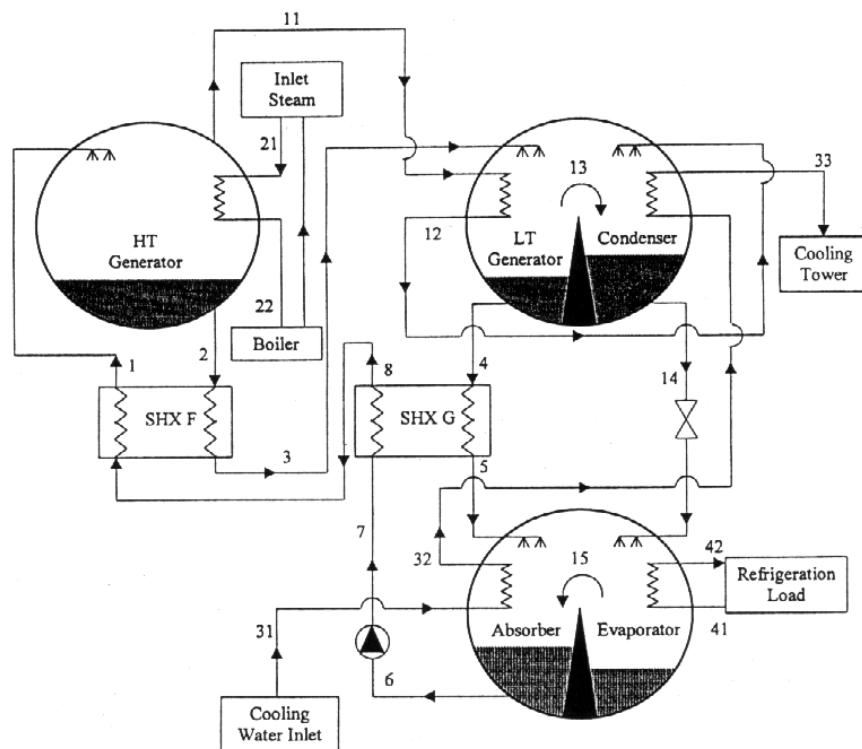
Kuvassa 19 esitetään rinnankytkentäisen ja kuvassa 20 sarjakytkentäisen double effect -laitoksen prosessikaavio (Chua et al. 2000) sekä kuvassa 21 rinnankytkennän toiminta-kaavio sekä kuvassa 22 laitoskaavio. Sarjakytkennässä vesi-LiBr-liuos pumpataan



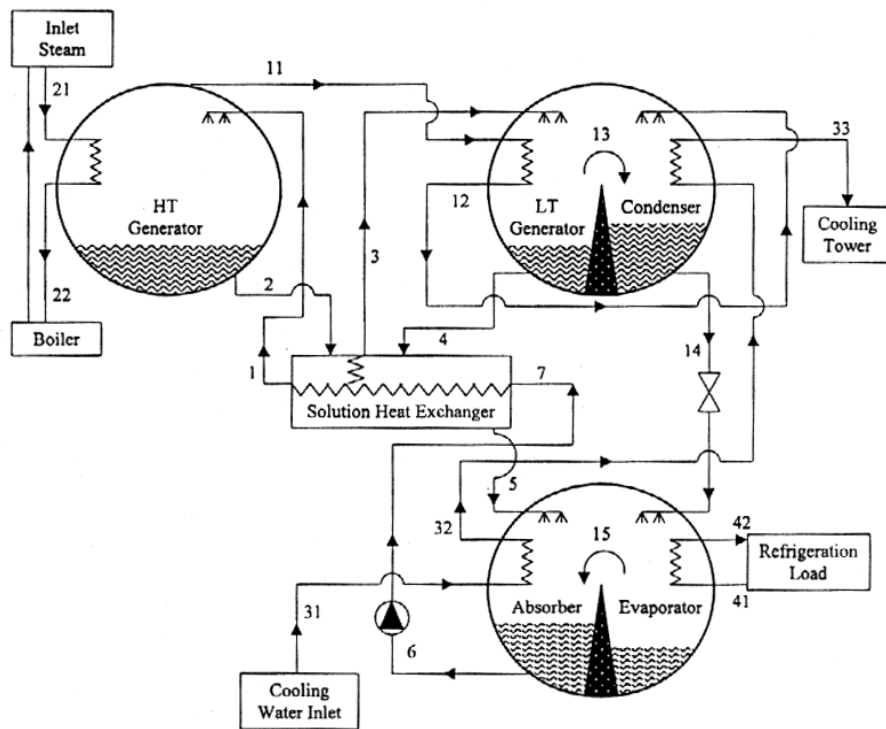
imeyttimestä ensin korkealämpötilakeittimeen ja väkevöidään siellä osittain ja johdetaan edelleen matalalämpötilakeittimeen ja sieltä takaisin imeyttimelle. Ulkopuolinen lämpö tuodaan korkealämpötilakeittimeen. Höyrystynyt vesihöyry johdetaan lämmönlähteeksi matalalämpötilakeittimeen, jossa se lauhtuu ja johdetaan edelleen lauhduttimeen, johon tulee myös matalalämpötilakeittimessä erottunut vesihöyry. Ulkopuolinen jäähdytys on siten matalalämpötilalauhduksessa.

Rinnankytkennässä liuospari pumpataan imeyttimestä rinnakkaisesti kumpaankin keittimeen (korkea- ja matalalämpötilakeittimiin) ja poistetaan vastaavasti rinnakkaisesti. Lämmön tuonti ja lauhdutuslämmön poisto tapahtuvat kuten sarjakytkennässä. Eräässä tutkimuksessa on osoitettu, että rinnakkaisytkennällä saavutetaan korkeampi COP ja pienempi kiteytymisriski kuin sarjakytkennällä.

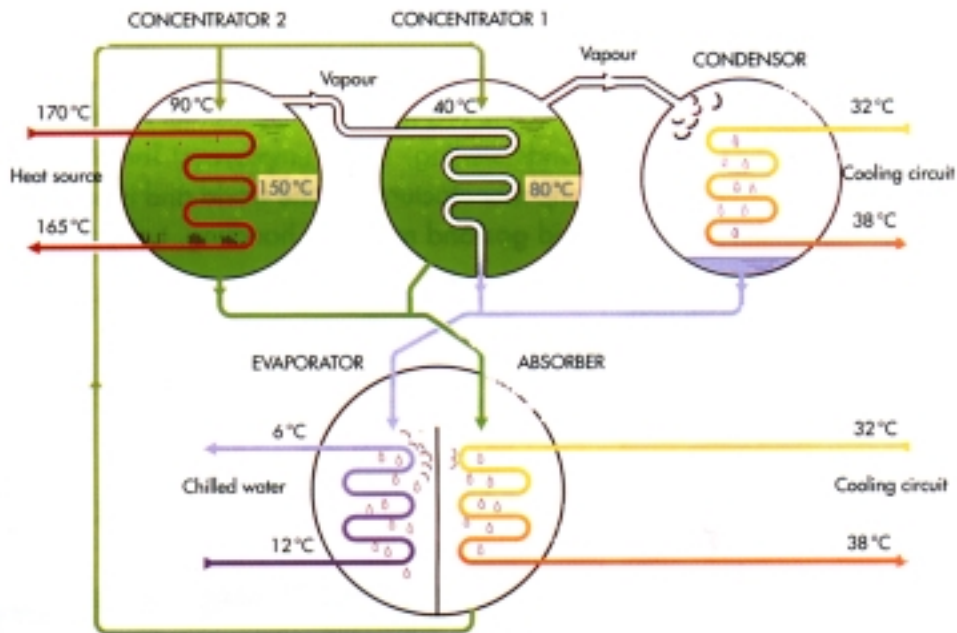
Sarjakytkentäisessä laitoksessa olisi mahdollista tuoda lämpö paitsi korkeapaineisessa keittimessä myös matalapaineisessa keittimessä em. vesihöyryn lauhtumislämmön lisäksi. Tuotavan lisälämmön lämpötila voisi olla 80–90 °C. Siitä, onko tällaisia laitoksia rakennettu ja toiminnassa, ei ole löytynyt dokumenttia.



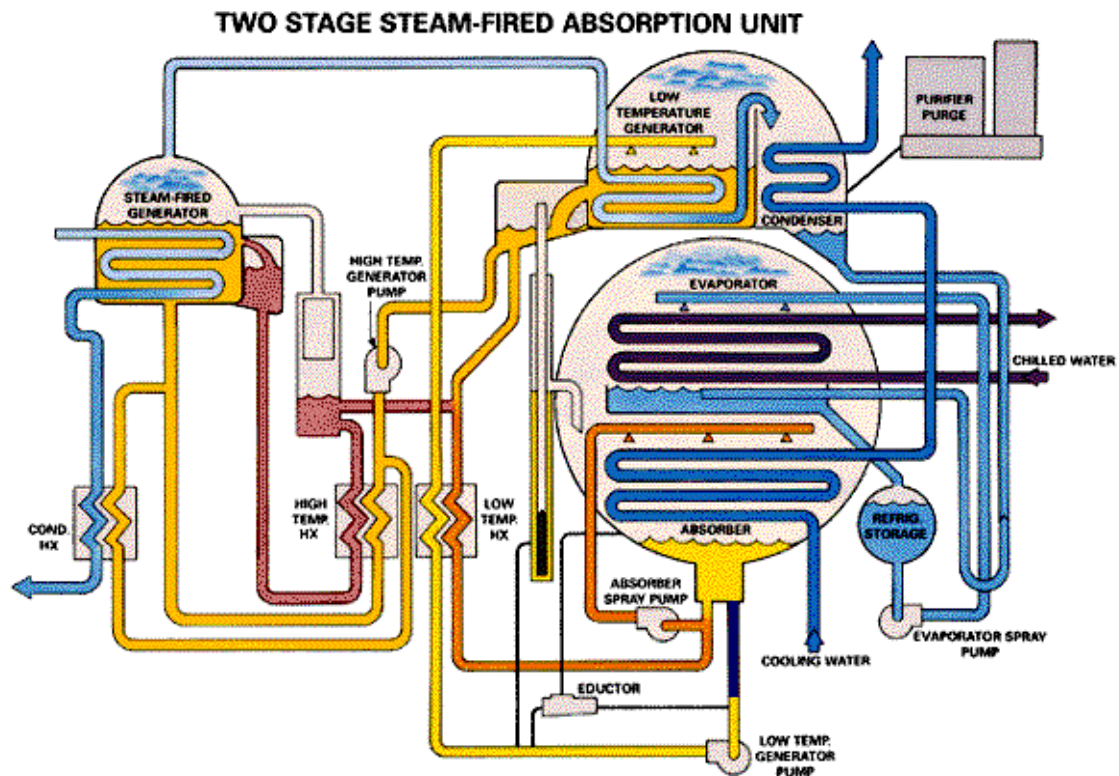
Kuva 19. Sarjakytkentäisen double effect -laitteen prosessikuva.



Kuva 20. Rinnankytkentäisen double effect -laitteen prosessikaavio.



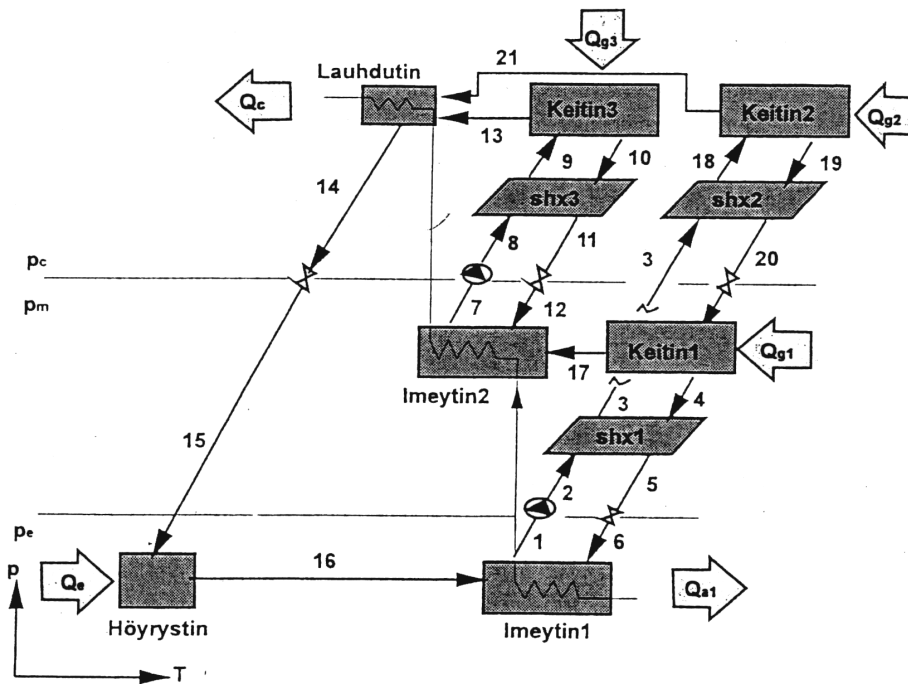
Kuva 21. Rinnankytkentäisen double effect -koneen toiminta-arvoja (ENTROPIE 2000).



Kuva 22. Sarjakytentäisen double effect -koneen laitekaavio.

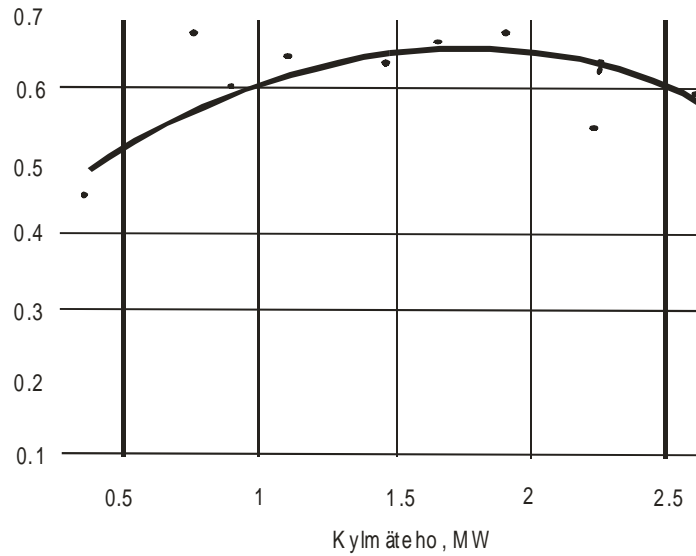
### 3.1.3 One stage – double lift -absorptiokone

Eräs tapa muunnella single effect -tyyppistä absorptiorakennetta on ns. double lift -kytkentä (ZAE 1998). Siitä käytetään yleisesti lyhennettä SE/DE (single effect – double lift). Laitteiston avulla pyritään hyödyntämään paremmin matalalämpötilalähteitä ja erityisesti suurentamaan lämmönlähteen jäähdytystä, esim. kaukolämpöveden jäähdytystä voidaan parantaa n. 10 °C:sta aina 30 °C:seen, jolloin paluulämpötila voi olla alimmillaan jopa 55 °C. Kuvassa 23 esitetään toimintakaavio. Prosessissa erottuu tavanomainen SE-kierto ja sen rinnalla osittain oleva puolittainen SE-kierto (half lift), jossa imeytin on välipainetasolla ja se saa vesihöyryn alkuperäiseen SE-piiriin sijoiteltulta keittimeltä 1. Energialähteenä toimiva kuumavesi tuodaan keittimeen 2, joka siis kuuluu normaaliin SE-kiertoon, ja jäähtynyt kuumavesi johdetaan edelleen keittimelle 1 ja vielä keittimelle 3, jolloin lämmönlähteen lämpötila laskee alemmaksi kuin pelkässä SE-kierrossa.



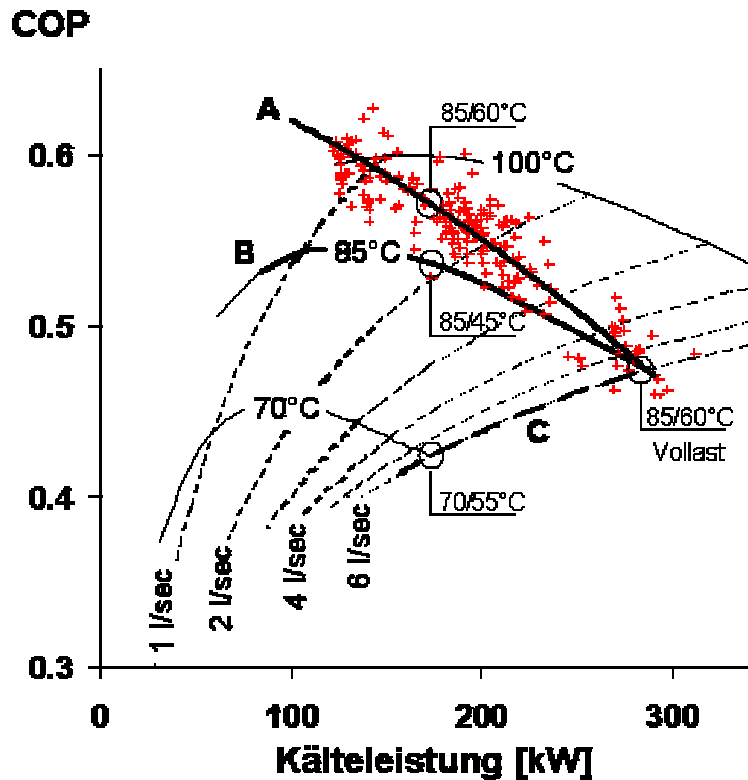
Kuva 23. Single effect – double lift -koneen toimintaperiaate.

DE/DL-prosessia on kehittänyt saksalainen ZAE Bayern -energiatutkimusinstituutti, ja laitoksia on käytössä ainakin kolme. Kahdessa laitetoimittajana on ollut Entropie. Laitoksen ajotavoista ja säädettävyydestä on laskennallisia käyriä, joita on verrattu käytännön mittauksiin. Kuvassa 24 on Münchenin lentokentällä olevan 2,5 MW:n kylmätehoisen laitoksen COP-käyrä kuorman funktiona. Laitoksella saavutetaan 60 °C:n paluu- lämpötila, kun menoveden lämpötila on 95 °C.



Kuva 24. Mitattuja COP-arvoja SE/DL-koneen toiminnasta kylmäkuorman funktiona.

Berliinin teknillisen korkeakoulun käytössä olevan kylmäteholtaan 400 kW:n laitoksen COP-arvoja kylmäkuorman funktiona on tarkasteltu eri ajotavoilla kuvassa 25. Kuvassa säädettäviä muuttujia ovat käyttöveden massavirta, menoveden lämpötila ja paluueden lämpötila. Käyrän B tapauksessa menoveden lämpötila on vakio 85 °C ja tilavuusvirtaa säädetään. Tällä säätötavalla COP-arvo kasvaa kuorman pienentyessä aina 25 %:n osatehoon asti. Jos massavirta pidetään vakiona ja menoveden lämpötilaa alennetaan (käyrä C), alenee myös COP osakuormilla. Paras tulos saavutetaan pitämällä menolämpötila vakiona ja säätämällä sekä kokonaisvirtausta että DL-osan kautta kulkevaa virtausta niin, että paluulämpötila pysyy vakiona (käyrä A).



Kuva 25. SE/DL-koneen säädettävyyttä kuvaavat käyrät.

### 3.1.4 Testaus- tai ideointivaiheessa olevia kylmälaiteratkaisuja

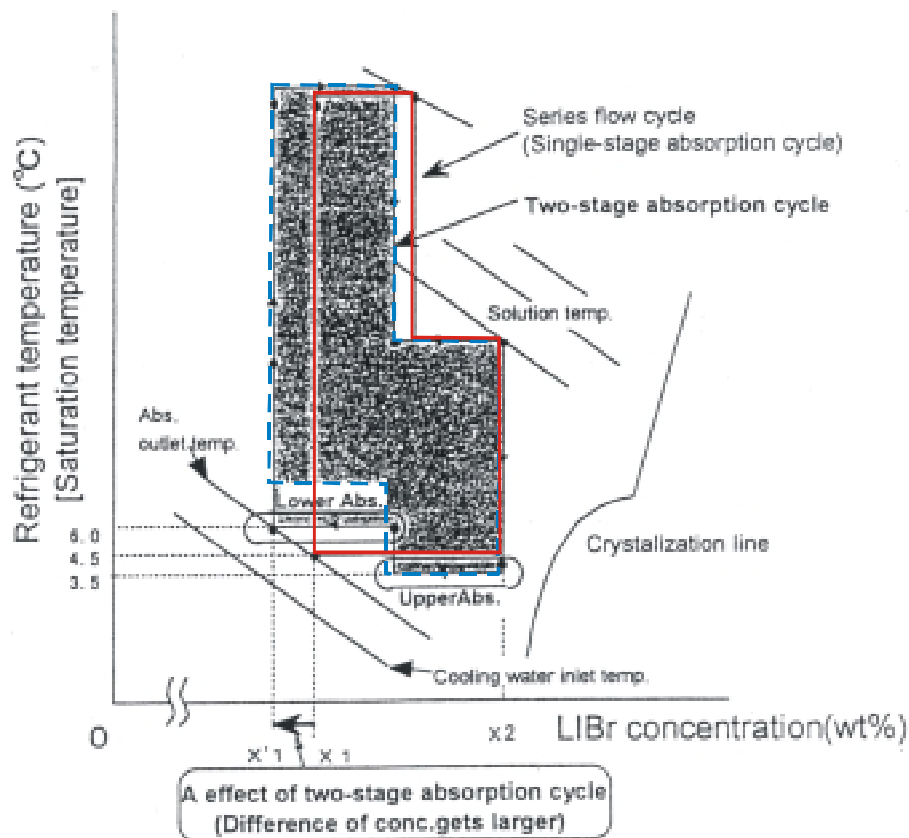
#### Triple effect

Tällä hetkellä on vain muutamia triple effect -kytkentöjä testattu koelaitoksissa, ja markkinoilla ei niitä vielä ole. One stage – triple effect -kytkennässä on double effectiin verrattuna lisätty kolmas keitin. Korkeampipaineisessa keittimessä erottuva vesihöyry laudutetaan alemman tason keittimessä, kunnes alimman paineen keittimen höyryn lauhdutus tapahtuu ulkoisen jäähdytysveden avulla. Lämmöntuonti tapahtuu ylimmällä tasolla ja lämpötilataso lähentelee 200 °C:ta. COP saadaan korotettua arvoon 1,5–1,7. Eräiden julkaisujen mukaan COP jäisi tasolle 1,2–1,5, mikä asettaa kyseenalaiseksi triple effect -koneen rakentamisen vähäisen lisähyödyn vuoksi.

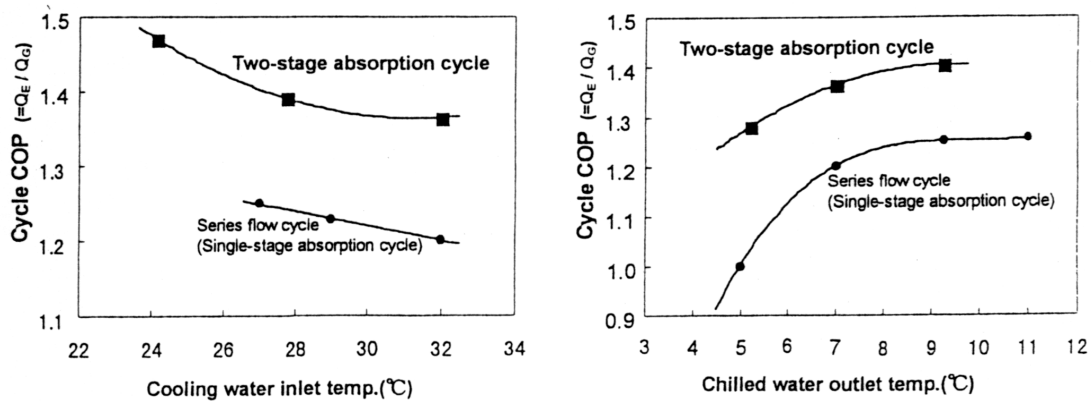
#### Two stage – double effect

Japanissa on käytössä koelaitos, joka on selvästi kaksiasteinen (two stage) (Takigawa 1998). Siinä one stage -kytkentää on täydennetty niin, että yhden höyrystin-imeytinparin tilalla on kahtia jaettu höyrystin-imeytin, ts. ylempi ja alempi höyrystin-imeytin. Osat toimivat hieman eri paineissa, ja vesi ja vastaavasti LiBr-liuos virtaavat yleimmästä osasta alempaan sekä kylmävesi ja jäähdytysvesi virtaavat alemmasta osasta ylempään.

Tuloksena on se, että LiBr:n konsentraatio on two stage -järjestelmässä hieman suurempi kuin one stage -järjestelmässä ja vastaavasti COP kasvaa. Kuvassa 26 esitetään kytkentöjen ero konsentraatio-lämpötiladiagrammissa. Kuvassa 27 näkyvät COP-arvojen erot jäähdytysveden lämpötilan ja kylmäveden lämpötilan funktiona. Olennaisesti kohonneen COP-arvon ohella vältetään lämpötilatasojen nosto ja siihen liittyvä korroosioriskin kasvaminen, mikä on ongelma muissa korkean COP:n ratkaisuissa.



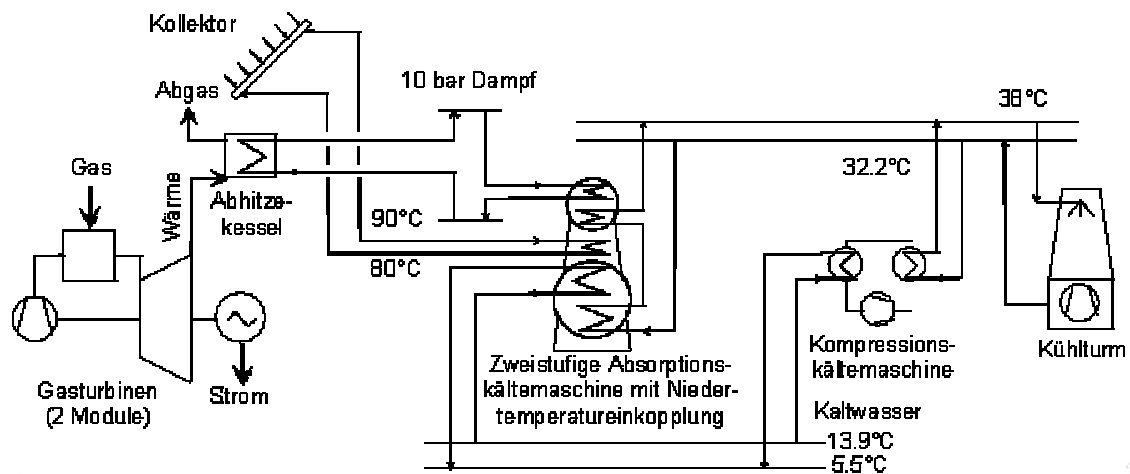
Kuva 26. Two stage -tyyppisen absorptiokoneen toimintakuvaus ja vertailu one stage -tyyppiseen.



Kuva 27. Two stage -absorptiokoneen toiminta-arvoja.

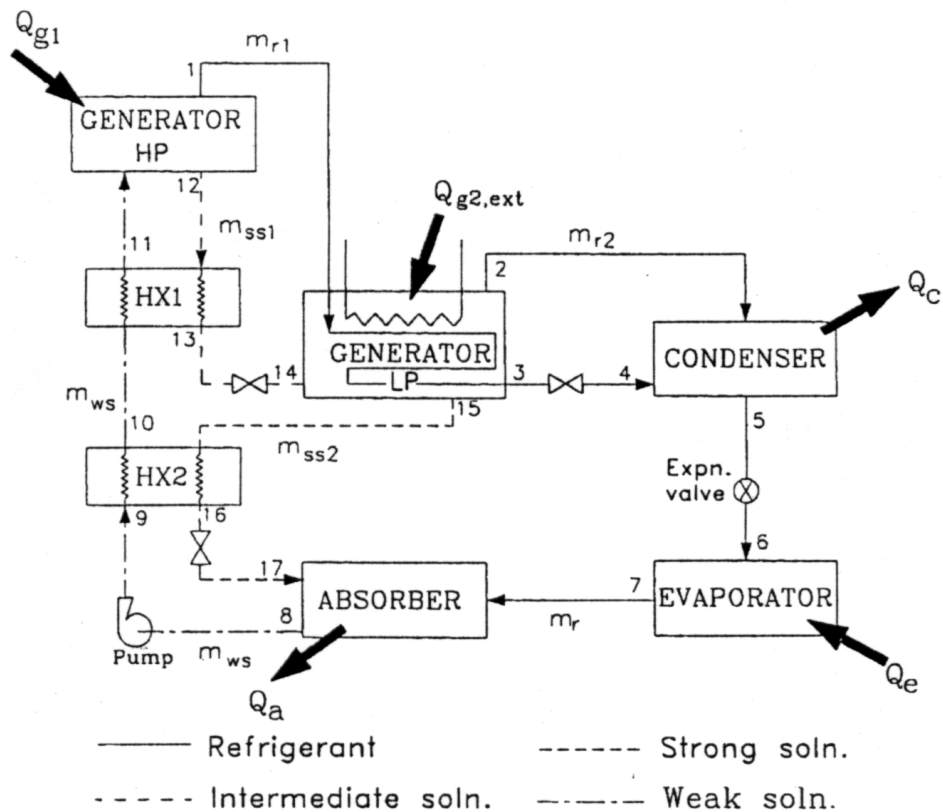
### Double effect – dual heat

Zae-instituutti on suunnittelemassa Bangkokin lentokentän kylmälaitteistoa kuvan 28 mukaisella konseptilla (ZAE 1999). Kaasuturbiinista saatava 10 baarin höyry muodostaa korkeampilämpötilaisen lämmönlähteen absorptiolaitokselle. Sen lisäksi lämmönlähteenä on 90 °C:n lämpötilassa oleva aurinkolämpö. Olennaista tässä kytkennässä on kahden lämmönlähteen samanaikainen käyttö, mikä tekee laitoksen optimoinnin ja tasapainolämpötilojen löytämisen mutkikkaaksi ja myös tärkeäksi. Tietolähde ei ilmaise kytkentäperiaatetta tarkemmin, mutta se voisi olla one stage – double effect -tyyppinen toteutettuna sarjakytkennällä. Tällaisen laitoksen prosessikuva esitetään kuvassa 29 (Arun et al. 2000). Kuvan mukaisesti lisälämpö tuodaan matalampipaineiseen keittimeen, johon tulee myös korkeapainekeittimen vesihöyryn lauhtumislämpö. Tutkimuksessa todetaan kytkennän olevan erittäin edullinen, jos on käytettävissä jätelämpöä.



Kuva 28. Double effect – dual heat -tyyppinen absorptiosovellutus.





Kuva 29. Dual heat -tyyppisen absorptiokoneen prosessikaavio.

## Adsorptio

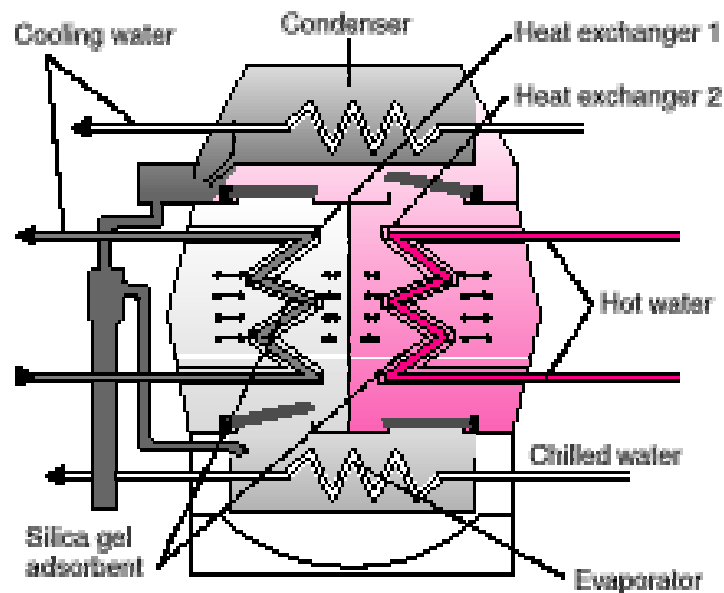
Adsorptio tarkoittaa kaasu- tai nestemolekyylin kiinnittymistä kiinteään aineeseen. Adsorptiokylmäkone toimii lämmöllä kuten absorptiokonekin, mutta höyrystimeltä tuleva vesihöyry imeytyy liuoksen sijasta kiinteään aineeseen. Kaupallisesti matalalämpötila-alueella toimivia aineita ovat ainakin silikageeli ja zeoliitti. Kylmäaineena tässä prosessissa on vesi. Adsorptiokoneita on pilottivaiheessa toiminnassa kymmenkunta, ja ne soveltuvat kaukolämpöä käyttäviin sovellutuksiin alhaisemman käyttölämpötilan (70–80 °C) vuoksi.

Adsorptioprosessi toimii jaksoittain, ja syklien vaikutuksen tasaamiseksi käytetään yleisesti ns. two bed -rakennetta (kuva 30). Kuvan keskiosassa olevien putkilämmönsiirtimien ulkopinnalla on adsorptioaine, ja putkien sisällä kiertää vuoroin kuumavesi ja jäädyttävä vesi (Bogaert 2000).

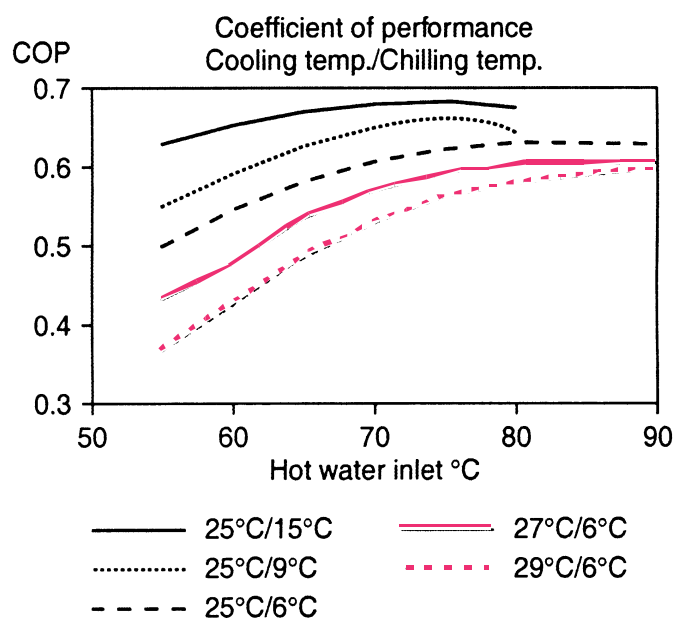
Lämmitys ja paineistusvaiheen aikana kammio on suljettu ja adsorptantti lämmitetään ulkopuolisen energialähteen avulla. Paine nousee tällöin höyrystimen paineesta lauhduttimen paineeseen. Seuraavassa vaiheessa tuodaan edelleen lämpöä adsorptantille ja avataan yhteys lauhduttimeen. Tällöin adsorptantista erottuu vesihöyry, mikä kulkee

lauhduttimelle ja lauhtuu vedeksi alentaen painetta. Kolmannessa vaiheessa kammio on suljettu ja adsoranttia jäähdytetään ja se sitoo itseensä vesihöyryä. Tässä vaiheessa kammion paine laskee lauhduttimen paineesta höyrystimen paineeseen. Neljännessä vaiheessa avataan yhteys kammiosta höyrystimeen, adsoranttia jäähdytetään ja vesihöyryä imeytyy vielä adsoranttiin. Tässä vaiheessa höyrystimessä muodostuu höyryä ja kylmävesipiirin vesi jäähtyy.

Kahden adsoranttikammion ansiosta kylmän tuotanto saadaan tasaisemmaksi. Syklin kesto vaikuttaa sekä hyötysuhteeseen eli COP-arvoon että kylmätehoon. Syklin pidentyessä COP kasvaa ja teho puolestaan pienenee tietyn maksimiarvon jälkeen. Erään valmistajan kompromissi pienehkössä kylmäkoneessa on 450 s eli 7,5 min. Tällöin COP on noin 0,5 ja teho on vielä lähellä maksimiarvoaan. Kuvassa 31 esitetään kylmälämpötilan ja jäähdytysveden lämpötilan vaikutus COP:hen.



Kuva 30. Erään adsorptiokylmäkoneen laitekuva.

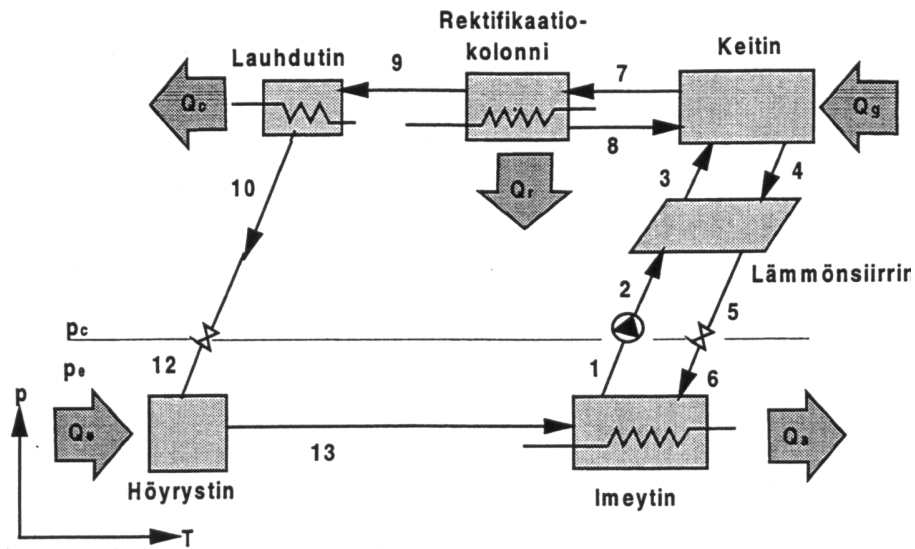


Kuva 31. Adsorptiokoneen kylmäpiirin ja jäähdytyslämpötilojen vaikutus COP:n.

### 3.1.5 Matalat kylmälämpötilat

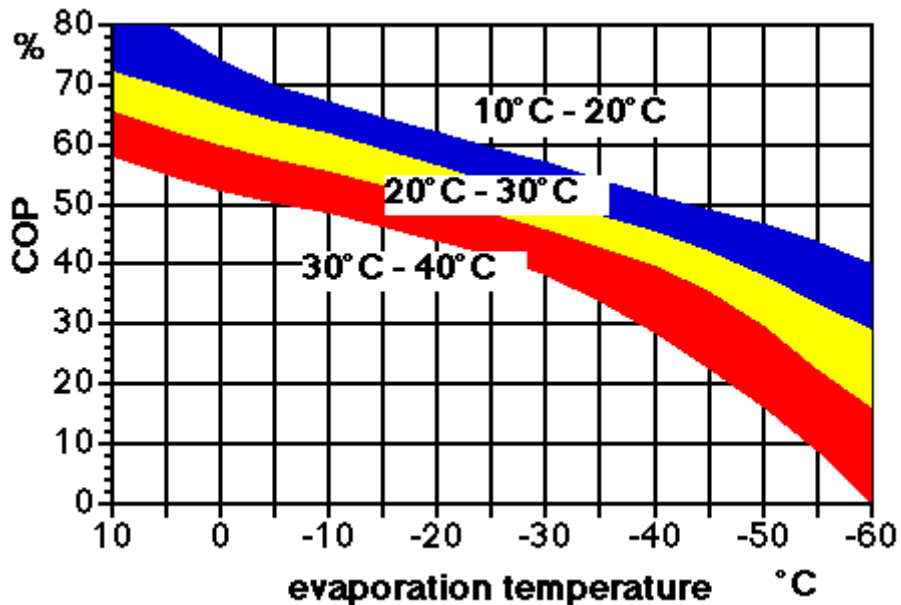
Absorptiolaitoksilla voidaan tuottaa myös alle nollan lämpötilaista kylmäenergiaa. Jo 1800-luvun loppupuolelta on tunnettu ammoniakki-vesiparin käyttö absorptiokoneessa kylmän tuottamiseen. Kompressorityyppiset laitokset ovat kuitenkin hallinneet markkinoita niiden alhaisempien hankintakustannusten ja korkeamman kylmäkertoimen ansiosta. Jätelämmön hyväksikäyttö, absorptiokoneiden kehittyminen ja ympäristövaikutusten huomioonottaminen ovat kuitenkin viime aikoina parantaneet ammoniakki-kylmäaineella toimivien absorptiolaitosten kilpailukykyä.

Prosessikytkennöiltään  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ -jäähdytin on samantapainen kuin  $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ -jäähdytin. Kylmäaineena toimii veden sijasta ammoniakki, jonka kiehumispiste normaaliolosuhteissa on  $-33,4\text{ °C}$ , mistä johtuu olennaisesti korkeampi painetaso kuin vesi-LiBr-jäähdyttimessä. Kuvassa 32 esitetään yksivaiheinen ammoniakki-vesiabsorptiokierto-prosessi. Prosessiin kuuluu lisäkomponenttina rektifikaatiokolonna, jossa erotetaan ammoniakkihöyryn mukana keittimestä lähtevä vähäinen vesihöyrymäärä ja lauhdetaan ja palautetaan se takaisin keittimelle. Puhdas ammoniakkihöyry johdetaan lauhduttimelle. Kolonna toimii vastavirtaperiaatteella, jossa alhaalta syötetään puhdistettava kaasuseos ja ylhäältä jäähdytetty ammoniakki-liuos. Jäähdytysenergia voidaan joissain kytkennöissä ottaa sisäiseen käyttöön. Ammoniakkikylmäkoneen keittimen ja lauhduttimen paine on noin 1,5 MPa ja höyrystimen tai imeyttimen noin 0,2 MPa.



Kuva 32. Single effect -tyyppisen ammoniakikylmäkoneen toimintakaavio.

$\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ -jäähdyttimen COP riippuu paitsi sisäisistä lämmöntalteenotoista erityisesti kylmälämpötilasta, jäähdytyslämpötilasta ja tulevan energian lämpötilasta. Yleisesti ottaen lämmönlähteen lämpötilan tulee olla yli  $130\text{ }^\circ\text{C}$ . Kuvassa 33 esitetään erään valmistajan esittämä COP-käyrästä (Langreck 2000).



Kuva 33. Ammoniakityyppisen kylmäkoneen toimintakäyriä, parametrina jäähdytysveden lämpötila.

## 3.2 Muut komponentit

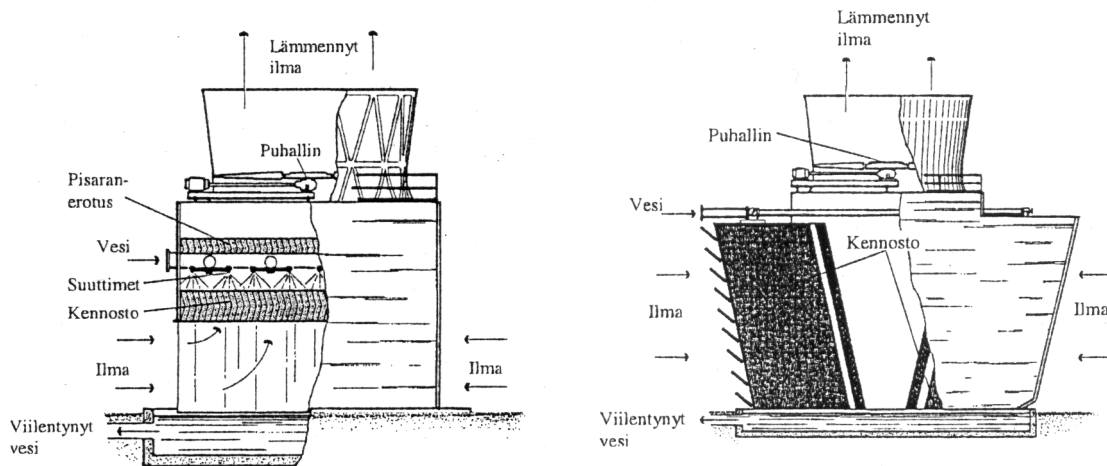
### 3.2.1 Jäähdytystorni

Absorptiokylmälaitos tarvitsee toimiakseen jäähdytyksen, jossa lämpötila on alempi kuin laitokselta tulevan jäähdytysveden lämpötila. Luonnollisia jäähdytysympäristöjä ovat merivesi, joki tai isommat järvet, joissa siirrettävä lämpö ei aiheuta olennaisia ympäristömuutoksia. Laitoksen jäähdytysvesi erotetaan luonnonveden kiertopiiristä lämmönsiirtimellä. Jos luonnonjäähdytystä ei ole käytettävissä, on turvaututtava joko ilmajäähdytteisiin radiaattoreihin, joiden lämmönsiirtoa voidaan tehostaa vesikostutuksella, tai jos tämäkään ei riitä absorptiokoneen toimintaolosuhteiden ylläpitämiseksi, on käytettävä varsinaisia jäähdytystorneja.

Jäähdytystornissa kylmäkoneelta tuleva jäähdytysvesi jäähdytetään vähintäänkin useita asteita. Jäähdytystornit voivat olla sarjassa, jolloin lämpötilaeroa voidaan kasvattaa, tai rinnan, jolloin tehoa kasvatetaan ja kukin torni tuottaa riittävän lämpötilalaskun. Kylmäkoneiden yhteydessä olevat jäähdytystornit ovat kooltaan sen verran pieniä, että korkeuden tuottamaa luonnollista vetoa ei käytetä mitoitusperustana vaan käytetään puhaltimia jäähdyttävän ilmapinnan aikaansaamiseen. Puhaltimien säädöllä ohjataan jäähdytystehoa, luonnollinen veto yksinään tuottaa parin asteen jäähdytyksen.

Jäähdytystorni voi olla avoin tai suljettukiertoinen. Avoimessa kierrossa jäähdytysvesi on suorassa kosketuksessa jäähdyttävän ilman kanssa ja osa vedestä höyrystyy tehostaen jäähdytystä. Suljetussa kierrossa vesi kiertää putkistossa ja putkistoa jäähdytetään ilmalla tai lisäksi ilmaan sumutettavalla vedellä. Suomen olosuhteissa voidaan selviytyä suljetulla kierrolla, mutta lämpimämissä olosuhteissa normaali ratkaisu on avoin kiertopiiri. Avoin jäähdytystorni on perustyyppiltään joko vastavirta- tai ristivirtatyypinen.

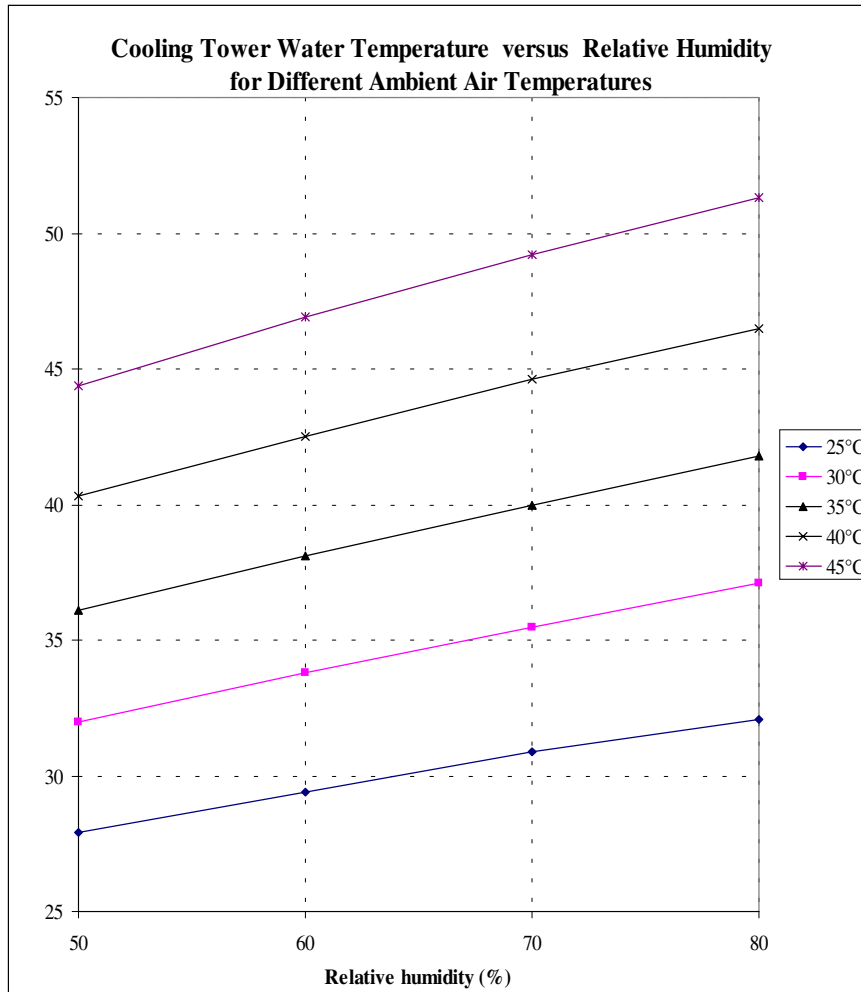
Kuvassa 34 esitetään pienehköjen teholuokkien laiteratkaisut. Vastavirtatyypissä jäähdytysvesi ruiskutetaan tornin yläosasta kennoston kautta alaspäin ja ilma kiertää alhaalta ylöspäin tuottaen suuren kosketuspinnan veden ja ilman välille. Tornin yläosassa oleva puhallin tuottaa ilmapirtauksen. Pisaneroinin poistaa veden ilmasta vähentäen vedenkulutusta. Tornin pohjalta vesi palautetaan kylmäkoneelle. Jäätymisen ja suutinten tukkeentumisvaaran vuoksi jäähdytyskierto pidetään usein vakiona ja puhaltimella säädetään jäähdytystä. Ristivirtatornissa ilman virtaus tapahtuu vaakasuoraan ja veden pystysuunnassa.



Kuva 34. Jäähdytystornin (vastavirta ja ristivirta) periaatekuva (Ek 2000).

Avoimessa piirissä olevan jäähdytysveden haihtuminen on korvattava uudella vedellä, myös likakonsentraatioiden välttämiseksi tarvitaan lisävetä.

Jäähdytystornien mitoittamiseen ja toiminta-arvoihin vaikuttavat jäähdytettävän veden lämpötilat ja ilman ns. märkälämpötila. Jäähdytettävän veden lämpötilatason nostaminen lisää jäähdytystehoa ja alempi märkälämpötila tuottaa suuremman jäähdytystehon. Jäähdytysveden lämpötilan alenema on normaalisti 5–7 °C ja jäähdytysveden alempi lämpötila on 5 °C tai enemmän märkälämpötilaa korkeampi. Kuvassa 35 esitetään ilman suhteellisen kosteuden ja ulkoilman lämpötilan vaikutus saavutettavaan jäähdytysveden lämpötilaan tyypillisessä jäähdytystornissa. Suhteellisen kosteuden ollessa 65 % on jäähdytysveden lämpötila 2–5 °C korkeampi kuin ulkoilman lämpötila. Ilman 80 %:n kosteudella vastaava ero on noin 7 °C.



Kuva 35. Jäähdytystornin toimintalämpötilat ilman kosteuden ja lämpötilan funktiona.

### 3.2.2 Kylmävarastot

Kylmävesivarastot ja jäävarastot ovat kaupallisesti saatavia energiavarastointitapoja ilmastointijääditysjärjestelmissä. Kylmävarastojen avulla säästetään energiaa ja muita käyttö- ja ylläpitokustannuksia sekä saavutetaan merkittävää investointikustannussäästöä. Kylmävaraston käyttö ei liity ainoastaan absorptiotekniikkaan vaan erityisesti sähköä käyttäviin kompressorikylmälaitoksiin, joissa varaston avulla voidaan leikata sähkön huipputehoa (Hasnain 1998, Vadrot & Delbes 1999).

Periaatteellisesti kolmenlaisia kylmävarastoja on käytettävissä nykytekniikalla: kylmävesivaraaja, jään käyttö kylmävaraajassa sekä eutectiset suolaliuosvarastot.

Kylmävesivaraajat voivat toimia kolmella periaatteella: kerrostumiseen perustuen, tyhjä-säiliömenetelmällä tai labyrinttitekniikkaa käyttäen. Kerrostumiseen perustuvassa menetelmässä kylmä ladataan vesisäiliöön 4–6 °C-asteisena vetenä, jos käytössä on kompressoreita, ja 5–8 °C:n lämpöisenä vetenä vesi-LiBr-absorptiolaitteilla. Varastoa purettaessa lämmennyt vesi (kylmäverkon paluulämpötila) korvaa kylmän veden ulosvirtauksen. Varaston latausaste riippuu kylmän veden ja lämmenneen veden määrien suhteesta. Kerrostumista edistetään sopivalla virtauskartioilla sekä säiliön H/D-suhteella. Kylmän ja lämmenneen veden rajana on kuitenkin aina lämpötilan asteittainen muuttumisvyöhyke (0,3 m – 1,0 m), eikä 100 %:n hyötysuhdetta voida saavuttaa. Menetelmä on käytännössä osoittautunut toimivuaksi, ja hyötysuhdekin saavuttaa 80 %:n arvon. Tämänkaltaisia varastoja ladataan yöaikaan ja puretaan päiväaikaan, jolloin vältetään suuria virtausnopeuksia ja parannetaan hyötysuhdetta. Kylmävaraston varastokyky on kuitenkin vain 11,6 kWh kuutiometriä kohti, kun meno- ja paluuveden lämpötilaero on 10 °C.

Tyhjä-säiliömenetelmässä käytetään kahta tai useampaa säiliötä. Paluuvesi syötetään eri säiliöön kuin kylmä menovesi. Menetelmässä saavutetaan 100 %:n varastohyötysuhde (lämpöhäviöitä lukuun ottamatta) mutta tarvitaan enimmillään kaksinkertainen säiliötilavuus.

Labyrinttimenetelmässä vesitila on jaettu vesiosastoihin niin, että veden sekoittuminen estetään. Kylmä tuodaan erillisessä putkistossa, joka kulkee vesiosastojen läpi jäähdyttäen osastossa olevan veden. Varastoa purettaessa vesi putkistossa virtaa vastakkaiseen suuntaan.

Jäävaraajan periaatteena on hyödyntää varastoinnissa faasimuutosenergiaa eli jäätyminen tai sulamislämpöä. Menetelmä ei sovellu vesi-LiBr-laitteistolle, mutta jos kylmäntuotantoa tapahtuu myös kompressorikoneilla tai NH<sub>3</sub>-vesi-absorptiokoneella, voidaan niiden kylmäenergiaa varastoida jäävarastoon. Jää tuotetaan käyttäen kylmäaineena glykolia tai sopivaa suolaliuosta, joka virtaa vesisäiliöön alle nollan lämpötilaisena (-3 – -6 °C) suljetussa putkistossa jäädyttäen varastoveden. Voidaan myös käyttää muovipalloihin varastoitua vettä, joka jäädytetään säiliön kautta virtaavalla kylmäaineella. Kylmävaraston latausaste riippuu siitä, kuinka täydellistä on veden jäätyminen. Eräs tapa jään varastoinnissa on valmistaa jää jäähdytysputkistolla ja kerätä jää erilliseen varastoon. Kehittyneempi muoto jäänkeruusta on tuottaa jäsohjoa (ice slurry) ja käyttää sitä myös siirtoaineena. Jään osuus siirtoaineessa on 20–25 %, jolloin sitä voidaan siirtää periaatteessa nesteiden tapaan ja se saavuttaa nelinkertaisen kylmätehon. Jopa suurempia jääpitoisuuksia ollaan kokeilemassa käytäntöön.

Eutectiset suolaliuokset ovat eräs väliaine kylmän varastoinnissa. Eutectinen suolaliuos sisältää epäorgaanista suolaa, vettä ja stabiloivia lisäaineita. Liuoksen kylmävaraaja-



ominaisuudet perustuvat jäätymis- tai sulamislämpöön. Useimmin käytetyt liuokset jäätyvät ja sulavat noin 8 °C:ssa, ja energiansiirtoaineena voidaan käyttää vettä tai glykolia.

Kolmen varastotyypin vertailussa voidaan todeta, että kylmävesivaraajat ovat yleistyneet isoissa kokoluokissa, kun jäävarastot on enemmistönä pienemmissä sovellutuksissa. Rajana on noin 7 000 kWh:n varaaja eli 760 m<sup>3</sup>:n kylmävesivarasto. Jäävarastoa käytettäessä voidaan esimerkiksi toimistorakennuksessa, jossa kylmäteho on 600 kW, alentaa kylmäkoneen teho 200 kW:iin sekä pienentää siirtojohtojen ja pumppujen kokoa niin, että saavutettava investointisäästö on yli 20 % ilman kylmävarastoa toteutettuun kompressorijärjestelmään verrattuna.

Kylmävarastojen mitoittamista ja toimintaa varten voidaan erottaa täysvarasto (full storage) ja osittainen varasto (partial storage). Näillä termeillä viitataan huippukuorman peittämiseen kokonaan varaajan avulla ja vastaavasti osittaiseen peittämiseen. Nämä määritelmät ja käyttötavat perustuvat kompressorikoneiden käyttöön ja sähkön tariffihintoihin, joilla pyritään erityisesti sähkön huippukulutuksen aikaisen kylmätuotannon leikkaamiseen. Absorptiolaitokset jo itsessään leikkaavat sähkön kulutusta, ja varaajan pääasiallinen hyöty on investointikustannusten alentuminen ja käyttövarmuuden lisääminen. Varaston avulla vältetään myös alhaisen kuorman aiheuttamaa huonoa hyötysuhdetta, kun laitos voidaan mitoittaa esimerkiksi puolelle teholle huippukuormasta. Jos absorptiokone saa lämpöenergiansa yhteistuotantolaitokselta, esimerkiksi polttomoottorivoimalaitokselta, jota käytetään osittain osatehoilla, toimii kylmävaraaja tuotannonvaihteluiden tasaajana. Vastaavasti voi lämpöenergialle olla osan aikaa muuta käyttöä, kuten lämmitystarkoitukseen, jolloin kylmävaraaja toimii myös tuotannonohjauksen mukaan. Joissakin tapauksissa voi olla edullisinta varastoida lämpöä kylmän sijasta. Absorptiokoneen tuottama kuumaveden jäähdytys on kuitenkin niin vähäinen, että varaajan tilavuudessa ei saavuteta etua kylmävesivaraajaan verrattuna.

### 3.2.3 Kaukokylmän siirtojärjestelmä

Kaukokylmä siirretään kuluttajille normaalisti erillisellä putkistolla, joka käsittää meno- ja paluuputken. Putkiston toteutusperiaatteet perustuvat pitkälti kaukolämpötekniikkaan, ja vain vähäistä tuotekehitystä on havaittavissa. Erona kaukolämpöputkiin ovat keskimäärin suuremmat putkikoot. Kun meno- ja paluujohtojen lämpötilaero on vain 10 °C, on putkien koko vastaavasti suuri verrattuna kaukolämpöputkiin, joissa lämpötilaero on mitoitusolosuhteissa 40–50 °C. Yli 1,2–1,5 metriä halkaisijaltaan olevia putkia ei teknisesti ja kustannusten vuoksi käytetä, vaan käytetään pienempiä erillisiä verkkoja tai kylmäntuotanto jaetaan verkon eri osiin. Jos kuluttajille siirretään myös kaukolämpöä, käytetään neliputkijärjestelmää, ja uudisrakentamisessa, jos tunneliratkaisu tulee kysy-

mykseen, sijoitetaan putket luonnollisesti samaan tunneliin. Joitain perinteisestä tekniikasta eroavia toteutusvaihtoehtoja on käytössä.

Lämpöenergia voidaan siirtää lähemmäksi kaukokylmän ja lämmitysenergian kulutuskohtetta höyryn muodossa. Lämmön muuntaminen kaukolämmöksi ja kylmäksi tapahtuu höyryn lauhduttamisen ja muodostuneen lauhteen jäädyttämisen kautta. Järjestelmä sopii esimerkiksi teollisuusalueelle, jossa suurehko höyryputki voidaan sijoittaa tarvittaessa maan päälle. Järjestelmän etuna on pieni paluuputki, koska höyryn energiasisältö on suuri kuumaveteen verrattuna.

Kaukokylmäputket sallivat jonkin verran kevyemmän rakentamisen kuin kaukolämpöputket, koska lämpölaajenemisesta johtuvat liikkeet ja voimat on vähäisempiä. Myös lämpöhäviöt ovat pienempiä ja usein vain menojohto eristetään. Tyypillisiä putkien sijoitustapoja ovat tunnelisijoitus, kanavasijoitus ja suoraan maahan sijoittaminen. Ilmajohtoja käytetään vain erityistilanteissa.

Putkimateriaaleista teräs on yleisin. Sitä käytetään erityisesti suuremmilla putkikoilla. Pienemmissä kokoluokissa voidaan käyttää myös muoviputkea (HDPE).

## 4. Kaukokylmän rakentaminen eri maissa

### 4.1 Kaukokylmän rakentamisen yleispiirteet

Kaukokylmälaitoksia on käytössä parissakymmenessä maassa. Rakentamisratkaisut ovat usein määräytyneet paikallisista olosuhteista, ja erot eri maiden välillä liittyvät omistukseen ja käyttöön, teknillisiin laitevalintoihin, kuluttajiin ja markkinoihin yleensä. Myös maan sähköntuotanto- ja hinnoittelutilanne sekä polttoaineiden omavaraisuus, lainsäädäntö, ympäristöpainotteisuus sekä ilmasto- ja muut sen kaltaiset olosuhteet ovat vaikuttaneet ratkaisuihin.

Taulukossa 7 esitetään tämänhetkinen kaukokylmän rakentamislajuuus (Vadrot & Delbes 1999, Westin 1998). Yhdysvallat, Japani ja Ranska ovat suurimpia kaukokylmän maita. Saksassa ovat absorptiokoneet yleistyneet kiinteistö- tai aluekohtaisina kylmälaitoksina. Ruotsissa on paljon kaukokylmäverkkoa, mutta kylmä saadaan pääasiassa merivedestä. Absorptiokoneistot ovat yleistyneet Saksan lisäksi mm. Japanissa, Yhdysvalloissa ja Malesiassa. Joissakin maissa absorptio on lähes ainoa kaukokylmän tuotantotapa, kuten Suomessa, Portugalissa, Italiassa ja Koreassa.

*Taulukko 7. Yhteenveto kaukokylmän rakentamistilanteesta.*

Maa	Kaukokylmäteho, MW	Huomioitavaa
Tanska	0,9	Kaukokylmäverkko 8/16-lämpötiloilla
Suomi	12	Neljä kaukokylmälaitosta ja yksi prosessin liittyvä absorptiolaitos
Ruotsi	170	150 MW perustuu kylmän meriveden käyttöön
Ranska	513	16 kaukokylmälaitosta
Saksa	30	Suurin osa kiinteistökohtaisia kylmälaitoksia, yht. noin 1 000 MW
Itävalta	4,2	Yksi verkko
Iso-Britannia	70	Kompressorilaitoksia
Portugali	22	Yksi kaukokylmäverkko
Espanja	7,8	Kaksi laitosta
Italia	6,8	Kolme laitosta
Yhdysvallat	2 000	Noin 50 laitosta
Japani	610	
Kanada	12	
Korea	73	Kaukokylmän jakeluverkko
Malesia	127	Pari isoa alueverkkoa
Filippiinit	350	Manilassa toteutusvaiheessa
Saudi-Arabia	365	Kylmätuotanto pääasiassa kompressorikoneilla

Kaukokylmän toimittajia tarkasteltaessa vallitsee erilaisia periaatteita. Ruotsissa useimmiten kaukolämpölaitokset huolehtivat kaukokylmän tuottamisesta ja siirrosta. Jos kylmä tuotetaan absorptiolaitteella, lämpö saadaan siihen omilta energiatuotantolaitoksilta. Ruotsissa sähkön hinta on edullista, joten perinteisesti kompressorikylmälaitoksia on myös käytössä. Ympäristöpolitiikka kuitenkin tukee muita kuin sähköä käytäviä ratkaisuja.

Ranskassa vesilaitokset ovat merkittävimmät kaukokylmän toimittajat (General des Eaux ja Suez-Lyonnaise des Eaux). Tämän arvellaan johtuvan siitä, että Ranskassa energiayhtiöt ovat olleet valtion ohjauksessa ja omistuksessa, kun puolestaan vesihuolto on annettu yksityisten yritysten hoitoon. Pörssissä noteerattavat yksityiset vesiyhtiöt ovat olleet liiketoiminnoissaan nopeampia ja joustavampia kuin valtion energiayhtiöt. Suez-Lyonnaise des Eaux:n tytäryhtiö ELYO käyttää 13:a kaukokylmäverkkoa, joista osa on ulkomailla, mm. Malesiassa ja Yhdysvalloissa.

Saksassa kaukokylmän tuottavat ja jakelevat pääasiassa energialaitokset. Sähkön hinta on Saksassa ollut korkealla, ja sähköä pyritään säästämään. Absorptiokylmälaitokset ovat saavuttaneet suosiota.

Yhdysvalloissa sähkölaitokset tai kaasulaitokset vastaavat kaukokylmän tuottamisesta. Joissain tapauksissa kylmän kuluttaja on hankkinut laitoksen itselleen ja ostaa siihen lämpöenergian lämmönjakeluverkosta.

Japanissa lainsäädäntöön perustuen kaukolämmöllä ja kaukokylmällä on omat alueensa ja alueen energiayhtiön on vastattava alueensa energiatarjonnasta. Kaukokylmäyhtiöt ovat usein isojen energiayhtiöiden, kuten Tokyo Gasin tai Tokyo Electricin, tytäryhtiöitä. Japanissa sähkön hinta on korkea eikä omia energialähteitä juurikaan ole, joten sähköä säästävillä kylmälaitteilla on kysyntää. Yhteistuotantolaitokset käyttävät polttoaineena tuontiin perustuvaa maakaasua ja kylmälaitoksena toimii kompressorilaitos ja hukkalämpöä käyttävä absorptiolaitos.

Suomessa energiayhtiöt ovat kaukokylmän toimittajia joko suoraan kaukokylmäverkon avulla tai kaukolämmön muodossa kiinteistökohtaiselle absorptiokoneelle.

## 4.2 Kaukokylmä alueittain

### 4.2.1 Eurooppa

Kaukokylmäntoimintaa on Euroopassa lähinnä Pohjoismaissa, Ranskassa ja Saksassa. Yksittäisiä järjestelmiä on myös Portugalissa, Italiassa, Itävallassa ja Espanjassa. (Westin 1998)

#### Ruotsi

Kaukokylmää on rakennettu viime vuosien aikana useissa kaupungeissa, kuten Västeråsissa, Solnassa, Sundbybergissä, Tukholmassa ja Göteborgissa. Kaukokylmästä vastaavat lähinnä kaukolämpölaitokset, jotka voivat olla kunnallisia tai yksityisiä laitoksia. Kaukokylmäjärjestelmien suunnittelua kotimaassa ja ulkomaisissa kohteissa ovat toteuttaneet Fjärrvärmebyrån i Västerås ja Scandiakonsult (SCC).

Västeråsissa kaukokylmä perustuu lämpöpumpun käyttöön. Lämpöpumpun avulla poistetaan kylmäverkon paluuedestä (lämpötila 13–16 °C) lämpöä ja saadaan siten menojohdon lämpötilaksi 5–9-asteinen vesi. Kaukolämmitystä palvelevien lämpöpumppujen tärkein lämmönlähde on kuitenkin viemärivesi. Kylmäenergia tuotetaan kahdella lämpöpumpulla, joiden tehot ovat 6–8 MW ja 7–9 MW. Sähkönkulutus on vastaavasti 4,3 MW ja 5,2 MW. Kylmäverkon kokonaispituus on noin 4 km ja kuluttajia on parikymmentä, ja niiden yhteenlaskettu liitäntäteho on 25 MW. Kylmävaraston koko on 4 000 m<sup>3</sup> ja se sisältää kylmäenergiaa 45 MWh. Verkon putkimateriaaliksi ilmoitetaan teräs ja polyetyleni (PE).

Tukholman pohjoispuolella sijaitsevissa Solnan ja Sundbybergin taajamissa kaukokylmä perustuu myös viemäriveden jäähdyttämiseen lämpöpumppujen avulla. Jäähtynyt viemärivesi puolestaan jäähdyttää lämmönsiirtimen kautta kaukokylmäveden. Solnassa olevien kahden lämmönsiirtimen kapasiteetti on 2 x 10 MW. Kylmän siirtomatka suurimmille asiakkaille on noin kaksi kilometriä, ja kylmän vuorokausivarasto sijaitsee kuluttajien läheisyydessä. Solna Centrum, joka on suurin kylmäasiakas, on Tukholman alueen suurin ostoskeskus käsittäen satakunta liikettä, kunnallisia kiinteistöjä ja muita palvelulaitoksia.

Malmö Värme aloitti kylmäntuotantonsa vuonna 1998. Lämpöenergiajärjestelmä perustuu maanalaisiin pohjavesivarastoihin, joista toinen on kylmätilassa ja toinen lämmintilassa. Varastot sijaitsevat noin 40 metrin syvyydessä. Lämpöpumpun avulla tuotetaan lämpöä kaukolämpöasiakkaille ja kylmää kaukokylmäasiakkaille.

Myös Eskilstunassa kaukokylmä perustuu lämpöpumpun käyttöön, jonka teho on 8 MW(kylmä). Kaukokylmän toimitukset aloitettiin syksyllä 1998. Lundissa vastaavanlaisen järjestelmän kylmäkapasiteetti on 12 MW, ja asiakkaita ovat muutamat suuret kuluttajat, mm. sairaala.

Upsalassa on käytännöllisesti katsoen vain yksi kaukokylmäasiakas, Pharmacia Upjohn, jonka kylmän tarve on noin 7–10 MW. Siirtojohdon pituus on 3,5 km, ja kylmä tuotetaan lämpöpumpun avulla. Myös Kungsängensissä on sama yritys asiakkaana Graninge-verkenin kylmäjärjestelmässä. Helsingborgissa lämpöpumppuun perustuvan kylmätehon suuruus on 17 MW.

Muutama kaupunki on valinnut absorptiolaitoksen kylmän tuottamiseen alueellisesti tai kiinteistökohtaisesti kaukolämmön avulla. Tällaisia kaupunkeja ovat Göteborg, Linköping ja Halmstad.

Göteborgissa kemianteollisuuden hukkalämpöä siirretään kaukolämpöverkkoon ja kesäaikana sitä voidaan käyttää kaukokylmän tuottamiseen absorptiolaitteilla. Asiakkaina on mm. sairaaloita, yliopiston laitoksia ja toimistorakennuksia. Linköpingissä ylimääräistä lämpöä tulee kaukolämpöverkkoon jätteenpolttolaitokselta, ja kylmäntuottamisen kautta sille saadaan kulutusta myös kesällä. Pääasiallinen kylmän kuluttaja on Linköpingin yliopisto. Myös Halmstadissa jätepolttolaitoksen tuottamaa lämpöä ja teollisuuden hukkalämpöä käytetään kulutuskohteissa kylmän tuottamiseen.

Ruotsissa on laajimmin toteutettu suoraan merestä otettavan kylmän siirtäminen asiakkaille. Tukholman kaukokylmäteho on jo sadoissa MW:ssa. Samalla periaatteella toimii kylmäntuotantoa Jönköpingissä ja Telgessä.

Energialaitokset voivat tuottaa kaukokylmää asiakkailleen myös perinteisillä tuotantomuodoilla tuotettuna, esimerkiksi ammoniakkipressorilaitoksella, jos lähistöllä ei ole saatavissa lämpöä. Boråsin kaukokylmäkapasiteetti on 1,1 MW. Kokonaiskapasiteetin oletetaan nousevan 6 MW:iin. Sundsvallissa kaukokylmäverkon pituus on 1,3 km ja kylmästä tuotetaan 30 % merestä ja 70 % perinteisellä kompressoriteknikalla.

## Norja

Norjan ainoa kaukokylmäverkko sijaitsee Sandvikassa Oslon ulkopuolella. Se on Pohjoismaiden ensimmäinen kaukokylmäjärjestelmä. Sandvika on massiivinen virastojen, kaupallisten rakennusten ja asuntojen muodostama taajama, joka rakennettiin 1980-luvulla ja johon samalla toteutettiin alueellinen kaukolämpö- ja kaukokylmä-rakentaminen.

Sandvikassa käytetään lämmön ja kylmän tuotantoon lämpöpumppua hyödyntämällä jätevesiviemäreiden lämpöä. Kylmän jakelu tapahtuu eristämättömissä muoviputkissa ja lämmön jakelu esieristetyissä kaukolämpöteräsputkissa. Putket on asennettu suoraan maahan. Kylmäjohdon pituus on 4 km ja putken koko 450 mm. Kylmäntuotannon kapasiteetti on 2 x 4,5 MW ja vuotuinen energiamäärä on 14 GWh, jolloin huipun käyttöajaksi muodostuu 1 550 h.

## Suomi

Suomessa oli vuoden 2001 alussa neljä kaukokylmälaitokseksi luokiteltavaa kylmäjärjestelmää ja lisäksi yksi teolliseen prosessiin liitetty kylmälaitos. Kaksi laitoksista sijaitsee Helsingissä, yksi Lahdessa ja yksi Turussa sekä teollinen sovellutus Joensuussa.

Helsingin Energian ensimmäinen kaukokylmäsovellutus aloitti toimintansa 1998 Pitäjänmäellä ABB toimistotilojen jäähdytyksessä. Kylmäntuotanto perustuu absorptioperiaatteelle ja lämmönlähteenä on kaukolämpövesi (DEMLOCS 2000). Kolmen rakennuksen lämmitys- ja ilmastointijärjestelmä pohjautuu osittain ThermoNet-laitteistoon. Absorptiokoneet ovat yksivaiheisia vesi-LiBr-laitteita, ja niitä on kaksi kappaletta, joiden tehot ovat 300 ja 600 kW ja COP-arvo 0,72. Kylmän varastointi tapahtuu kolmessa (tilajärjestelyjen vuoksi) säiliössä, joiden kokonaistilavuus on 300 m<sup>3</sup>. Kun kylmäpiirin lämpötilat ovat 10/20 °C, saadaan kylmälaitoksesta varasto mukaan lukien 1,5 MW:n huipputeho kuuden tunnin ajan. Kiinteistön yhteenlaskettu kylmäntarve on 1,8 MW, jolloin säätötoimenpiteillä hoidetaan vähäinen kylmävajaus. Hukkalämpöenergian siirtäminen ulkoilmaan tapahtuu neljällä jäähdytyslaitteella, joissa käytetään kostutusvettä.

Täysimuotoinen kaukokylmäjärjestelmä kylmäverkkoineen aloitti toimintansa syksyllä 2000. Helsingin Energia otti tuolloin käyttöön Ruoholahdessa alkuvaiheessa kolmea liike- ja toimistorakennusta jäähdyttävän laitteiston. Järjestelmä muodostuu alkuvaiheessa kahdesta 3,5 MW:n absorptiokoneesta, jotka saavat lämpönsä kaukolämpöverkosta. Hukkalämpö siirretään meriveteen erillisten lämmönsiirtimien kautta. Kylmän varastointia varten on 1 000 m<sup>3</sup>:n säiliövarasto, josta saadaan 6 ja 18 °C:n lämpötilatasoilla 3 MW:n teho. Kylmälaitteisto sijaitsee voimalaitoksen yhteydessä, ja kylmänsiirtoputkiston pituus on noin kilometri. Siirto johdon koko on 600 mm ja se on normaalia kiinnivaahdotettua kaukolämpöjohtoa hieman ohuemmalla eristyskerroksella varustettu. Kohdassa 5.1 on järjestelmän tarkempi kuvaus.

Lahti Energia toimittaa kylmäenergiaa 1,2 km:n pituisen siirto johdon avulla voimalaitokselta Lahden Sibeliustalolle (Valta 2001). Kylmä tuotetaan 600 kW:n yksivaiheisella absorptiokoneistolla. Käyttöenergia saadaan paikalliselle tehtaalle johdettavan erillisen korkealämpötilaisen kaukolämmönsiirto johdon paluuviedestä. Lämmönsiirtimen kautta absorptiokoneelle tullessaan veden lämpötila on noin 150 °C. Absorptiokoneen jäähdy-

tysvesi otetaan normaalin kaukolämpöverkon paluujohdosta, jolloin tulolämpötila koneelle on 45–50 °C. Lämmennyt jäähdytysvesi palautetaan kaukolämmön paluuveteen. Kylmäpiirin lämpötilat ovat 8/18 °C ja kylmävaraajana on 200 m<sup>3</sup>:n kylmävesivaraaja. Menojohto on eristämätön muoviputki, ja paluujohtona on kaksi eristämätöntä muoviputkea. Paluuputkessa lämpötila alenee maan jäähdyttävän vaikutuksen ansiosta. Absorptiokone toimii sekä kylmäkoneena että lämpöpumppuna. Tarkempia toiminta-arvoja ei ensimmäisen kesän vajaakäytön vuoksi ole vielä saatavilla.

Turun Energia toimittaa kaukokylmää kahden siirtojohdon avulla. Kylmä tuotetaan sähkökäyttöisillä ruuvikompressoreilla, jotka muodostavat ns. konttilaitoksen. Toisen kylmäjärjestelmän kahdesta kontista toisessa on kolme kompressoria, joiden yhteisteho on 500 kW ja toisessa kaksi 500 kW:n kompressoria. Kylmätehon tarve on alkuvaiheessa 900 kW mutta kasvaa uusien toimitussopimusten myötä. Pienemmässä kaukokylmäjärjestelmässä on yksi kontti, joka sisältää kolme kompressoria, joiden yhteisteho on 500 kW. Liittymisteho alkuvaiheessa on 700 kW, ja lisää kulutusta on odotettavissa. Kummankin järjestelmän siirtojohdot ovat aloitusvaiheessa pituudeltaan pari sataa metriä ja lämpötilat 7/17 °C (meno/paluu). Kuluttajat ovat toimisto- ja toimisto- ja teollisuustyyppisiä.

Pohjois-Karjalan Kirjapaino Oy:n kirjapainoprosessissa muodostuu lämpöä, joka pitää poistaa itse prosessista ja sisäilmasta. Absorptiokoneen teho on 600 kW ja käytävä energia saadaan prosessista, jossa veden lämpötila absorptiokoneelle tullessa on 90 °C. Talvella, kun tilojen jäähdytys voidaan hoitaa ulkoilmalla, johdetaan muodostunut prosessilämpö kaukolämpöverkkoon.

## Tanska

Tanskassa on rakennettu ABB:n Pitäjänmäen sovellutuksen kanssa rinnakkaisesti EU-rahoitteinen kaukokylmän demonstraatiolaitos, joka perustuu höyrystysprosessiin ja toimii ejektorin avulla (DEMLOCS 2000). Kiinteistöissä voi olla ThermoNet-järjestelmä tai radiaattorilämmönsiirrin. Herningissä sijaitsevan laitoksen kylmäteho on 0,2 MW ja lämpö saadaan kaukolämpöverkostosta.

## Ranska

Ranskalla on Euroopan maista laajimmin kokemusta kaukokylmästä. Myös kaukolämpö on Ranskassa suhteellisen yleisesti. Ranskassa sähköntuotanto perustuu pääasiassa ydinvoimaan, mikä vaikuttaa osaltaan siihen, että kaukokylmä tuotetaan pääasiassa sähkökäyttöisillä kompressorikoneilla, mutta viime aikoina on myös absorptiokoneita tullut käyttöön. Vuonna 1997 oli Ranskassa tusinan verran kaukokylmälaitoksia. Näistä puo-



let oli laitoksia, joiden omistaja ja käyttäjä on sama yhteisö. Laitoksia on lentokentillä, teollisuudessa, kanaalitunnelissa jne.

Bordeaux'n lentokentällä on kaukokylmäjärjestelmä, joka muodostuu kolmesta ruuvi-kompressorikylmäkoneesta ja kahdesta absorptiokoneesta. Kokonaiskylmäteho on 4,5 MW ja verkon pituus 1,5 km. Lämpötila on menojohdossa 5 °C ja paluujohdossa 12 °C.

Pariisin ulkopuolella olevat lentokentät Orly ja Roissy hyödyntävät myös kaukokylmää. Edellisen teho oli aloitusvaiheessa 14 MW ja viimemainitun 21 MW. Verkostojen pituudet ovat vastaavasti 4 ja 16 km. Kylmä tuotetaan keskipakokompressoreilla. Nytemmin kylmäkapasiteettia on lisätty yhteensä 50 MW:iin asti.

Englannin kanaalin alittavassa tunnelissa on kaukojäähdytys ja kylmän tuotantolaitokset sijaitsevat tunneleiden päissä molemmissa maissa tehojen ollessa 23 ja 28 MW. Siirtoveden lämpötila on vain 3 °C.

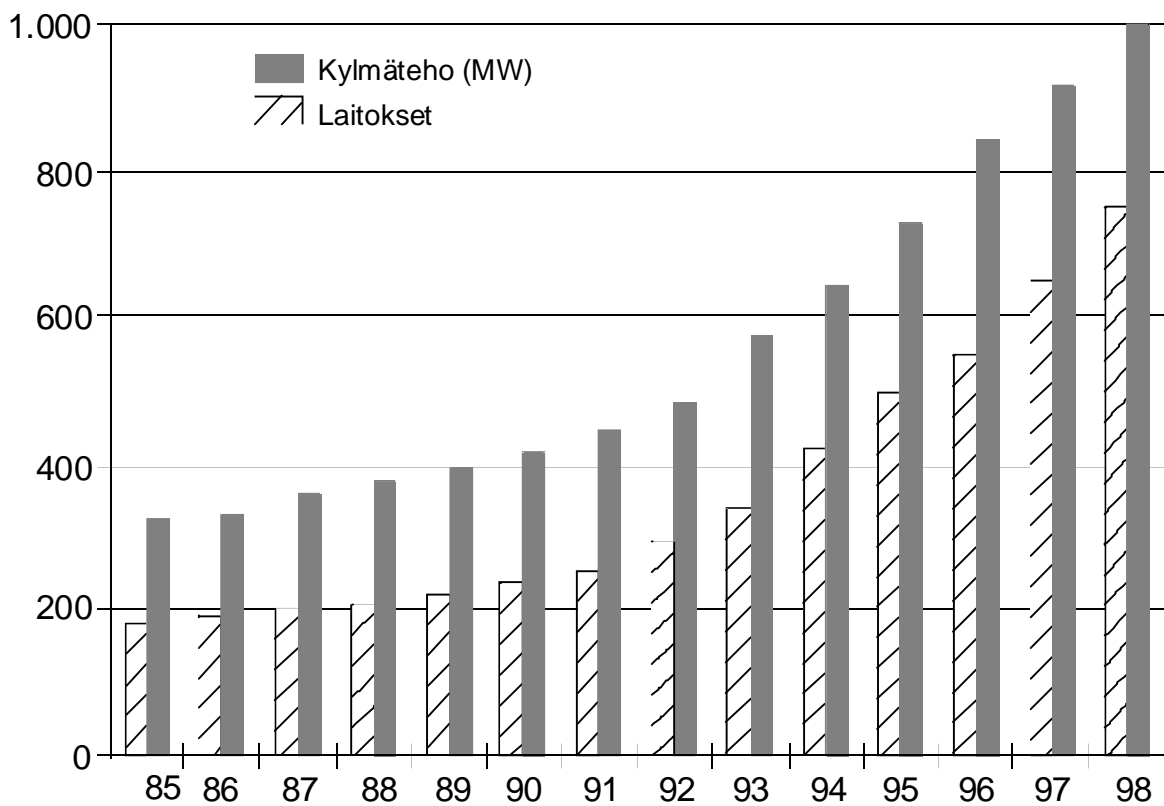
Lukuisten yritysten kiinteistöjä palvelevien kylmälaitosten lisäksi Ranskassa on kaupallisia kylmäjärjestelmiä. Useimmat ja suurimmat niistä sijaitsevat Pariisissa. Kaupungin länsipuolella sijaitseva La Defense on 85 000 henkilön työpaikan tarjoavan virasto- ja muiden kiinteistöjen muodostama taajama. Rakennetun kaukokylmän teho on 220 MW ja sen tuottamisesta vastaavat yritykset Climadef (132 MW) ja Suclim (88 MW). Yhteenlaskettuna kylmäverkko on Euroopan suurin. Climadefin omistajina on vesilaitos, valtiollinen kaasuyhtiö, valtiollinen kivihiihtiyhtiö, ELYO ja muita yrityksiä pienessä määrin.

Pariisin keskustassa kaukokylmää tuottava yritys on Climaspac. Sen omistajia ovat mm. Pariisin kaupunki, valtiollinen sähkölaitos EDF, ELYO ja kaupungin kaukolämpölaitos. Kaukokylmän tuotanto tapahtuu kolmella laitoksella kaupungin alueella. Forum des Halles'in kylmäteho on 40 MW, Bercyn 50 MW ja Galleries Lafayetten 36 MW. Kylmävarastojen koko on 12 000 m<sup>3</sup>. Asiakkaiden lukumäärä on noin 150 ja verkon pituus 31 km. Tehontarve vuonna 1996 oli 87 MW ja myyty energia 82 GWh. Samanaikaisuuskertoimeksi arvioitiin 70 %. Alueen kokonaiskylmäntarve on yhteensä 300 MW, ja siirtymistä kaukokylmän asiakkaiksi tapahtuu jatkuvasti.

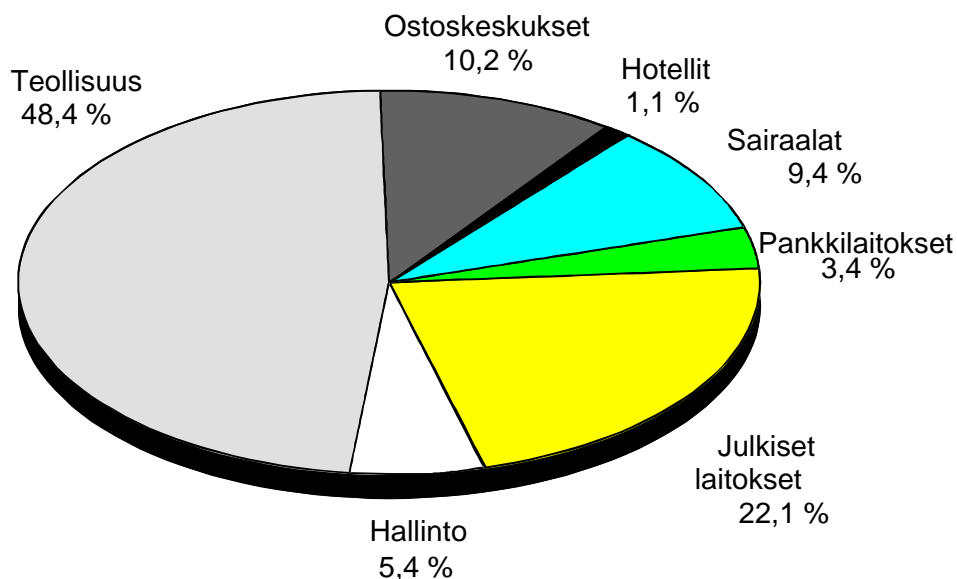
Kaupallisia kylmäyhtiöitä on myös Lyonissa ja Montpellierissä.

## Saksa

Saksassa kaukokylmän käyttö on lisääntynyt voimakkaasti viime vuosina (AGFW 2000). Erityisesti absorptiolaitteiden osuus on suuri johtuen Saksan korkeasta sähkön hintatasosta. Absorptiokoneet ovat joko maakaasukäyttöisiä tai lämpöenergiakäyttöisiä. Kuva 36 esittää absorptiokylmälaitosten lukumäärän ja kokonaistehon kasvua Saksassa viime vuosina. Sekä lukumäärä että teho ovat kaksinkertaistuneet muutamassa vuodessa. Vuoden 1998 lopussa kapasiteettia oli yhteensä noin 1 000 MW ja laitoksia yhteensä 750. Absorptiokylmälaitteiden hankkijoista suurin osa muodostuu teollisuudesta (48 %). Seuraavina ovat julkiset laitokset (22 %), kauppakeskukset (10 %) ja sairaalat (9 %) kuvan 37 mukaisesti.



Kuva 36. Absorptiolaitosten kokonaistehon ja laitosten lukumäärän kehittyminen Saksassa.



Kuva 37. Kaukokylmän kuluttajien jakautuminen kuluttajaryhmiin Saksassa.

Saksassa arvioidaan varustettavan täysilmastointijärjestelmällä noin 800–1 000 rakennusta vuosittain, mikä vastaa noin 360 MW:n kylmätehon tarvetta. Rakennuskohtaiseksi tehontarpeeksi arvioidaan 65–100 W/m<sup>2</sup> siten, että hotelleissa ja liikerakennuksissa on ylempi arvo ja virastorakennuksissa alempi arvo. Keskimääräinen kylmäenergian tarve Saksassa on 50 kWh/m<sup>2</sup>,a. Jos vuotuinen huipputehon käyttöaika on 600 h ja rakennusvolyymi 256 milj. m<sup>2</sup>, saadaan kylmätehon kokonaispotentiaaliksi 25 GW. Vuotuisesta kylmätehon kasvumäärästä arvioidaan voimalaitosten lämmöllä toimivilla absorptiolaitteilla eli kaukokylmällä voitavan kattaa 130 MW. Suurimmat kaukokylmän potentiaalit ovat Berliinissä, Münchenissä, Hannoverissa ja Essenissä. Vertailun vuoksi todettakoon vielä, että kaukolämmön liitântäteho on tällä hetkellä noin 55 GW, mikä on suurin arvo Euroopan maista.

Kaukokylmän tämänhetkisestä tilanteesta voidaan todeta seuraavaa: Hampurissa aloitettiin kaukokylmän jakelu jo vuonna 1968. Nykyisellään kylmätehon tarve on 50 MW. Suurin osa kylmästä tuotetaan kompressorilaitteilla. Berliinissä kaukokylmän määrä on 11 MW (vuonna 1997), mutta sen oletetaan lisääntyvän voimakkaasti lähiaikoina. Myös noin kymmenellä muulla paikkakunnalla on kaukokylmätoimintaa, mm. Dresdenissä, Düsseldorfissa, Mannheimissa ja Hannoverissa. Jos arvioidaan kaukokylmäpotentiaalia kaukolämmitysverkoston sijainnin mukaan, on esimerkiksi Münchenissä kylmäpotentiaalia yli 200 MW, Berliinissä samoin yli 200 MW, Hannoverissa 50 MW, Essenissä 50 MW jne.

## Italia

Italiassa on ainakin neljä kaukokylmälaitosta. Suurin on Vicenzassa ja sen energialähteenä on geoterminen lämpö. Lämpöpumpun avulla tuotetaan kaukolämpöä ja -kylmää sekä lämmintä käyttövedettä. Siirtoverkko on 7,4 km pitkä ja käsittää kolme putkea. Talvella siirretään kaukolämpöä 95 °C-asteisella vedellä ja kesällä kylmää 6 °C-asteisella vedellä. Kolmannessa putkessa siirretään lämmin käyttövesi kuluttajille. Järjestelmä otettiin käyttöön vuonna 1992, ja suuria asiakkaita on toista sataa ja suurin niistä on sairaala.

Bolognan yliopiston alueella absorptiojärjestelmä tuottaa kylmää alueen tarpeisiin tehon ollessa noin 2 MW.

## Portugali

Portugalissa otettiin maailmannäyttelyn EXPO'98 rakentamisen yhteydessä käyttöön kaukolämpö- ja -kaukokylmäjärjestelmä, joka palvelee messualueen rakennuksia (Costa & Ferreira 1999). Alue sijaitsee Lissabonin koillisosassa ja on pinta-alaltaan 330 ha. Alue rakennettiin uudisrakentamisena lyhyen ajan kuluessa. Alueen lämmönkulutuksen huipputeho on 11 MW ja kylmäteho 22 MW. Lämpövaraston avulla kylmätehon kapasiteetti voidaan nostaa 40 MW:iin. Alueelle rakennettiin 4-putkiverkosto, putkipari kaukolämmölle ja kaukokylmälle. Energiantuotantoa varten rakennettiin maakaasua käyttävä teollisuuskaasuturbiini, jonka sähköteho on 4,7 MW. Tämä ns. trigeneration power plant tuottaa sähkön ohella lämpöä kaukolämpöjärjestelmään ja absorptiolaitokselle kylmän tuottamista varten. Vara- ja lisälämmöntuotantoa varten on käytettävissä maakaasulla toimiva kattilalaitos. Lämpö otetaan 10 baarin höyrynä kaasuturbiinin lämmöntalteenottokattilasta ja lisäkattilasta.

Kylmän tuotantoa varten on kaksi 4,8 MW:n absorptiokylmälaitosta ja kaksi 6,5 MW:n kompressorikylmäkonetta. Absorptiolaitokset ovat 2-vaiheisia, höyryllä toimivia laitteita. Kylmäjärjestelmän hukkalämpö siirretään neljän lämmönsiirtimen avulla jokiveiteen. Olennaisena osana järjestelmässä on 15 000 m<sup>3</sup>:n kylmävesivaraaja. Kaukolämpöpuolella on pienempi tuotannon tasausvaraaja. Kaukokylmän lämpötilat ovat menopuolella 4 °C ja paluupuolella 12 °C. Kylmänsiirtoputkisto on suunniteltu 60 MW:n siirto-  
teholle. Menoputket on eristetty lukuun ottamatta pienempiä talohaaroja. Paluujohto on eristämätöntä putkea. Kytkeytyminen talojärjestelmään tapahtuu erillisen lämmönsiirtimen kautta.

Lämpöä siirtävä kaukolämpövesi lämmitetään lämmönsiirtimessä 100 °C:seen lauhduttamalla höyryä. Paluulämpötila on 65 °C, ja lämpö siirretään kuluttajille talokohtaisilla lämmönsiirtimillä. Kaukolämpöputkisto on lämpöeristettyä putkea, ja se on mitoitettu

44 MW:n lämpöteholle. Uudisrakentamisen ja rakennusten edullisen sijoittumisen (pääasiassa pääkadun molemmin puolin) ansiosta putkistorakentaminen oli helppoa ja runkojohdot sijoitettiin yhteiseen putkikanavaan.

#### 4.2.2 Pohjois-Amerikka

##### Yhdysvallat

Yhdysvalloissa on Japanin jälkeen eniten kaupallisella pohjalla toimivia kaukokylmälaitoksia. Yritykset ovat usein paikallisen energiayhtiön ja suuremman kaukokylmäyhtiön yhteisyrityksiä. Usein paikallinen sähkö- tai kaasulaitos on mukana yhteisyrityksessä.

Varhaisimmat kylmälaitokset perustettiin 1960-luvulla. Hartfordissa Connecticutin osavaltiossa aloitettiin kaukolämmön ja kaukokylmän toimitukset vuonna 1961. Poikkeuksellisesti täällä paikallinen energiayhtiö The Hartford Steam Companyn tytäryhtiö (The Energy Network) tuottaa itse alueelleen kaukokylmän ja lisäksi ostaa itsenäisiltä kylmäntuottajilta lisäenergiaa. Alueella on pari voimalaitosta, jotka tuottavat laitosten hukkalämmöllä kaukokylmää ja myyvät sen mainitulle kaukokylmäyhtiölle. Kaukokylmän kapasiteetti on alueella 112 MW ja suurin mitattu teho 89 MW. Kahden erillisen kylmäverkon kokonaispituus on 24 km.

Yhdysvalloissa tyypillinen kaukokylmäyhtiö on esim. Trigen Energy Corporation. Yritys toimii 13 paikkakunnalla (vuonna 1997), sillä on 23 kylmälaitosta ja yhteensä yli 1 500 asiakasta. Yhtiö on pörssi-yhtiö ja sen pääomistaja on ranskalaisen Suez-Lyonnaise des Eauxin tytäryhtiö ELYO. Trigen omistaa Yhdysvalloissa viisi kolmituotantolaitosta (sähkö, kaukolämpö ja kaukokylmä): Oklahoman Tulsassa (1/94/71 MW), Oklahoma Cityssä (1/102/51 MW) ja kolme Chicagossa. Kaksituote- tai erillistuotantolaitoksia on lisäksi kahdeksalla paikkakunnalla. Trigenin jakeluverkon pituus on yhteensä noin 220 km. Suurimman osan yhtiö on ostanut valmiina laajentuessaan tietyllä alueella. Yhteistuotannon avulla tuotannon kokonaishyötysuhde on 50–93 %, ja tuotantolaitokset ovat tyypillisesti kaasuturbiineja tai polttomoottorivoimalaitoksia. Joissain tapauksissa yhtiö tuottaa kaukokylmän vuokratuilla kylmälaitoksilla. Trigenin yhteenlaskettu teho on yli 6 000 MW, ja 2 000 MW on suunnittelu tai rakentamisvaiheessa. Esimerkkinä voidaan mainita vielä Marylandissa Baltimoressa oleva Trigenin rakentama kolmituotelaitos, jonka kylmäteho on 35 MW ja kaukolämpöteho 26 MW. Alueelle rakennettiin samoihin aikoihin (1998) kaksi hotellia, virastotalo ja huvittelukeskus (elokuva, ravintola). Sähkö pyritään alueen lain suomissa rajoissa siirtämään suoraan mainittujen kiinteistöjen käyttöön. Trigen-Nassau toimii New Yorkissa Long Islandin länsiosassa. Siellä sähkön kokonaisteho on 57 MW, lämmön 267 MW ja kylmän 53 MW.

Northwind-niminen yhtiö toimii Chicagossa, Bostonissa, Houstonissa ja Kanadan puolella Windsorissa. Suurimmillaan Northwindin omistama kaukolämpöjärjestelmä on Bostonissa, teholtaan 500 MW. Täällä osa asiakkaista tuottaa itse kaukolämmöstä kaukokylmää.

Kaukokylmää tuotetaan myös Kaliforniassa, jossa tunnettu kaukokylmäyhtiö on Pacific Energy. Viidessä kaupungissa on kaukokylmäverkko ja kahdessa lisäksi kaukolämpöverkko. Mid-American Energy -niminen yhtiö toimii Indianapolisissa ja Clevelandissa. Niissä kaukokylmän kapasiteetti on vastaavasti 96 MW ja 35 MW. Kylmänsiirtoputket ovat halkaisijaltaan 1,2 m:n kokoiset ja ne ovat eristämättömät. NRGEnergy-niminen yhtiö toimittaa kaukokylmää Pittsburgissa, San Franciscossa ja Minneapolisissa. Viime-mainitussa kaupungissa kylmätehon suuruus on 111 MW.

St. Paulissa kaukolämmön ja kaukokylmän tuottamisesta ja jakelusta vastaa paikallinen energiayhtiö. Kylmätehon määrä on 46 MW ja kaukolämmön 224 MW. Vuotuinen energiamäärä on vastaavasti 31 GWh ja 286 GWh.

Lisäksi Yhdysvalloissa on tusinan verran pienempiä tai suurempia kaukokylmän toimittajia eri puolilla maata.

### 4.2.3 Aasia

Aasiassa kaukokylmäjärjestelmiä on erityisesti Japanissa. Malesiassa kaukokylmän rakentaminen on nouseva trendi. Myös Singaporessa on saatu alulle kaukokylmän tuottaminen. Etelä-Koreassa Soulissa on rakennettu kaukolämpöverkko, jonka lämpöä käytetään kesäaikana kylmän tuottamiseen.

#### Japani

Japanissa on kiinteistöjen lämmitys- ja jäähdytysmuodon valintaa säädelty viranomaisen toimesta. Alueille on määrätty tietty energianhuoltotapa, ja niin kaukolämmityksellä ja kaukokylmällä on merkittävä asema Japanissa. Energiahuollon toteuttamiseksi on yrityksille myönnetty toimilupa, joka myös velvoittaa toteuttamaan alueen energiahuollon. Vuonna 1995 Japanissa oli 122 toimilupaa kaukolämmölle ja kaukokylmälle. Suurin osa näistä toimiluvista sijaitsee suurkaupungeissa Tokiossa ja Osakassa sekä pienemmissä kaupungeissa Tokion ulkopuolella. Esimerkiksi Kanton maakunnassa oli 1995 yhteensä 72 toimilupaa, joista Tokiossa oli 54 ja Chibassa 6 ja muut maakunnan taajamissa. Hokkaidon maakunnassa Sapporossa oli 3 toimilupaa ja Tomakomaissa 2, yhteensä maakunnassa oli tuolloin 11 toimilupaa. Toimilupa-alueet ovat alueeltaan melko pieniä, mutta rakennuspinta-alaltaan suhteellisesti paljon suurempia tiiviistä raken-

tamisesta ja pilvenpiirtäjistä johtuen. Toimilupien määrä on kaksinkertaistunut noin kuudessa vuodessa, joten kaukolämmön ja kaukokylmän kasvu on voimakasta.

### Suuria kaukoenergiayrityksiä Japanissa

Fukuoka Energy Service Companylla on Fukuokassa suurehko kaukokylmä- ja kaukolämpöverkosto. Meren lahdesta täytemaalla vallattu 138 hehtaarin alue käsittää hotelleja, virastotaloja, sairaalan, kauppoja ja pankkeja yhteensä 850 000 m<sup>2</sup>. Alueella on kaukoenergiajärjestelmä ja kylmätehon suuruus on 77 MW. Kylmätuotanto tapahtuu lämpöpumpuilla, turbokylmäkoneilla ja absorptiokoneilla. Kylmän varastointi tapahtuu jäävaraajissa ja kylmävesivaraajissa. Energialähteinä ovat merivesi lämpöpumpun kautta, kaasuturbiinin jätelämpö ja kaasu.

Minato Mirai 21 Heating and Cooling Co (MM21 DHC) toimii Yokohamassa Tokion ulkopuolella. MM21 on alkuaan projekti, jossa rakennettiin Yokohaman keskusta vuosina 1983–2000. Asukkaita alueella on 200 000, alueella sijaitsee mm. 70-kerroksinen Yokohaman maamerkki Minaton torni. Kyläteho on alueella 267 MW. Kaukokylmää varten on rakennettu 106 MW:n jäävaraaja, jossa käytetään muovipalloja eristämään vesi pienemmiksi tilavuuksiksi ja vastaavasti isoksi pinta-alaksi. Pallojen ulkopuolella vapaassa tilassa käytetään nesteenä glykolia.

Osaka Gasilla on toistakymmentä kaukoenergiajärjestelmää. Suurin on Osakan lentokenttäalueella, jossa kaukokylmälaitoksen teho on 90 MW ja kaasuturbiinilaitoksen sähköteho on 40 MW. Näillä laitoksilla hoidetaan 750 000 m<sup>2</sup>:n kiinteistöjen kylmän ja sähkön tarve.

Tokyo Electric Power Company (TEPCO) on maailman suurimpia yksityisiä sähkölaitoksia ja se omistaa ja käyttää lisäksi lukuisia kaukoenergialaitoksia lähinnä Tokion alueella. Kaukoenergialaitosten tavoitteena on leikata sähkön huippukulutusta kesäaikana yhtiön toimialueella. Kaukoenergialaitokset käyttävät energialähteenä usein erilaisia jätelämpöjä lämpöpumpun välityksellä.

Tokyo Gas omistaa toistakymmentä kaukokylmäjärjestelmää ja on jollain tavoin osallisena noin 40 muussa kaukokylmäjärjestelmässä. Parhaiten tunnettu on Shinjokun järjestelmä, josta on erillinen selvitys (ks kohta 5.2). Chibassa, 800 000 asukkaan kaupungissa Tokion itäpuolella uudessa Makuharin keskuksessa Tokyo Gasilla on toimilupa yli 600 000 rakennus-m<sup>2</sup>:n energiahuoltoon käsittäen hotelleja, kauppakeskuksen ja muita rakennuksia. Energiahuolto perustuu kaasun käyttöön, kaukolämpöverkosto on toteutettu höyrykaukolämpönä ja kiinteistöjen jäähdytys perustuu sekä turbokompressoreihin että absorptiokoneisiin. Höyrykattiloiden kokonaiskapasiteetti on 113 MW. Verkosto on 2 kilometriä pitkä ns. neliputkijärjestelmä (höyryä tai vettä). Shibauran alueella on kau-

koenergia toteutettu 85 000 m<sup>2</sup>:n rakennusmäärässä. Kaukokylmän teho on 21 MW. Akasakan alueella kaukokylmää ja kaukolämpöä toimitetaan viiteen rakennukseen kapasiteetin ollessa 12 MW. Energialähteenä täällä, kuten useimmissa Tokyo Gasin laitoksissa, on kaasua käyttävä höyrykattila ja absorptiokoneisto kylmän tuottamiseen. Taulukossa 8 esitetään yrityksen omat kaukokylmäjärjestelmät.

*Taulukko 8. Tokyo Gas -energiayrityksen omistamat kaukokylmälaitokset.*

Alue	Teho
Shinjuku	208
New Makuhara Metropolitan District	113
Nishi-Shinjuku 1-Chome District	45
Akashi-Cho District	26
Shibaura District	21
Akasaka District	12
Yaesu/Nihonbasha District	11
Kioi-Cho District	10
Higashi-Ginza District	7

#### 4.2.4 Muut maat

##### Malesia

Kaukokylmän potentiaali on Malesiassa suuri, mutta toistaiseksi on toiminnassa vain pari kaukokylmäjärjestelmää, joiden yhteisteho on 44 MW. Toteutusvaiheessa on lentokenttäalueen kaukokylmäverkosto, jonka teho on alkuvaiheessa 79 MW. Kuala Lumpurin keskusta-alueella toimivan kaukokylmälaitoksen on suunniteltu laajenevan vähintään aina 210 MW:iin asti, ja Bangissa toimivan verkoston kapasiteetti on 13 MW. Lentokenttäalueella kapasiteetin lasketaan olevan noin 100 MW.

##### Korea

Etelä-Koreassa Soulissa on käytössä kaukolämpöverkosto, joka rakennettiin osaltaan olympialaisia varten. Paikallisella kaukolämpöyhtiöllä on monopoliasema toimialallaan. Rakennettu kaukokylmä perustuu usein absorptiotekniikkaan, ja installoitu kapasiteetti on noin 70 MW Soulissa ja lähiympäristössä. Ensimmäinen absorptiolaitteisto otettiin käyttöön vuonna 1992. Useita kaukokylmäkohteita on suunnitteluvaiheessa ja jos ne toteutuvat, Souliin tulee maailman suurimpiin kuuluva kaukokylmäjärjestelmä.



## Saudi-Arabia

Saudi-Arabiassa ilmoitetaan olevan useita kaukokylmäjärjestelmiä, joista kahden suurimman tehot ovat 154 ja 211 MW.

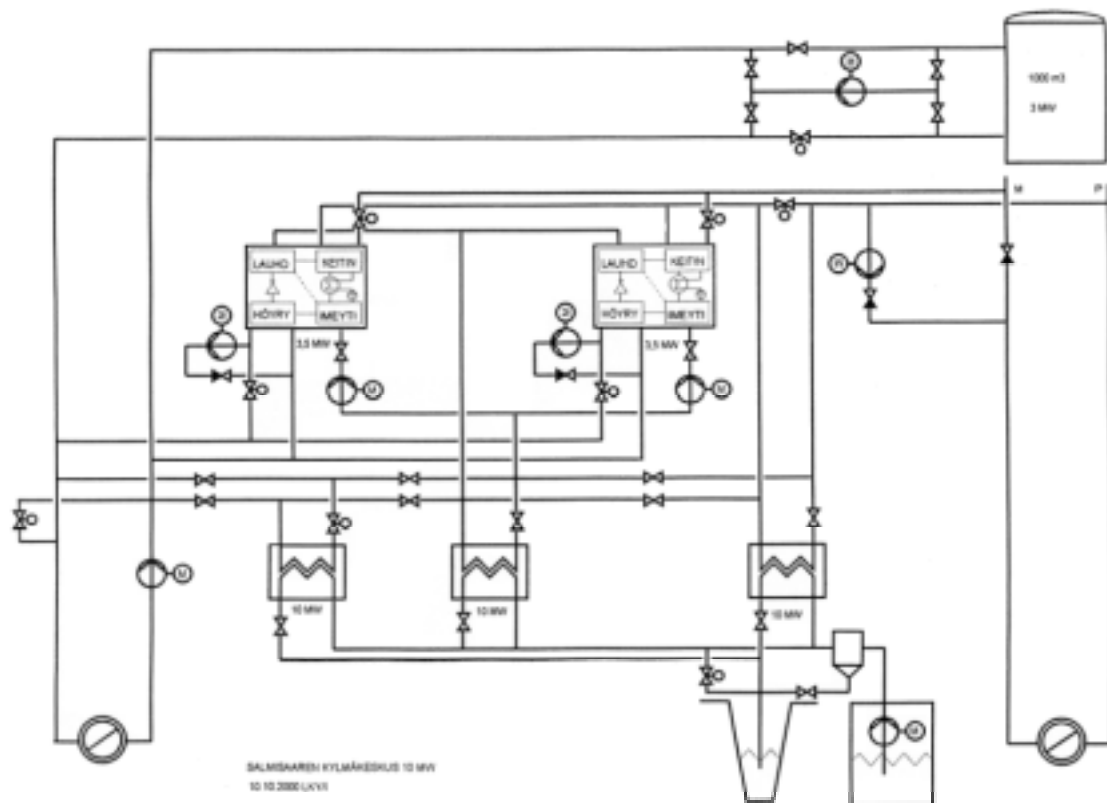
## 5. Yhteistuotantolaitosten toteutus esimerkkejä

### 5.1 Helsingin Ruoholahti

Helsinki Energia aloitti Ruoholahdessa kaukokylmän toimittamisen syksyllä 2000. Aloituvaiheessa kylmä tuotettiin suoraan merivedestä ja varalaitoksina toimivilta kompressoreilta, ja kevään 2001 aikana järjestelmä varustetaan absorptiokylmälaitteilla. Alkuvaiheessa kulutus muodostuu Ruoholahdessa olevista kolmen liike- ja toimistorakennuksen jäähdytysentarupeesta. Siirto johdon koko on 600 mm, ja se on normaalia kiinnivaahdotettua kaukolämpöjohtoa hieman ohuemmalla eristyskerroksella varustettu. Lähitulevaisuudessa alueen kaukokylmän tarpeeksi arvioidaan 35 MW ja johtopituudeksi noin kolme kilometriä.

Järjestelmä muodostuu alkuvaiheessa kahdesta 3,5 MW:n absorptiokoneesta, jotka sijoitetaan Salmisaaren voimalaitoksen yhteyteen ja jotka saavat lämpönsä kaukolämpöverkosta. Hukkalämpö siirretään meriveteen erillisten lämmönsiirtimien kautta. Samoja merivesilämmönsiirtimiä käytetään talviaikana kylmän tuottamiseen, kun meriveden lämpötila on alle 6 °C. Myös sekakäyttö on mahdollista syksyllä ja keväällä meriveden vähitellen kylmetessä tai vastaavasti lämmitessä. Kylmän varastointia varten on 1 000 m<sup>3</sup>:n säiliövarasto, josta saadaan 6 ja 18 °C:n lämpötilatasoilla 3 MW:n teho. Kuvassa 38 esitetään kylmäjärjestelmän prosessikaavio ja taulukossa 9 absorptiokoneen mitoitus tilanteen tärkeimmät toiminta-arvot.

Absorptiokoneet ovat yksivaiheisia ja niiden COP on mitoitusolosuhteissa 0,825. Tälöin kaukolämmön lämpötila on 85 °C ja kylmän lämpötilat ovat menopuolella 8 °C ja paluupuolella 16 °C. Jäähdytyspiirin lämpötilat ovat mitoitus tilanteessa 18 ja 32 °C.



Kuva 38. Helsingin Ruoholahden kaukokylmälaitos.

Taulukko 9. Helsingin Ruoholahden kaukokylmän absorptiokoneiston toiminta-arvoja mitoitustilanteessa.

Toiminto		Yks.	Arvo
Kylmäenergia			
	Kylmäteho	kW	3 500
	Veden menolämpötila	°C	8
	Veden paluulämpötila	°C	8
Jäähdytyspiiri			
	Lämpöteho	kW	7 742
	Menolämpötila	°C	32
	Paluulämpötila	°C	18
	Virtaus	kg/s	111
Lämmön tuonti			
	Lämmön tarve	kW	4 242
	Veden tulolämpötila	°C	85
	Veden paluulämpötila	°C	66
	Virtaus	kg/s	61
COP			
	COP, kun kylmävesi $\geq 6$ °C		0,825

## 5.2 Shinjuku Japanissa

Tokiossa Shinjukun alueella Tokyo Gasin omistama kaukolämpö- ja kaukokylmäkeskus on vuodesta 1971 toimittanut kiinteistöihin vuosittain 360 GWh energiaa kaukokylmätehon noustessa 144 MW:iin.

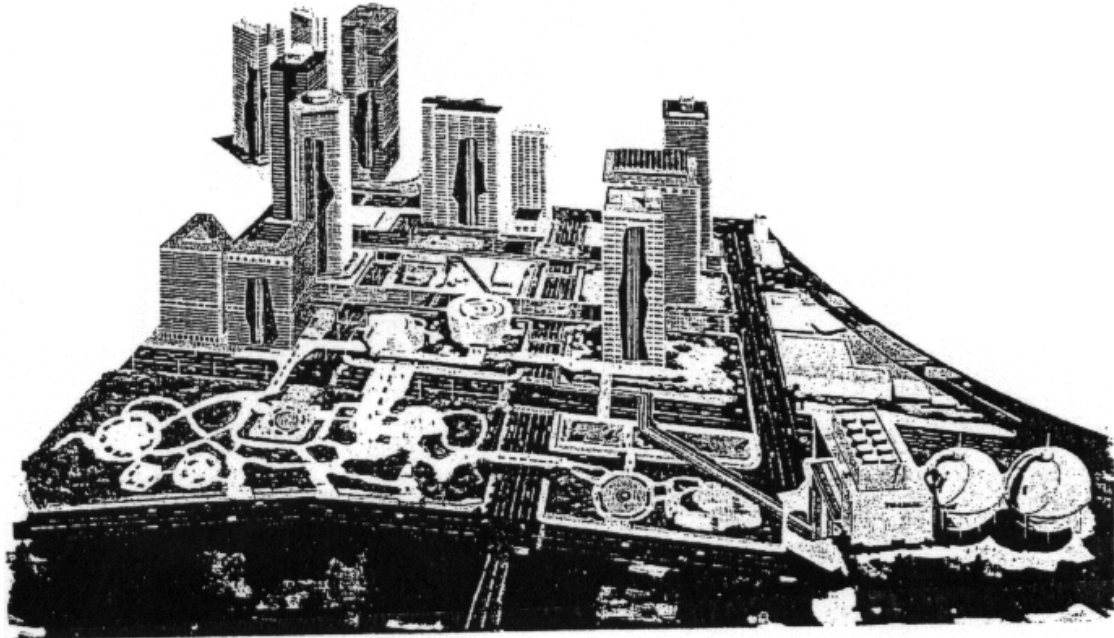
1990-luvun alussa Tokion hallinnollinen keskus siirrettiin Shinjukun alueelle ja samassa yhteydessä uusittiin alueen energiantuottojärjestelmää. Suurimmaksi tehoksi, mikä käytännössä tarkoittaa kylmätehoa, arvioitiin 193 MW. Kuvassa 39 on alueen yleiskuva, ja järjestelmän tekniset arvot selviävät taulukosta 10 (Tomimori et al. 1990, Kazumichi & Bannai 1990). Sen mukaisesti vuotuinen jäähdetyksen tarve on 110 kWh/m<sup>2</sup> ja jäähdystystehohuippu 84 W/m<sup>2</sup>. Lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmityksen energiatarve on 92 kWh/m<sup>2</sup> ja teho 70 W/m<sup>2</sup>. Kulutusluvut perustuivat olemassa olevan rakennuskannan mittauksiin ja uuden rakennuskannan energia-arvojen arviointiin.

*Taulukko 10. Japanilaisen kaukojäähdytysjärjestelmän toiminta-arvoja.*

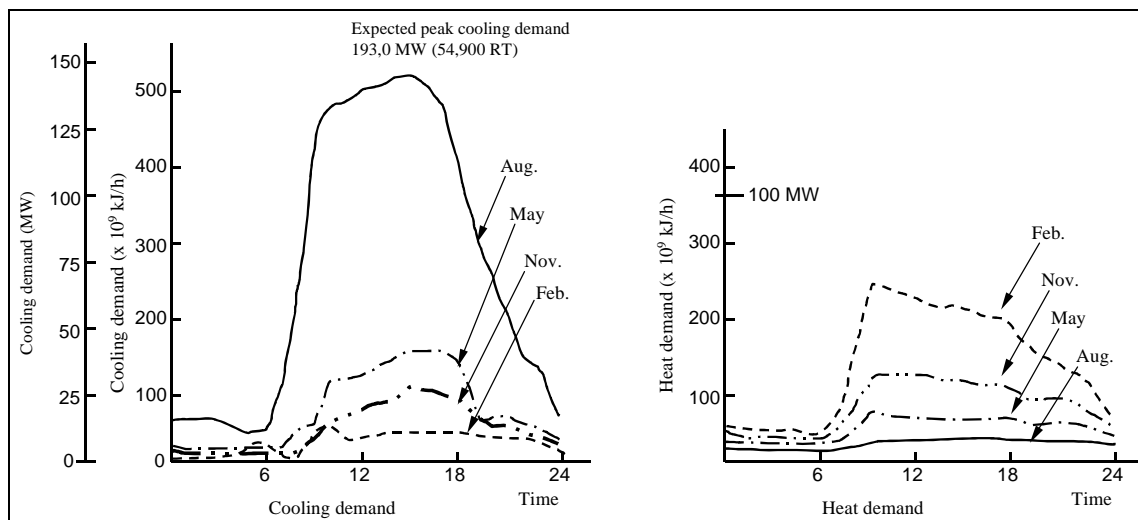
Toimintasuure		Yks.	Arvo
Alue			
	Alueen koko	ha	33
	Lattiapinta-ala	ha	229
Vuotuinen energian kulutus			
	Jäähdytys	TJ/GWh	909/252
	Jäähdytys/pinta-ala	kWh/m <sup>2</sup>	110
	Lämmitys ja LKV	TJ/GWh	766/212
Huipputehot			
	Jäähdytys	MW	193
	Jäähdytys/pinta-ala	kW/m <sup>2</sup>	84
	Lämmitys ja LKV	MW	160
Tuotantokapasiteetti			
	Jäähdytys	MW	207

Kuvassa 40 esitetään jäähdytyksen ja lämmityksen vuorokausikäyrät eri kuukausille. Elokuu on jäähdytyksen huippukuukausi ja helmikuu on lämmityksen huippukuukausi. Jäähdytystä ja lämmitystä tarvitaan jonkin verran myös niiden minimikulutuskuukausien aikana. Jäähdytyksen vuorokausivaihtelu on erittäin suuri, ja niinpä jäähdytyskuorman varsinaisen pohjaosan teho on vain 3,5–17,6 MW kuukaudesta riippuen. Keskiuormana voidaan pitää edellisen ja 17,6–56 MW:n välistä aluetta, ja varsinainen

huippukuorma on vastaavasti 56 MW:n ja 193 MW:n välinen tehoalue. Jäähdytyksen huipun käyttöaika on 1 300 tuntia, kuten suunnilleen myös lämmityksen.

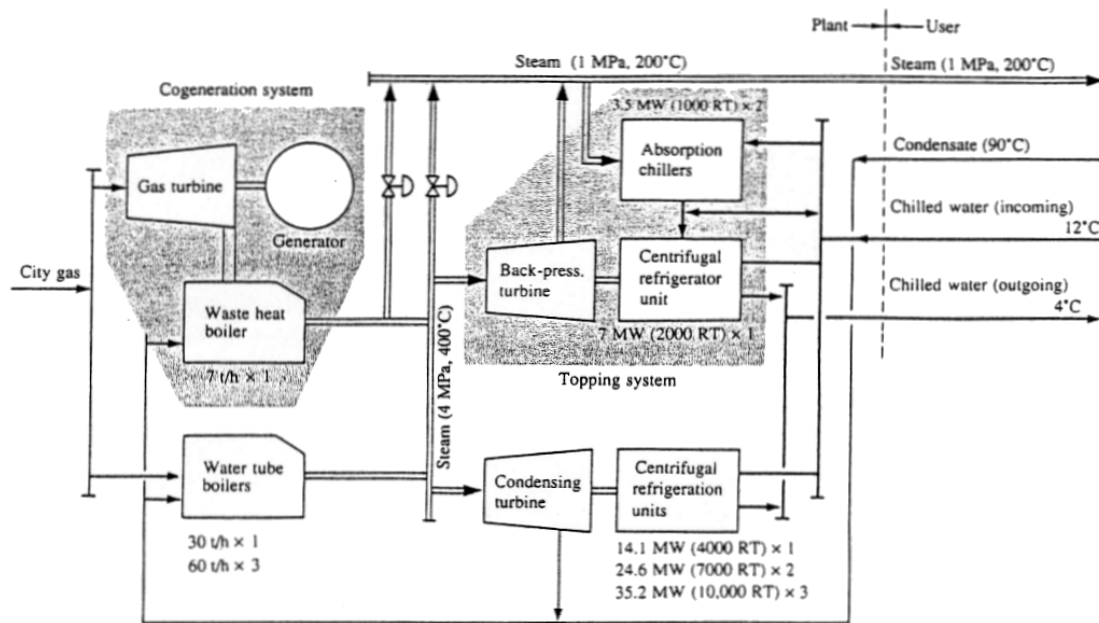


Kuva 39. Japanilainen kaukokylmäjärjestelmä.



Kuva 40. Jäähdytyksen ja lämmityksen kulutuskäyriä Japanissa.

Energiantuotantolaitteiston valinnassa kiinnitettiin huomiota energiatehokkuuteen, tilantarpeeseen ja säädettävyyteen. Lähtökohtana oli kaasun käyttö energialähteenä. Kuvassa 41 esitetään kaukolämmön ja kaukokylmän tuotantolaitteisto. Laitteisto muodostuu sähkön ja lämmön yhteistuotanto-osasta, jossa kaasuturbiinilla tuotetaan sähköä ja jätelämmöllä höyryä, erillisestä höyrykattilasta sekä kylmätehon huipputeholaitoksista. Kaukolämpö siirretään kuluttajille 1 MPa:n paineisena höyrynä, jonka lämpötila on noin 200 °C. Lauhteen paluulämpötila on 90 °C. Kaukokylmä siirretään kuluttajille 4-asteisena vetenä ja paluulämpötila on 12 °C. Kaukokylmän perus- ja keskikuorma tuotetaan turbiinikäyttöisillä keskipakokompressoreilla, joka käyttää keskipaineista höyryä (4 MPa, 400 °C). Kylmän huipputeho saadaan kahdesta 3,5 MW:n absorptiokoneesta, jotka toimivat 1 MPa:n höyryllä, sekä vastapaineturbiinin käyttämästä keskipakokompressorista. Absorptiokoneet ovat kaksivaiheisia ja niiden säätöalue on 100–10 %, myös huippukompressorit ovat 2-vaiheisia kompressoreita, joiden teho-alue on niin ikään 100–10 %.



Kuva 41. Yhteistuotannon toteutusperiaate Japanilaisessa esimerkissä.

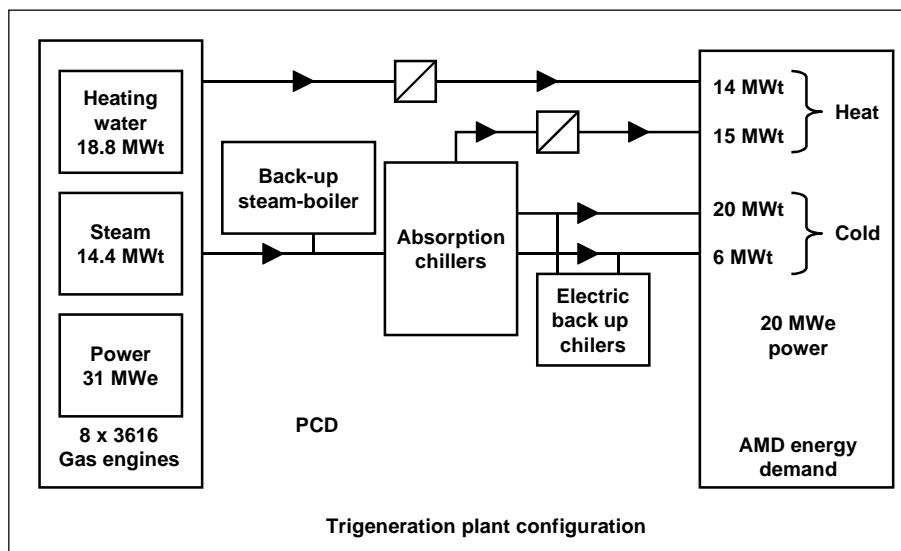
### 5.3 Dresden microchip plant

Saksalaisessa artikkelissa (Smith 2000) esitellään trigeneration-projekti, jonka tavoitteena on varmistaa mikrosirutehtaan sähkön, lämmön ja kylmän luotettava saanti. Perusteena erilliselle 3-tuottolaitokselle oli se, että vain itsenäinen energiakeskus voi taata tarkat sähkölle, lämmölle, jäähdytykselle ja ympäristölle asetettavat vaatimukset.

Primäärisenä energialähteenä on Zeppelin Caterpillarin toimittana polttomoottorivoimalaitos, jossa on kahdeksan 16-sylinteristä lean burn -maakaasumoottoria kunkin tehon ollessa 3,8 MW. Moottorit ovat kipinäsytytteisiä moottoreita. Pakokaasujen poistolämpötila on 460 °C ja jätelämmön hyödyntämisen kautta laitoksen kokonaishyötysuhteeksi saadaan 85,3 %. Kuusi konetta riittää peittämään tehtaan sähköntarpeen, mutta useampia koneita on koko ajan käynnissä sähköhäiriöiden välttämiseksi. Energiakeskuksessa sijaitsevat myös muut energiantuottamiseen liittyvät laitteet, joita ovat neljä double effect ja yksi single effect-absorptiokonetta sekä kompressorikone (taulukko 11). Kuvassa 42 esitetään 3-tuottolaitoksen tehovirratt. Lämpöä tarvitaan 29 MW, kylmää 26 MW ja sähköä 20 MW.

Taulukko 11. Mikrosirutehtaan energiantuotantoarvot

Komponentti	lkm	yksikkökoko
kaasupolttimoottorit	8	3,9 MW
höyrygeneraattorit	8	2,3 MW
lämmönvaihtimet	8	2,0 MW
varakattilat	2	7,0 MW
double effect -absorptionkylmäkoneet	4	4,85 MW (5 °C) 5,8 MW (11 °C)
single effect -absorptiokylmäkone	1	3,2 MW (5 °C)
turbokylmäkoneet	2	4,88 MW (5 °C) 5,8 MW (11 °C)



Kuva 42. Mikrosirutehtaan energian yhteistuotanto.

## 5.4 Köln/Bonn-lentokenttä

Saksalainen kaukolämpöyhtiö vastaa Köln/Bonn-lentokentän lämpö- ja kylmäenergiahuollosta. Lentokentän laajentuessa on energiantuotantolaitteet suunniteltu uudelleen ja päädytty alla esitettävään ratkaisuun, kun luotettavuus ja turvallisuus ovat olleet tärkeitä suunnittelukriteereitä ympäristöystävällisyyden ja taloudellisuuden vaatimusten ohella. (Schwenger et al. 2000)

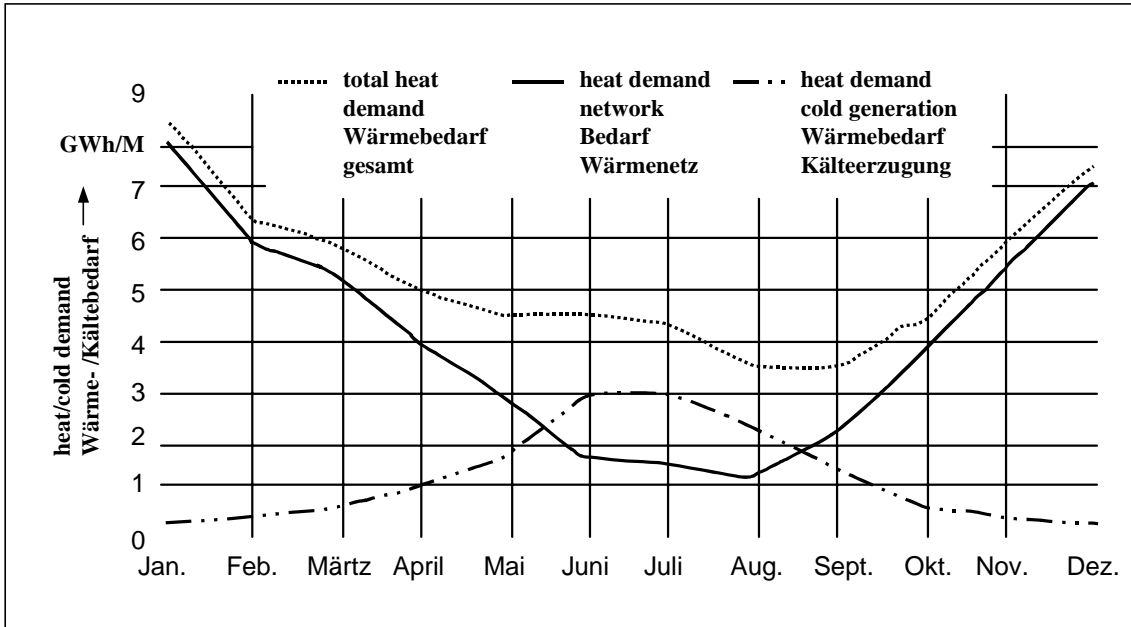
Esisuunnittelussa on päädytty seuraaviinlaiteratkaisuihin:

- yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto kaasumoottorivoimalaitoksilla
- kylmäkuorman perustuotanto absorptiokoneilla
- lämmönpoisto hybriditoimisessa jäähdytystornissa
- kylmäkuorman huipputehon tuotanto ruuvikompressorikoneilla
- lämmönpoisto märkjäähdytystornissa
- lämmöntuotannon huipputehon tuotanto olemassa olevilla kuumavesikattiloilla.

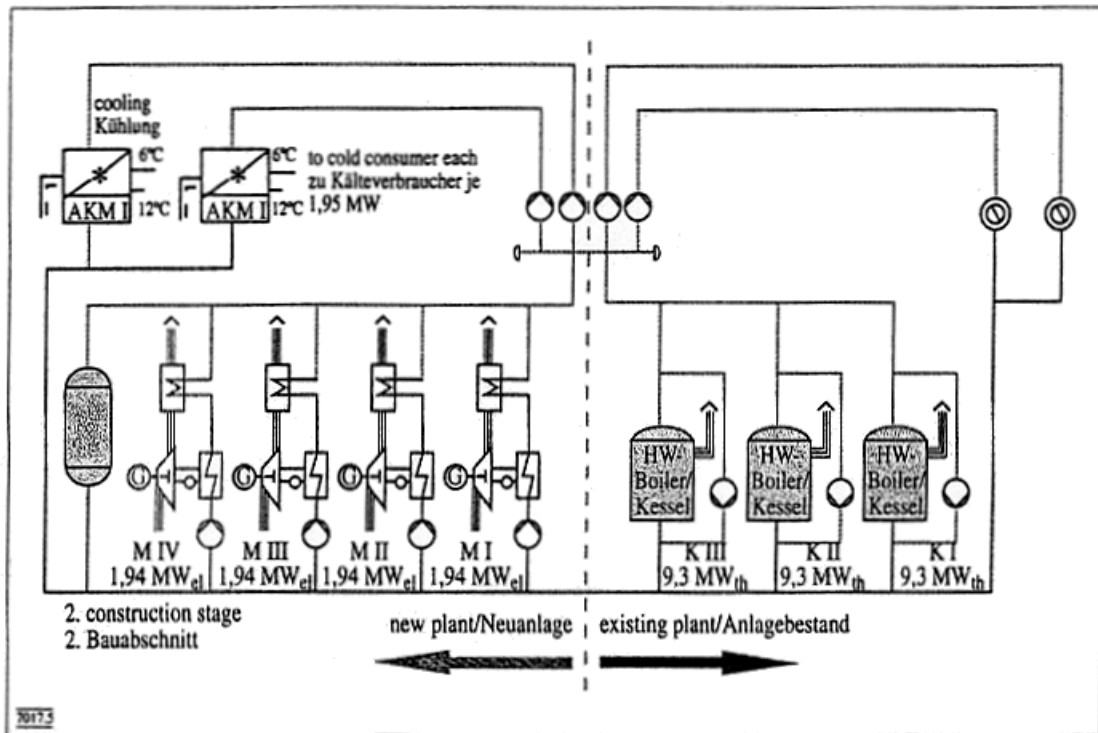
Moottorivoimalaitosten toimittaja on Jenbacher AG. Laitos muodostuu neljästä yksiköstä, joiden sähköteho on 1,9 MW ja lämpöteho 2,2 MW, kun jäähdytyspiirin lämpötilat ovat 95/70 °C. Absorptiolaitos koostuu kahdesta yksiköstä, joiden kylmäteho on 1,65 MW. COP:n arvioidaan olevan 0,72, kun kylmäveden lämpötilat ovat 6/13 °C. Kompressoriyksiköiden kylmäteho on 1,65 MW ja sähköteho 320 kW, jolloin COP on 5,15. Yksiköitä on yhteensä neljä ja niiden kokonaiskylmäteho 10,5 MW. Lämmön varastointi toteutetaan lämminvesivaraajalla, jonka tilavuus on 120 m<sup>3</sup>. Absorptiolaitoksilta tulevan jätelämmön poisto on suunniteltu kahdella hybridijäähdytystornilla (märkä- ja kuivajäähdytysyhdistelmä). Ilman lämpötilan laskiessa alle 12 °C:seen toimivat vain kuivatyyppiset jäähdytinosat. Kesän huippukulutuksen aikana laitos toimii märkjäähdytyksellä.

Lentokenttäalueen ja pienehkön asuin- ja toimistoalueen yhteinen lämpöenergian vaihtelu kuukausittain esitetään kuvassa 43. Kesäkuukausina on kylmäntuotannosta aiheutuva kuorma on 60–90 % suurempi kuin varsinainen lämmönkulutus. Kuvassa 44 esitetään energiantuotannon kytkentäkaavio ja kuvassa 45 kylmäntuotannon kytkentäkaavio.

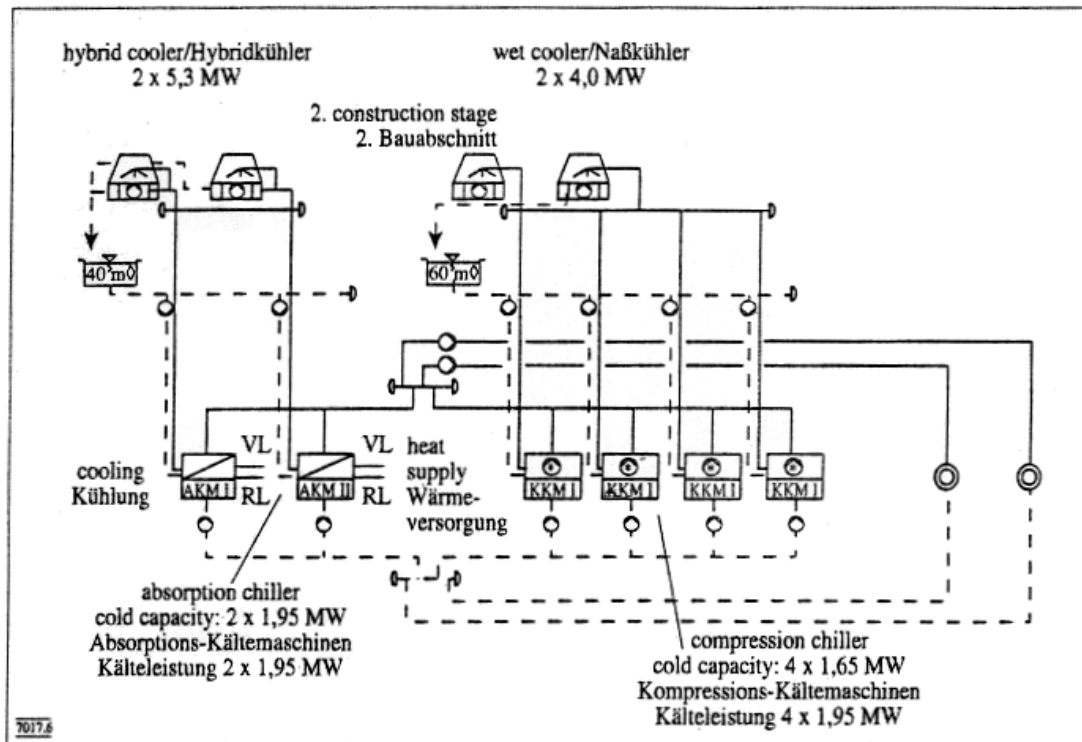




Kuva 43. Lämpöenergian tarve lämmitykseen ja jäähdytykseen lentokenttäalueella Saksassa.



Kuva 44. Lentokenttäalueen energiantuotantokaavio.



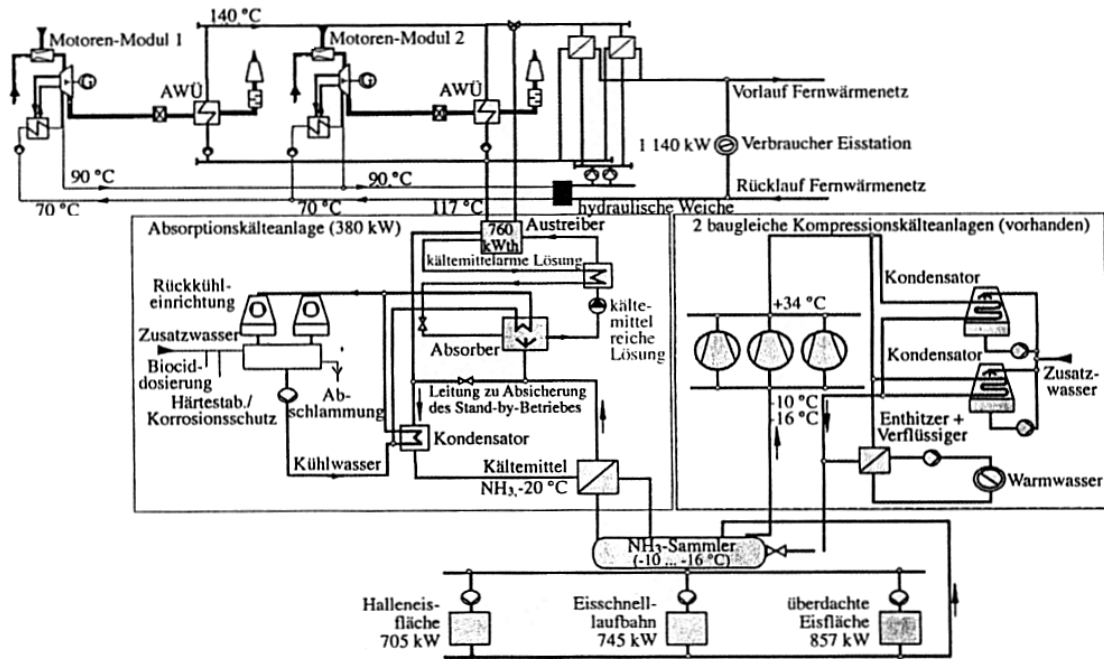
Kuva 45. Lentokenttäalueen kylmäntuotantojärjestelmä.

## 5.5 Jäärheilukeskuksen suunnitelmat

Saksassa Weisswasserissa suunnitellaan jäärheilukeskuksen energiantarpeen peittämistä paikallisella yhteistuotantolaitoksella. Lopullista rakentamispäätöstä varten on yksityiskohtaiset laskelmat meneillään. Kylmäntarve muodostuu jäähallikaukaloiden ja luisteluradan jääpintojen jäähdyttämisestä ja on kokonaisteholtaan 2 300 kW. Kylmäntuotanto on suunniteltu toteutettavaksi vesi-ammoniakki-absorptiokoneella ja kompressorikoneilla. Tarvittavan kylmän lämpötilat ovat  $-10 - -16$  °C, ja absorptiokoneelta otettava lämpötila  $-20$  °C. Ammoniakkikoneen käyttöenergian lämpötila on menojohdossa  $140$  °C ja paluujohdossa  $120$  °C. COP:n arvioidaan olevan 0,5. Kun absorptiokoneen kylmäteho on 380 kW, tarvittava lämpöteho on 760 kW. Jäärheilukeskuksen lämmöntarpeeksi on laskettu 1 140 kW. (Noeres et al. 1999)

Energiantuotanto toteutetaan kahdella maakaasukäyttöisellä voimalaitosmoottorilla, joiden sähköteho on 1,29 MW ja lämpöteho 1,5 MW. Kylmäkoneen tarvitsema lämpö saadaan pakokaasujen lämmöntalteenotosta. Moottorin vaipan jäähdytyslämmöllä lämmitetään kaukolämpöverkon paluuvettä, jota vielä lämmitetään pakokaasujen lämmöllä.

Kuvassa 46 esitetään laitoksen prosessikaavio. Kylmän siirrossa käytetään suunnitelmien mukaan ammoniakkiuosta. Ammoniakkisäiliössä vallitsee nesteen ja höyryn tasapaino. Jäähallin kylmävirtaus on todennäköisesti menopuolella nestemuodossa ja paluujohdossa höyryä.



Kuva 46. Jääturheilukeskuksen kylmäjärjestelmän toteutussuunnitelma.

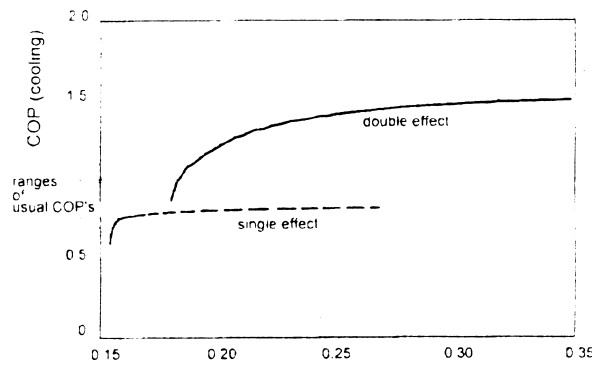
## 6. Kustannustarkastelua

Tällä hetkellä melkein kaikki kaupallisesti käytettävissä olevat absorptiolaitokset ovat toimivat LiBr-vesi-parilla, vaikkakaan se ei ole ideaalinen liuospari. Sen ongelmia ovat vahvan liuoksen kiteytyminen ja siitä johtuva alhainen lämpötilaeron käyttömahdollisuus. Käyttöalue rajautuu siten alhaisille jäähdytyslämpötila-alueille, mistä seuraa se, että halvempaa ilmajäähdytysjärjestelmää ei voida käyttää vaan on käytettävä vesijäähdytystä. Lämmönvaihtimet ovat tavallisesti vaippa- (shell) tai putki-tyyppisiä. Kaupalliset tuotteet ovat single tai double effect -tyyppisiä sekä viimeisin sovellutus single effect – double lift -koneet, joita on pilottivaiheessa muutama.

Kylmäkoneiden toiminta-arvoja vertailtaessa on otettava huomioon laitekustannukset tai ensisijaisesti lämmönsiirtimien pinta-alan määrä ja kustannukset. Pinta-ala ja sen jakautuminen kylmäkoneen eri lämmönsiirtimille määräävät COP-arvon. Erityyppisten kylmäkoneiden vertailu on luotettavinta, kun niiden lämmönsiirtimien optimointi on toteutettu pinta-alojen ja niiden yksikkökustannusten pohjalta. Optimoinnin yksi vaihe on maksimoida COP:n arvo lämmönsiirtimien kokonaiskustannusten suhteen. Tarkasteltavia vaihtoehtoja on useita: double lift, single effect, double effect, triple effect -kiertopiirit, joihin käytetään erilaisia työainepareja ja erilaisia optioita, kuten liuoksen erilaisia virtauskytkentöjä (sarja/rinnan), erityyppisiä absorbereita (sumu/kalvo) ja erilaisia keittämiä (allas/kalvo).

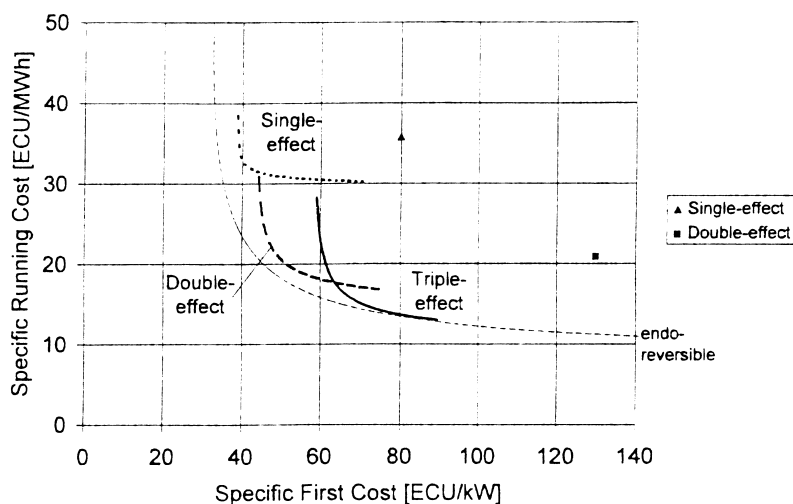
Kylmäkoneen kustannukset riippuvat lämmönvaihtimien pinta-alan suuruudesta, millä on suora vaikutus COP-arvoon, sekä muista komponenteista, kuten pumpuista, säätölaitteista jne, joilla on vähäisempi vaikutus COP:hen. Lisäksi kylmäkoneen eri lämmönvaihtimet on optimoitava toisiinsa nähden; esimerkiksi liuoslämmönvaihtimen suurentaminen parantaa COP-arvoa, mutta keittimen lämmönvaihtimen suurentaminen ei välttämättä kasvata COP-arvoa.

Simulointimallilla laskemalla (Summerer 1996) on saatu kuvan 47 mukaiset COP-arvot kylmälaitteen lämmönsiirtimien kokonaispinta-alan funktiona. Olettaen tietty kylmäteho voidaan COP-arvoa kasvattaa voimakkaasti tietyllä lämpöpinta-alueella, mutta COP:n kasvu hidastuu olennaisesti pinta-alaa edelleen lisättäessä. COP:n kasvun hidastuminen on erityisen voimakas single effect -tyyppisessä ratkaisussa verrattuna double effect -ratkaisuun. Laskelmissa on ajolämpötilana käytetty 90/70-lämpötiloja (single effect), kylmälämpötilana 12/6-arvoja ja jäähdytyslämpötilana 27/35-arvoja. Kuvan mukaisesti lämpöpintaa eli samalla laitekustannuksilla kasvattamalla ei voida olennaisesti parantaa COP-arvoa tietyn optimaalisen ulkopuolella.



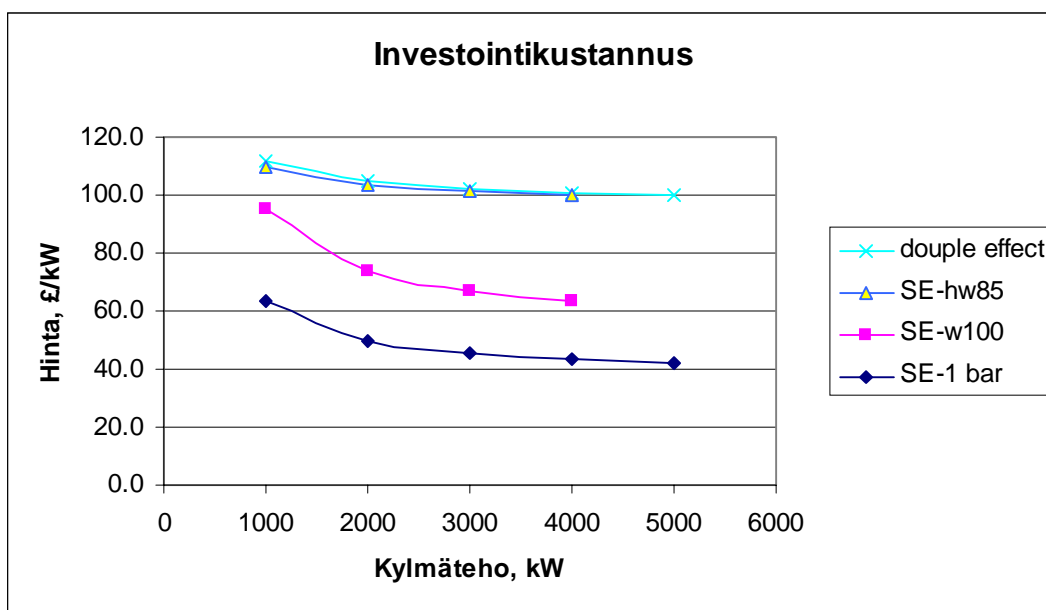
Kuva 47. Lämmönsiirtopinnan ( $m^2/kW$ ) lisäämisen vaikutus COP-arvoihin.

Lämmönsiirtimien optimointia on edelleen tarkasteltu ottamalla mukaan kustannukset (Berlitz et al. 1999). Tarkastelussa on oletettu lämmön hinnaksi 25 ECU/MWh (n.150 mk/MWh) ja lämmönsiirtimen yksikköhinnaksi 250 ECU/ $m^2$ . Kuvassa 48 esitetään optimoinnin tulos single effect – double effect ja triple effect -ratkaisuille. Kuvan x-akseli on lämmönsiirtimen pinta-alan mukaan laskettu laitoksen yksikköhinta (ECU/kW) ja y-akselina ovat käyttökustannukset laskettuna COP:n avulla lämpöenergian hinnasta. Simuloinnissa on kylmäkoneen häviöinä huomioitu ainoastaan lämmönsiirtimien asteisuus. Kustannuskäyristä todetaan kohtalaisen kapea optimaalinen alue, kun pyritään pitämään sekä käyttökustannukset että investointikustannukset alhaisina. Kuvaan on lisätty myös toteutuneiden laitosten kustannuspisteet, jotka sisältävät myös materiaalien hintavaikutuksen lämpötilatasojen kohotessa siirryttäessä yksitehoisesta laitoksesta monitehoisiin laitoksiin, säätölaitekustannukset, voiton jne. Single effect -tyyppisten laitosten hinta on kuvan mukaisesti 80 ECU/kW (480 mk/kW) ja double effect -laitosten hinta 130 ECU/kW (780 mk/kW).



Kuva 48. Investointikustannuksen vaikutus käyttökustannuksiin optimoinnin perusteella.

Isossa-Britanniassa tehty tutkimus (Tozer & James 1998) antaa myös merkittäviä hintaeroja erityyppisille absorptiolaitoksille. Kuvassa 49 esitetään vuoden 1994 hintatietoja (rahayksikkö punta on noin 10 mk) vastaavat arvot single effect ja double effect -absorptiokoneille. Alhaisimmat yksikkökustannukset ovat höyrykäyttöisellä single-koneella, noin 40–60 % kalleimman eli double effect -koneen kustannuksista. Kuumalla vedellä toimivien single-koneiden hintataso riippuu lämmitysveden tulolämpötilasta niin, että lämpötilatason alentuessa hinta nousee. Tämä johtuu osittain siitä, että matalalämpöisille ja kalliimmille koneille ei ollut tuolloin merkittävää kysyntää.



Kuva 49. Erityyppisten absorptiokoneiden investointikustannukset englantilaisen tutkimuksen mukaan.

Samassa tutkimuksessa todetaan Yhdysvalloissa erityyppisten absorptiokoneiden markkinaosuuksien jakautuvan vuonna 1993 seuraavasti:

single effect	41,3 %
double effect suora poltto	30,3 %
double effect höyrykäyttö	28,4 %.

Saksassa absorptiokylmälaitokset ovat yleistyneet voimakkaasti, mikä selittyy kustannusvertailujen avulla. Erään tutkimuslaitoksen (ASUE 1999) laskelmassa vertaillaan sähkökäyttöistä ruuvikompressorilaitosta ja kaksivaiheista, kaasukäyttöistä absorptiokoneita sekä yksivaiheista kuumavesikäyttöistä absorptiolaitosta. Kylmätehon tarve on 800 kW ja huipun käyttöaika 500 tuntia vuodessa. Kylmäpiirin lämpötilat ovat 6/12 °C. Muita ympäristöstä riippuvia tietoja ovat:

sähkön tehomaksu	90 DM/kW, vuosi
sähkön energiamaksu	90 DM/MWh
kaasun hinta	30 DM/m <sup>3</sup>
käyttöveden hinta	4 DM/m <sup>3</sup>
jäteveden hinta	3 DM/m <sup>3</sup> .

Kunnossapitokustannukset ovat 1 % absorptiolaitokselle ja 2 % jäähdytystornille ja muille laitososille laskettuna investointikustannuksista. Kompressorilaitoksen kunnossapitokustannukset ovat 2 %. Pääomakustannukset muutetaan vuosikustannuksiksi 10 %:n annuiteetilla.

Tehontarve ja muut resurssitarpeet ovat taulukon 12 mukaiset.

*Taulukko 12. Saksalainen vertailu kylmäntuotannon kustannustekijöistä.*

			Ruuvi-kompressori	Absorptio suora poltto	Absorptio kuuma vesi
Sähkön tarve					
	Kylmälaitos	kW	180	4	4
	Jäähdytystorni	kW	6	6	6
	Kylmäveden kierrätys	kW	6	6	6
	Jäähdytysveden kierrätys	kW	6	9	12
	<b>Yhteensä</b>	<b>kW</b>	<b>208</b>	<b>45</b>	<b>54</b>
Muu käyttötoiminta					
	Jätelämpö	kW	-	735	1 330
	Tuoreveden tarve	m <sup>3</sup> /a	968	1 277	1 738
	Jätevedenmäärä	m <sup>3</sup> /a	242	319	463
Investoinnit					
	Kokonaisinvestoinnit (1	DM	407 000	651 000	505 000
	Säästetty lämmityskattila	DM		-150 000	

1) sisältäen jäähdytystornin, pumput, putket, eristykset ja sähkökäytöt.

Kannattavuusvertailu muodostuu vuosikustannuksista taulukon 13 mukaisesti.

Taulukko 13. Kylmäkoneiden vuosikustannusten vertailu.

		Ruuvi-kom- pressori	Absorptio suora poltto	Absorptio kuuma vesi
Pääomakustannukset	DM/a	40 700	50 100	50 500
Käyttökustannukset				
Sähkön energiakustannus	DM/a	28 080	6 075	7 290
Polttoainekustannus	DM/a	-	12 205	41 515 <sup>1)</sup>
Tuorevesikustannus	DM/a	3 870	5 110	6 950
Jätevesikustannus	DM/a	730	960	1 390
Sähkönlisätuotto CHP:lla	DM/a	-	-	-48 000 <sup>2)</sup>
<b>Yhteensä</b>		<b>32 680</b>	<b>24 350</b>	<b>9 145</b>
Ylläpitokustannukset				
Kylmälaitos	DM/a	10 430	7 700	6 060
CHP	DM/a	-	-	10 000
<b>Yhteensä</b>	DM/a	<b>10 430</b>	<b>7 700</b>	<b>16 060</b>

1) Polttoainekustannukset CHP-laitoksen lisäkäytössä, CHP sähkö: 800 kW, lämpö: 1 330 kW, huipunkäyttöaika 500 h, ylläpitokust. 2,5 Pf/kWh.

2) Lisäsähkö: teollisuuden, kaupan ja kotitalouden keskihinta 120 DM/MWh.

Lopullinen hintavertailu esitetään taulukossa 14.

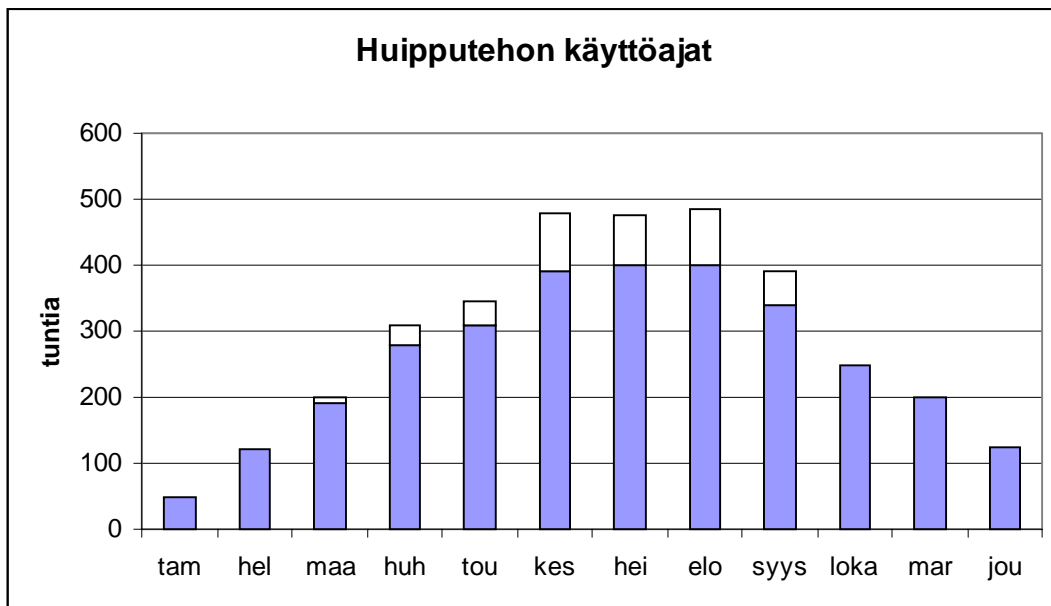
Taulukko 14. Saksalaisen selvityksen mukaiset kokonaiskustannukset eri kylmäntuotantotavoille.

		Ruuvi-kom- pressori	Absorptio suora poltto	Absorptio kuuma vesi
Pääomakustannukset	DM/a	40 700	50 100	50 500
Käyttökustannukset	DM/a	32 680	24 350	9 145
Ylläpitokustannukset	DM/a	10 430	7 700	16 060
<b>Yhteensä</b>	<b>DM/a</b>	<b>83 810</b>	<b>82 150</b>	<b>75 705</b>

Laskelman mukaisesti epäsuorasti lämpöä käyttävä, yksivaiheinen absorptiokylmä on edullisin vaihtoehto, kaasulla toimiva 2-vaiheinen absorptiokylmä on myös edullisempää kuin sähkökäyttöinen kompressorikylmä. Investointikustannukset ovat suurimmat kaksivaiheisella absorptiolaitoksella, mutta kun otetaan huomioon kattilalaitoksen pois jääminen suorapoltossa, tarkasteltujen absorptiolaitosten hinnat ovat samansuuruiset. Ruuvikompressorilaitoksen investoinnit ovat noin 20 % pienemmät kuin absorptiolaitosten.



Amerikkalaisessa tutkimuksessa (Lilly 1998) vertaillaan erilaisia kylmäntuotantovaihtoehtoja Atlantan olosuhteissa Georgian osavaltiossa. Kylmää tuotetaan hotellien ja muiden 24 tuntia käytössä olevia rakennuksia varten kylmäteholtaan yhteensä 3,5 MW. Kylmän tarpeen jakautuminen eri kuukausille esitetään kuvassa 50. Kun peruskuormalaitoksen tehoksi valitaan 50 % kylmän huipputehosta, tuotetaan sillä 90 % vuotuisesta kylmäenergiasta ja vastaavasti 50 %:n huippulaitoksella tuotetaan 10 % vuotuisesta energiasta.



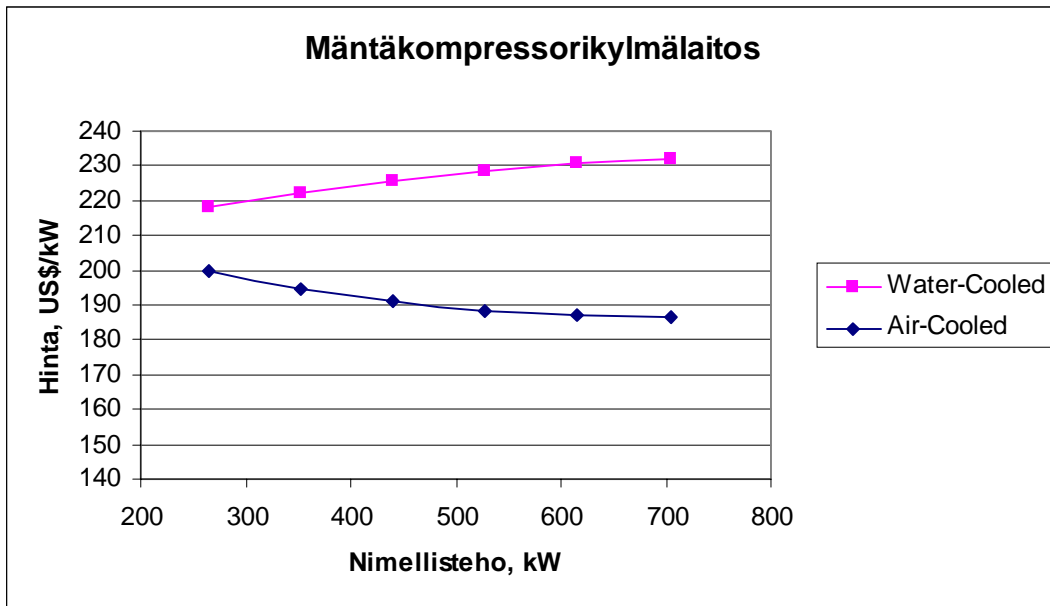
Kuva 50. Kuukausittaiset kylmäenergiämäärät ilmoitettuna tehoiltaan yhtä suurien perus- ja huipputuotantolaitoksen huipunkäyttöaikoina.

Selvityksessä on esitetty laitevalmistajilta kerättyjen hintatietojen perusteella kylmälaitosten hinnat nimellistehon funktiona. Ne esitetään siten, että kuvassa 51 on pienempien laitospakettien rakentamisessa käytettävien mäntäkompressoreiden hinnat ja kuvassa 52 ruuvi- tai keskipakokompressoreiden hinnat sekä kuvassa 53 erityyppisten absorptiolaitosten hinnat. Hinnat sisältävät paitsi varsinaisen kylmälaitoksen myös laitokseen liittyvät putket, pumput, jäähdytystornin (ilmajäähdytyksen) jms.

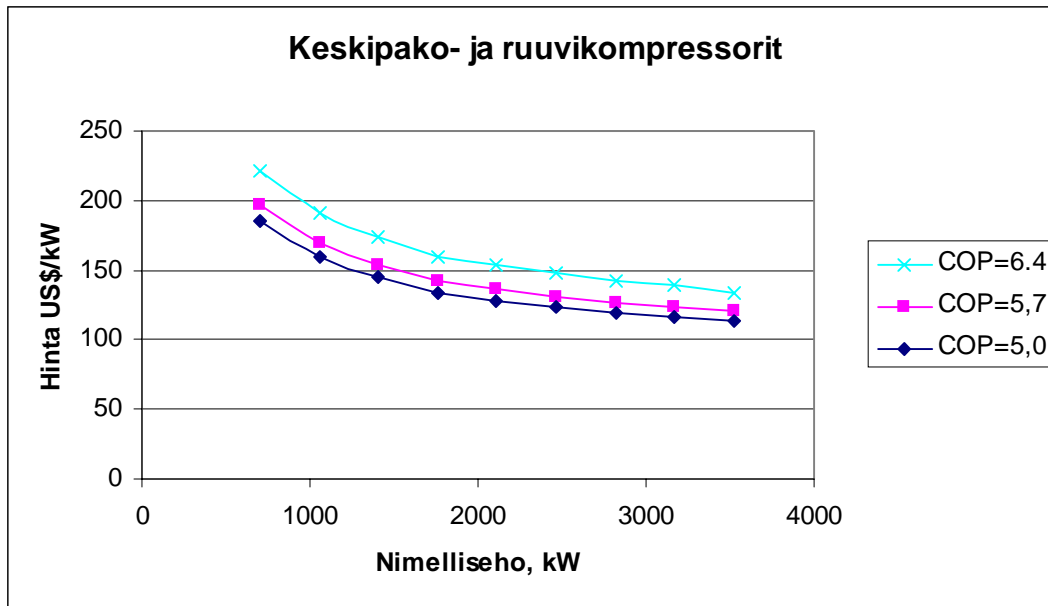
Höyrykäyttöisten absorptiolaitosten vertailussa 2-vaiheisen koneiston hinta on 11–16 % suurempi kuin 1-vaiheisen. Hintaeron pienuuteen vaikuttavat 2-vaiheisessa ratkaisussa saavutettava parempi COP-arvo ja sitä kautta pienemmät jäähdytystorni- ja muut vastaavat kustannukset. Maakaasukäyttöinen koneisto on hinnaltaan kallein. Kuvassa esitetään myös maakaasukäyttöisen polttomoottorin ja siihen liitetyn keskipakokompressorin yksikköhintakäyrä. Se asettuu 1- ja 2-vaiheisen absorptiokoneiston väliin.

Keskipakois- ja ruuvikompressorilaitosten hinta riippuu COP-arvosta. Korkeampi arvo aiheuttaa korkeamman hinnan. Verrattaessa kompressorilaitoksia 1-vaiheiseen absorptiolaitokseen todetaan absorptiolaitoksen olevan 30–33 % kalliimpi kuin kompressorilaitos. Tässä vertailussa korkeampi COP-arvo alentaa laitoksen kokonaishintaa.

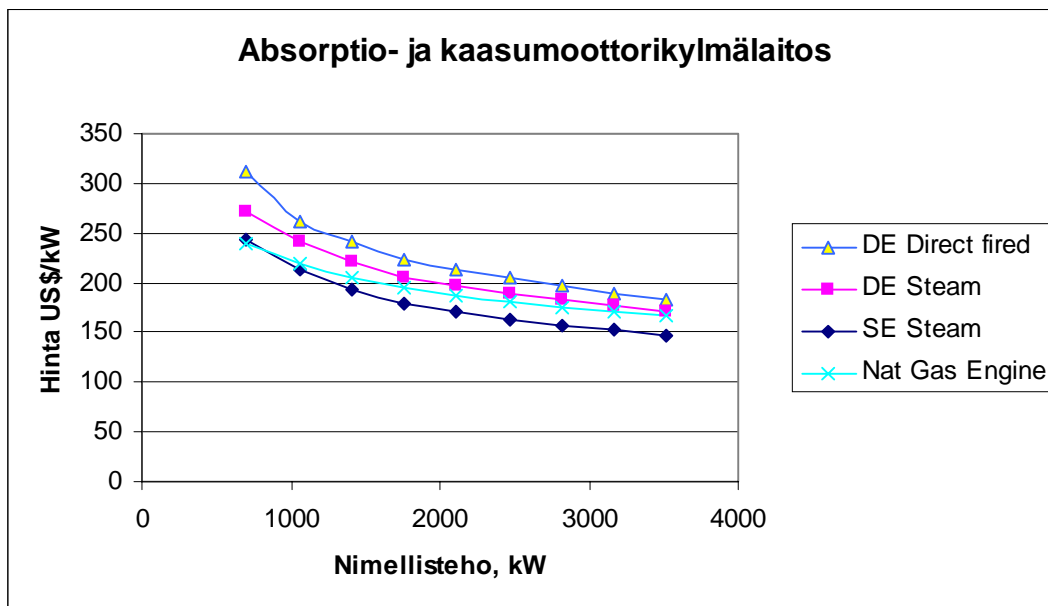
Mäntäkompressorilaitokset ovat kokoluokassaan hinnaltaan halvempia kuin ruuvi- tai keskipakoiskompressorit ja, jos ilmajäähdytys on riittävä hukkalämmön poistamisessa, on se olennaisesti edullisempi vaihtoehto kuin vesijäähdytteinen järjestelmä.



Kuva 51. Mäntäkompressorilaitosten hinta käytettäessä ilma- tai vesijäähdytystä.

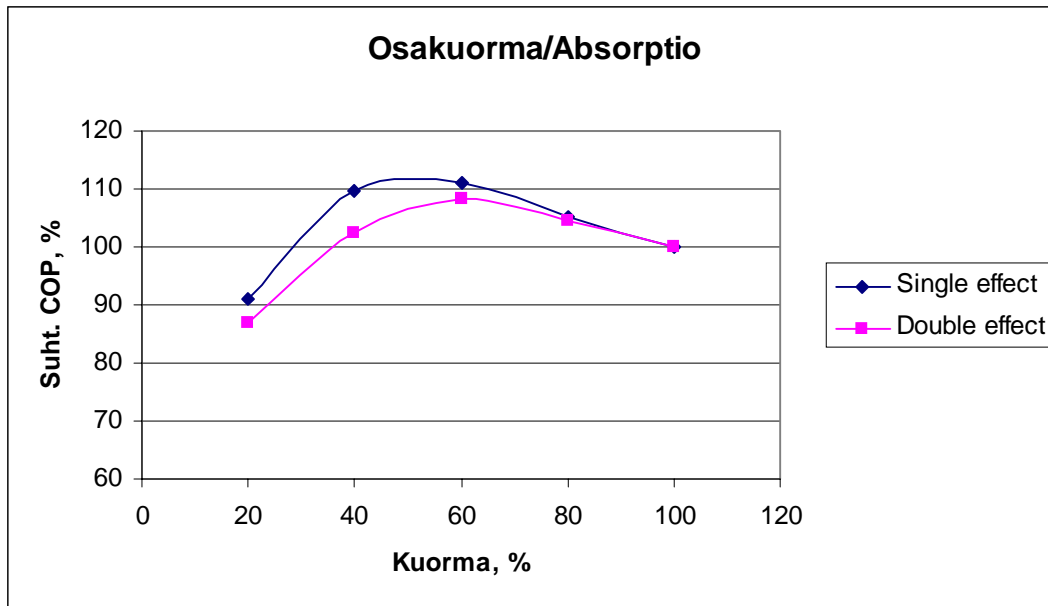


Kuva 52. Keskipako- ja ruuvikompressorin hintakäyriä eri COP-arvoilla.



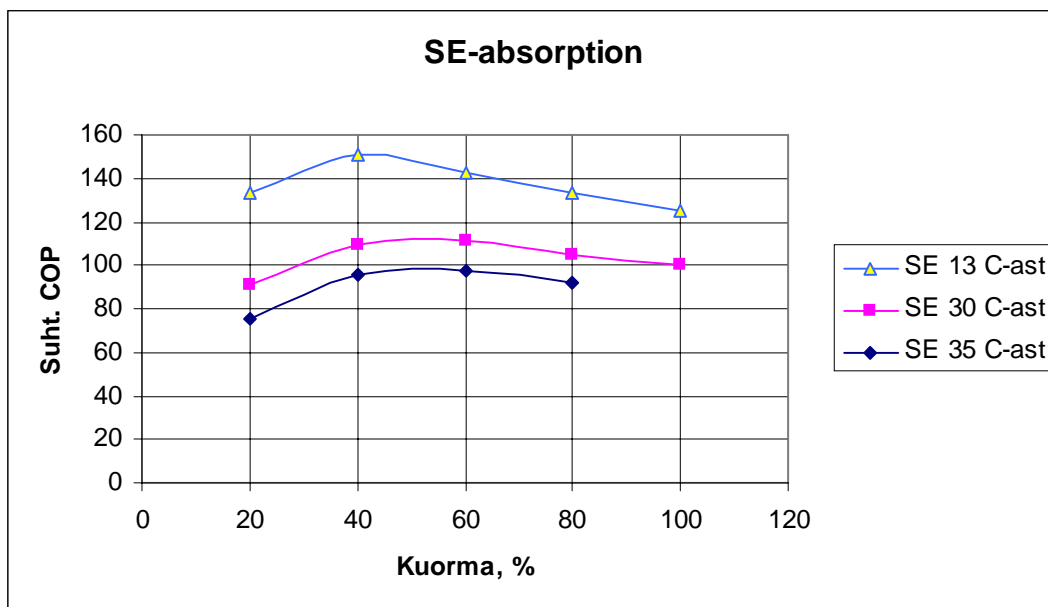
Kuva 53. Absorptiokoneiden ja kaasumoottori- tai kompressorilaitoksen hintoja koon funktiona.

Selvityksen mukaan absorptiokoneiden toiminta-arvot muuttuvat osakuormilla enemmän kuin kompressorikoneiden. Kuvassa 54 esitetään 1- ja 2-vaiheisen absorptiokoneen COP:n suhteellinen muuttuminen, kun nimellisteholla COP:n arvoksi annetaan 100 %. COP on suurimmillaan 50 %:n kuormalla ja laskee sitä pienemmillä kuormilla nopeasti. Jäähdytysveden lämpötilan oletetaan olevan ko. tapauksissa 30 °C ja kylmäveden 6,6 °C.



Kuva 54. Absorptiokoneiden osakuormatehot amerikkalaisen tutkimuksen mukaan.

Absorptiokoneelle tulevan jäähdytysveden merkitystä tarkastellaan kuvassa 55, jossa on 1-vaihelaitteen osakuormakäyrät, kun jäähdytysveden lämpötilat ovat 13, 30 ja 35 °C. Perustilanteena ovat mitoitussolosuhteet (jäähdytysvesi 30 °C, kylmävesi 6,6 °C), ja COP:n arvoksi on asetettu 100 %.



Kuva 55. Jäähdytysveden lämpötilan vaikutus absorptiokoneiden COP:hen osakuormilla.

Selvityksen vuosikustannusten vertailussa päädyttiin siihen, että 1-vaiheinen absorptiopumppu ja samankokoinen sähkötoiminen kompressorituottavat edullisimman ratkaisun sikäläisillä säännöstelystä vapautuneilla maakaasun ja sähkön hinnoilla. Kaasukäyttöinen polttomoottori-kompressorilaitos tuottaa olennaisesti alimmat käyttökustannukset, erityisesti jos moottorin hukkalämpö otetaan hyötykäyttöön.

Suomalaisten tekemässä selvityksessä (Ahola 1998) tarkastellaan kylmälaitosvaihtoehtoja kreikkalaisissa olosuhteissa. Kaukolämpökäyttöisiä absorptiolaitoksia verrataan ruuvikompressorilla toteutettuun kompressorilaitokseen. Virastorakennuksen kylmätehon tarve on 800 kW ja huipun käyttöaika 1 157 h. Vuotuinen kylmän tarve on siten 925,6 MWh. Suunnitteluolosuhteissa (märkä)lämpötila on 30,4 °C ja kylmäveden lämpötilat 13/7 °C. Jäähdytyspiirin lämpötilat ovat 30/36 °C. Osatarkastelussa absorptiolaitokset oletetaan standardipaketeiksi, joissa lämmönlähteenä olevan kuuman veden lämpötila on 90 °C ja toisessa tarkastelussa 12 °C. Molemmissa tapauksissa kuuman veden jäähdytys on 10 °C. Korkokantana käytetään 5 %:a ja takaisinmaksuaikana 20:tä vuotta absorptiolaitteille ja 15:tä vuotta kompressorikoneelle. Investointikustannuksia arvioitaessa on oletettu laitteet valmiiksi asennettuina. Jäähdytystornin ja kompressorilaitoksen asennus- ja kylmäainekustannuksiksi on oletettu 15 % nettohinnasta. Absorptiolaitokselle vastaava kustannuslisä on 10 %. Putkistot ja pumput sisältyvät esitettäviin kustannuksiin. Arvonlisävero hinnan ei sisällä. Ylläpitokustannukset ovat jäähdytystornille 5 % investoinneista, absorptiolaitokselle 1 % ja kompressorilaitokselle 4,6 % muodostuen vuotuisesta 3 %:sta ja lyhemmän käyttöajan aiheuttamasta 1,6 %:sta.

Selvityksessä on käytetty seuraavia energia- yms. hintoja:

- sähkön keskihinta US\$ 92,74 per MWh.
- lämmön hintana käytetty CHP-laitoksella menetetyn sähkön kustannusta.
- lisävesi US\$ 2,93 per kuutiometri
- jätevesi US\$ 0,74 per kuutiometri.

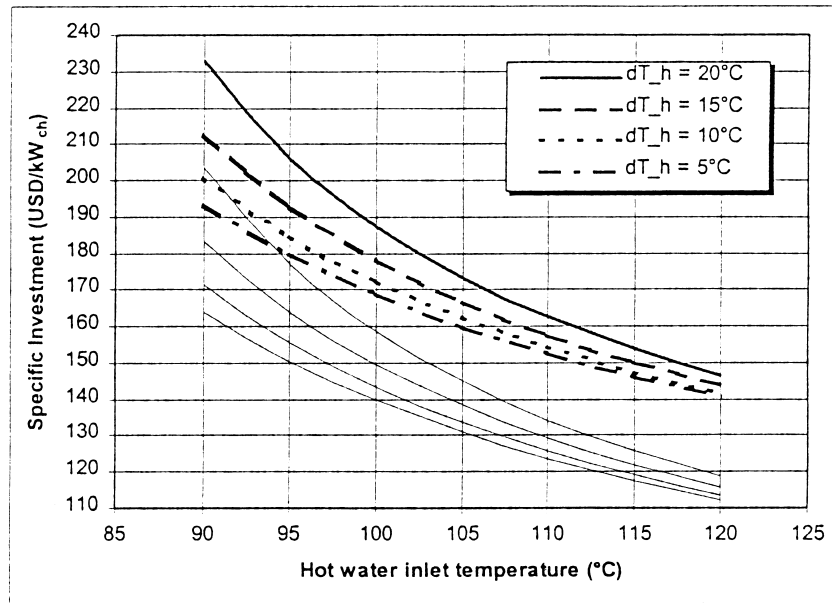
Taulukossa 15 esitetään laitosten vuosikustannusten muodostuminen. Investointien suuruus on kompressorilaitokselle 155 US\$/kW, ABS-90-laitokselle 203 ja ABS-120-laitokselle 149 US\$/kW. Taulukon arvot osoittavat absorptiokoneen, jossa lämmönlähteen lämpötila on 120 °C, olevan investointihinnaltaan 59 % edullisempi kuin jos suunnittelulämpötila on 90 °C. Kylmälaitoksen kokonaisinvestoinneista absorptiokoneen osuus on vastaavasti 60 ja 70 % sekä kompressorilaitoksella kompressorin osuus on 79 %. Jäähdytyspiirin aiheuttamat investoinnit ovat kompressorilaitoksella siten olennaisesti pienemmät kuin absorptiolaitoksilla.

Taulukko 15. Kylmäntuotantovaihtoehtojen kylmäenergiakustannukset (US\$/MWh).

	Ruuvikompr.	ABS-90 C	ABS-120
Lämmönlähteen lämpötila		90	120
COP nimellis	5,35	0,703	0,727
COP keskim.	5,0	0,70	0,70
Pääomakustannukset			
Kylmäkone	8,50	9,83	6,17
Jäähdytystorni	1,29	2,56	2,51
Jäähdytyspiirin putket	0,78	1,05	1,04
Jäähdytyspiirin pumput	0,15	0,25	0,25
Kaukolämmön taloliitännät	0	0,38	0,38
<b>Yhteensä pääomakustann.</b>	<b>10,72</b>	<b>14,07</b>	<b>10,33</b>
Muuttuvat kustannukset			
Lämpö	0	10,77	16,17
Sähkö	20,40	4,79	4,70
Lisävesi	7,28	14,86	14,58
Jätevesi	0,59	1,20	1,18
<b>Muuttuvat kust. yhteensä</b>	<b>28,27</b>	<b>31,63</b>	<b>36,63</b>
<b>Ylläpitokustannukset</b>	<b>5,69</b>	<b>2,82</b>	<b>2,33</b>
<b>Kylmäkustann. yhteensä</b>	<b>44,67</b>	<b>48,51</b>	<b>49,30</b>

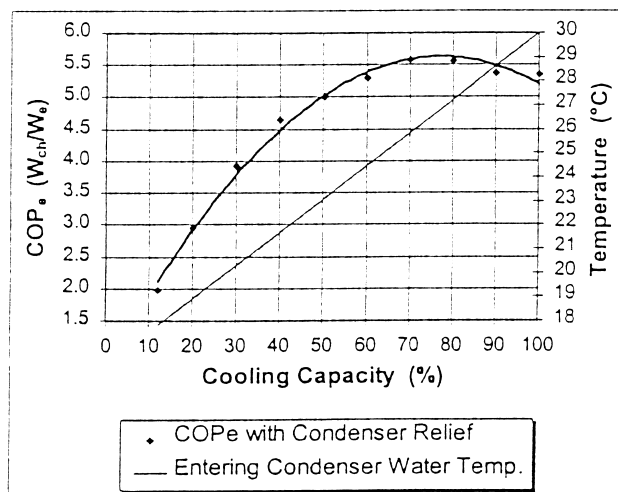
Kylmäenergian hinta on taulukon mukaisesti edullisinta kompressorilaitoksella tuotettuna. Jos oletetaan käytettävän jätelämpöä lämmönlähteenä eli lämmöllä ei ole kustannuksia, saadaan absorptiokoneistot selvästi edullisemmiksi vaihtoehtoiksi. ABS-90:llä tuotetun kylmän hinta olisi 37,7 US\$/MWh ja ABS-120:llä tuotetun 33,1 US\$/MWh, mitkä ovat selvästi alle kompressorivaihtoehdon 44,7 US\$/MWh.

Tutkimuksessa on lisäksi laskentamallin avulla etsitty optimaalista kustannusrakennetta absorptiokoneistolle ja tulostettu laitoksen kokonaisinvestoinnit kuumen veden tulolämpötilan ja jäähdytyksen funktiona (kuva 56). Kylmäteho on, kuten edellä, 800 kW ja toisessa käyräparvessa 1 600 kW. Todetaan kaikkien kolmen parametrin vaikuttavan selvästi laitoksen hintaan.



Kuva 56. Absorptiolaitosten optimointiin perustuvat investointikustannukset 800 kW:n (ylempi käyräparvi) ja 1 600 kW:n tehoisilla laitoksilla käytettäessä märkääjähdystornia ja 20 m pitkää kylmän siirtojohtoa ja 20 m:n mittaista kaukolämpöliitäntäjohtoa (Ahola 2000).

Samassa tutkimuksessa on myös ruuvikompressorin COP-kuormitusastekäyrä referoitu-  
na valmistajien esitteistä (kuva 57). COP-käyrän lisäksi kuvassa on esitetty lauhdutti-  
meen menevän jäähdytysveden lämpötilä.



Kuva 57. Ruuvikompressorin arvioitu COP-käyrä osakuormilla sekä jäähdytysveden vastaavat lämpötilat.

Sidneyn olosuhteissa arvioidaan (Merz 1999) kylmäntuotannon bechmarket-hinnan ole-  
van USD 38/MWh, kun kylmä tuotetaan edullisissa ympäristöolosuhteissa. Hinta sisäl-

tää pääomakustannukset, sähkön (USD 60/MWh), muut käyttö- ja ylläpitokustannukset. Kuormitusasteeksi oletetaan 25 %. Samassa selvityksessä esitetään absorptiolaitoksen investoinnin muodostuminen eri osakustannuksista, kun energialähteen lämpötila on 95 °C (taulukko 16). Koko kylmälaitoksen välittömistä kustannuksista 55 % on pelkän absorptiokoneen osuutta. Yleiskustannusten osuus on 25 % välittömistä kustannuksista.

*Taulukko 16. Arvio absorptiolaitoksen kokonaisinvestointikustannusten muodostumisesta.*

Kustannuskohde	Kustannukset USD/kW	Osuus %
Pelkkä kylmäkone	150	55
Pumput	4	1,5
Jäähdytystornin lisäkustannus	10	3,7
Asennukset ja putkitukset	60	22
Instrumentointi ja ohjauslaitteet	15	5,5
Sähkötyöt	13	4,8
Rakennustyöt	20	7,3
Välittömät kustannukset yhteensä	272	100
Projektin yleiskustannukset	68	
Yhteensä	340	125

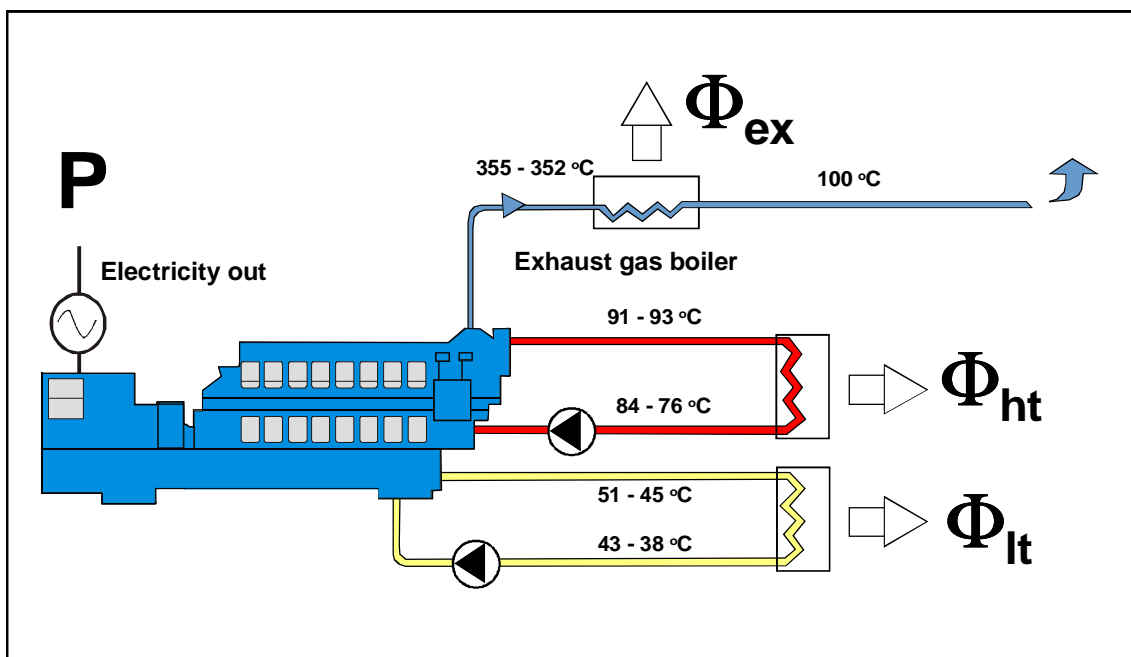


# 7. MSP-sähkö ja kaukokylmä

## 7.1 Moottorivoimalaitos

### 7.1.1 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 58 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 58. Moottorivoimalaitoksen energiavirrat ja lämmön talteenotto.

Taulukossa 17 esitetään raskaspolttoöljyllä käyvät voimalaitosmoottorit tyyppikohtaisesti sekä niiden energiavirrat ja talteen saatavat lämpötehot. Pakokaasulämmön talteenotossa käytetään pakokaasukattilaa, joka tuottaa 8 baarin kylläistä höyryä. Höyryä tuottava pakokaasukattila sijoitetaan diesel-laitokseen jo senkin vuoksi, että saadaan lämpöä raskaspolttoöljyn esilämmitykseen. Taulukossa 18 esitetään tärkeimpien kaasumoottoreiden vastaavat tehot ja lämpötilat. Ilman lämpötilaksi on oletettu 35 °C ja jäähdytysveden lämpötilaksi 38 °C. Polttoaineena olevan maakaasun metaaniluku on 85.

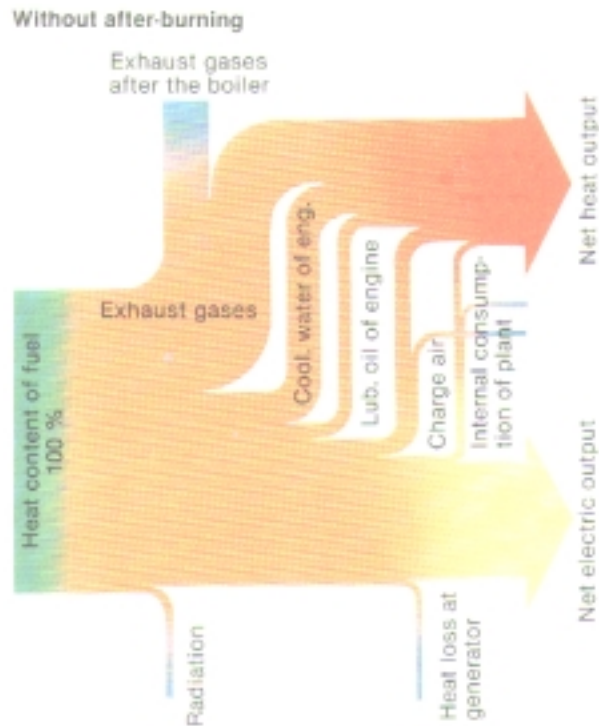
*Taulukko 17. Eräiden raskaspolttoöljyä käyttävien voimalaitosmoottoreiden energiavirrat.*

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

Taulukko 18. Eräiden maakaasua käyttävien voimalaitosmoottoreiden energiavirrat.

	Yksikkö	Arvot				
MOOTTORIT	text	18V20S G	18V28S G	18V34S G	18V32D F	18V50D F
Kuorma	%	100	100	100	100	100
Sähköteho(Generaattorilla), P	kW	3 200	4 563	5 993	5633	15 581
<u>JÄÄHDYTYSVEDET</u>						
HT-piiri (High Temperature cooling water)						
Virtaama (±5%)	kg/s	24,7	26,8	57,9	57,9	67
Teho (±15%), $\Phi_{ht}$	kW	1 125	1 467	2 051	1 586	4 011
Lämpötila ulos moottorista (±2°C)	°C	100	93	91	91	91
Lämpötila takaisin moottoriin (±2°C)	°C	89,1	79,6	86,3	88,1	76,4
LT-piiri (Low Temperature cooling circuit)						
Virtaama (±5%)	kg/s	32,7	27,6	59,6	59,6	33,2
Teho (±15%), $\Phi_{lt}$	kW	850	1 103	1 379	1 213	2 408
Lämpötila ulos moottorista (±2°C)	°C	44,3	47,3	43,3	42,6	43,7
Lämpötila takaisin moottoriin (±2°C)	°C	38	38	38	38	38
<u>PAKOKAASU</u>						
Virtaama (±10%)	kg/s	6,6	8,6	10,7	9,9	25,3
Lämpötila (±5%)	°C	375	380	370	410	393
Höyryn tuotanto pakokaasukattilassa, 8bar(a) kylläinen						
Virtaama	kg/s	0,49	0,73	0,85	0,99	2,13
Teho, $\Phi_{ex}$	kW	1 164	1 726	2 023	2 365	5 100

Kuvassa 59 esitetään moottorivoimalaitoksen energiavirrat Sankey-diagrammin avulla. Sähköntuotannon hyötysuhde on 42–45 %. Kaikki talteen saatava lämpöenergia ei sovellu kylmän tuottamiseen absorptiolaitoksessa alhaisen lämpötilan vuoksi. Alarajaan vaikuttaa kylmäliuosparin tyyppi: NH<sub>3</sub>-vesikoneet vaativat korkeampia lämpötiloja, ja tällöin vain pakokaasukattilan energia voidaan hyödyntää kylmän tuotannossa. Vesi-LiBr-koneissa voidaan hyödyntää pakokaasujen ja HT-piirin lämmöt käyttämällä sopivaa kylmäkonetyyppiä. LT-piirin lämpö ei sovellu kylmäntuotantoon.



Kuva 59. Moottorivoimalaitoksen Sankey-diagrammi.

### 7.1.2 Voimalaitostilastot

Wärtsilä Oy:n toimittamia polttomoottorivoimalaitoksia on eri puolilla maailmaa. 1990-luvulla otettiin käyttöön Euroopan ulkopuolella Wärtsilän toimittamaa sähköntuotantotehoa 613 voimalaitoksella yhteensä 13 000 MW. Moottoriyksiköitä laitoksilla on keskimäärin useita. Vuonna 1999 Wärtsilä toimitti 3 663 MW laiva- ja voimalaitosmoottoreita, joista 1 320 MW oli voimalaitoksia.

Taulukossa 19 esitetään perusvoiman tuotantoon eri maissa rakennetut moottorivoimalaitokset laitosten kokonaistehon mukaan järjestettynä. Eniten laitoksia rakennettiin Intiassa, Indonesiassa ja Filippiineillä. Teholtaan voimalaitoksia on maakohtaisesti enimmillään 1 700 MW.

Taulukko 19. Wärtsilän toimittamat moottorivoimalaitokset 1990–2000 (kokonaistehon mukaan listattu).

Maa	Laitos lkm	Teho MW
INTIA	171	1 667
INDONESIA	83	1 059
FILIPPIINIT	29	900
KIINA	28	808
DOMINIKAANINEN TASAVALTA	21	564
TURKKI	19	545
PAKISTAN	14	489
ESPANJA	45	474
TAIWAN	25	462
EL SALVADOR	3	260
VIETNAM	7	213
GUATEMALA	4	192
SAUDI-ARABIA	14	186
YHDYSVALLAT	12	180
HONDURAS	4	180
PORTUGALI	27	157
ISO-BRITANNIA	11	117
TANSANIA	2	115
ITALIA	20	103
JEMEN	5	103
PANAMA	1	98
AUSTRALIA	14	91
EGYPTI	12	91
PERU	6	90
JAMAICA	2	87
VENÄJÄ	15	85
SUOMI	9	83
GUYANA	5	72
PAPUA UUSI-GUINEA	4	72
TANSKA	16	71
NICARAGUA	3	63
SAKSA	7	62
ECUADOR	4	61
CHILE	2	59
KREIKKA	5	56
SEYCHELLIT	3	56

ST. LUCIA	3	46
RANSKA	13	45
CURAÇAO	2	39
SRI LANKA	3	38
MALESIA	3	37
RUOTSI	3	34
KOLUMBIA	2	34
MEKSIKO	1	34
ETIOPIA	3	30
JAPANI	5	29
MALEDIIVIT	5	29
RANSKAN POLYNESIA	13	28
TŠEKKI	4	22
KANADA	5	17
POHJOIS-KOREA	2	17
ALANKOMAAT	4	16
ARABIEMIIRIKUNTIEN LIITTO	2	16
ST. MAARTEN	1	16
ETELÄ-KOREA	1	13
HAITI	1	11
IRAN	2	10
LATVIA	1	10
SIERRA LEONE	1	10
FID•I	1	10
ARGENTIINA	2	8
IRLANTI	1	3

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 % eli noin 2 300 MW. Taulukossa 20 esitetään maakohtaisesti merkittävimmät teollisuuskäyttöön hankitut moottorivoimalaitokset kokonaistehon mukaan tulos-tettuna. Listan kärkipäässä on Kaukoidän ja Etelä-Aasian maita.

*Taulukko 20. Teollisuudelle 1990-luvulla toimitetut moottorivoimalaitokset maittain tehon mukaan listattuna.*

Maa	Teho MW	Laitos lkm
INTIA	809	88
INDONESIA	440	37
FILIPPIINIT	278	14
KIINA	151	7
PAKISTAN	144	11
AUSTRALIA	64	8
PAPUA UUSI-GUINEA	57	1
SAUDI-ARABIA	50	2
DOMINIKAANINEN TASAVALTA	47	1
CHILE	47	1
VIETNAM	46	3
GUYANA	24	1
EL SALVADOR	18	1
POHJOIS-KOREA	17	2
GUATEMALA	13	1
SRI LANKA	11	1
SIERRA LEONE	10	1
PERU	8	2
HAITI	11	1
ARGENTIINA	8	2
ETELÄ-KOREA	13	1
HONDURAS	7	1
YHDYSVALLAT	6	1
ECUADOR	3	1
TANSANIA	2	1

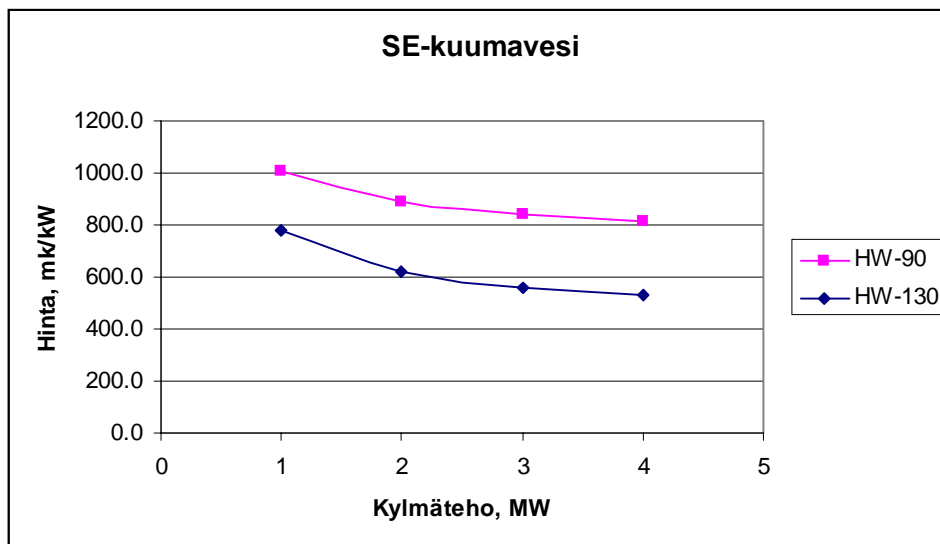
Perusvoimalaitosten lisäksi moottorivoimalaitoksia käytetään varavoimalaitoksina. Varavoimalaitokset on yleensä varustettu kevyemmin kuin jatkuvassa käytössä olevat moottorit. Varavoimalaitokset ovat kuitenkin potentiaalisesti merkittävä mahdollisuus energian tuottamiseen kylmälaitokselle. Vähäisillä täydennyksillä varavoimalaitos voisi tuottaa lämpöä absorptiokylmälaitokselle ja, jos verkossa ei ole sähkön kulutusta, voidaan sähkö käyttää esimerkiksi kompressorin avulla toimivassa kylmälaitoksessa.

## 7.2 Sähkön ja kylmäenergian tuotanto

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

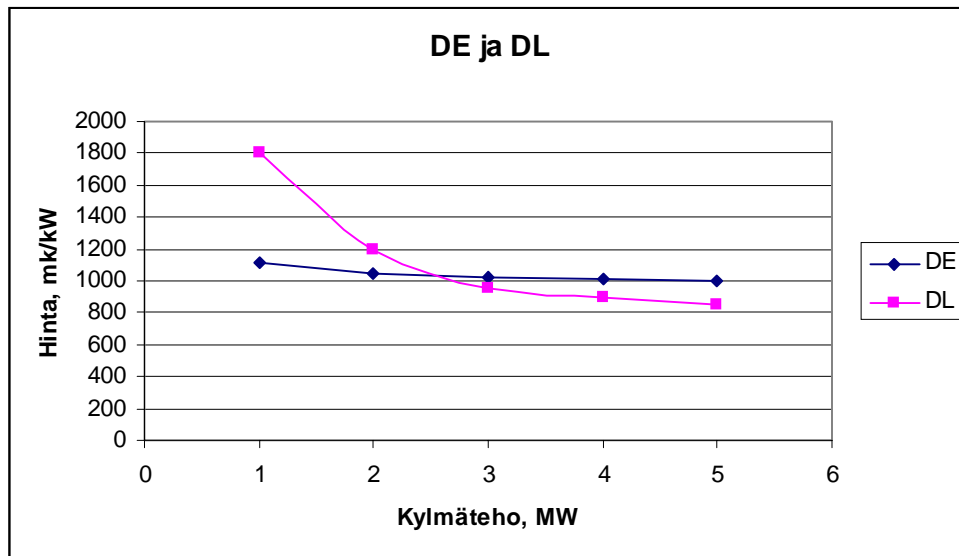
- käytettävissä oleva moottorikapasiteetti
- sähkön tuotantotarve ja vaihtelut
- kylmän tarve
- hukkalämmön muu käyttötarve
- kilpailutilanne (mm. tuotteiden hinta ja laitoksen toiminta- ja tuottokriteerit).

Seuraavassa tarkastellaan moottorivoimalaitoksen ja absorptiokylmälaitoksen kytkentä- vaihtoehtoja ja energiavirtoja sekä arvioidaan vaihtoehtojen kustannuksia. Ensinnä esitetään kustannusfunktiot, joihin investointien laskeminen perustuu siten, että kuvassa 60 ovat single effect -tyyppisten absorptiokoneiden yksikköhinnat, kun lämpö tuodaan 130 °C:n tai 90 °C:n lämpötilassa. Kuvassa 61 on double effect -tyyppisen absorptiokoneen hintakäyrä, kun lämpö tuodaan 8 baarin höyrynä (n. 170 °C), sekä double lift -tyyppisen koneen hintakäyrä. Kuvassa 62 esitetään jäähdytystornin ja siihen liittyvien putkistojen hinta-arvio.

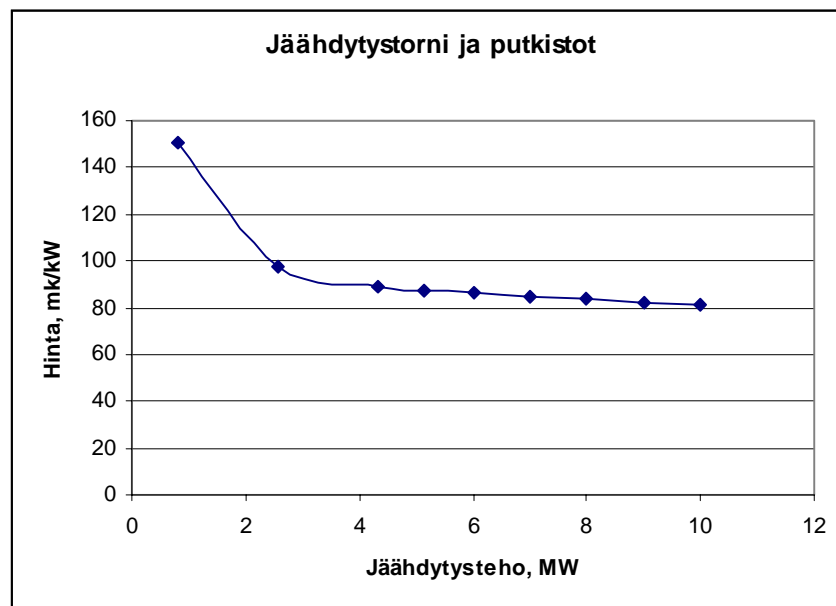


Kuva 60. Laskelmissa käytetyt single effect -tyyppisten absorptiokoneiden hinnat kahdella kuumavesienergiälähteen lämpötilalla.





Kuva 61. Laskelmissa käytetyt double effect ja double lift -tyyppisten absorptiokoneiden hinnat.



Kuva 62. Laskelmissa käytetyt jäähdytystornin, putkien ja pumppujen kokonaishinnat.

### KytKentä D1, DE+SE

Jos halutaan tuottaa kylmää mahdollisimman paljon ja kaikki voimalaitoksen hukka-  
lämpö on kokonaisuudessaan käytettävissä kylmän tuotantoon, käytetään sekä double  
effect että single effect -laitosta. KytKennän periaate on kuvassa 63. Pakokaasujen läm-  
mön talteenottokattilalla kehitetään 8 baarin höyryä, joka käytetään double effect

-tyyppisen absorptiokoneen lämmönlähteenä. Voimalaitosmoottorin HT-jäähdytyspiirin kuumavesi käytetään single effect -tyyppisessä absorptiokoneessa tulolämpötilan ollessa 90 °C. Molemmat absorptiokoneet ovat kaupallista tekniikkaa. Taulukkoon 21 on laskettu siirtyvät lämpötehot ja arvioitu kylmälaitteiston investointien määrä, kun voimalaitosmoottori on raskaspolttoöljyä käyttävä dieselkone 18V32. Integrointi tuottaa 4 MW kylmätehoa, jonka hinta on 1 150 mk/kW, joten investoinnin suuruus on 4,6 milj. mk.

*Taulukko 21. Vaihtoehdon D1 tehot ja kustannukset.*

D1 18V32	Voimalaitos		Kylmäkone			Jäähd.	Investointi		
	lämpö	teho kW	lämpö kW	COP	kylmä kW	teho kW	kylmä kmk	muu kmk	Yht.
Lämmönlähde									
Savuk.	8 bar	1 983	1 900	1,2	2 280	4 180	2 360		
HT-jäähd	90 C	2 530	2 500	0,70	1 750	4 250	1 589		
Yhteensä/k.a.		4 513	4 400	0,92	<b>4 030</b>	8 430	3 949	696	4 644
Invest., mk/kW									<b>1 152</b>

### Vaihtoehto D2, SE+SE

Tässä vaihtoehdossa on käytössä vain single effect -tyyppisiä absorptiokoneita (kuva 64). Toinen toimii 130 °C:n lämpöisellä tulovedellä ja toinen 90 °C:n tulovedellä. Edellisen yksikköhinta on edullisempi korkeamman lämpötilatason ansiosta. Taulukossa 22 on tehot ja kustannukset. Kylmätehoa saadaan yhteensä 3,1 MW ja sen hinta on 1 290 mk/kW eli investointi on yhteensä 4 milj. mk. Tässäkin vaihtoehdossa kaikki soveltuva jätelämpö käytetään kylmän tuottamiseen. Kylmän määrä on pienempi ja kylmän hinta on korkeampi kuin edellisessä vaihtoehdossa.

*Taulukko 22. Vaihtoehdon D2 tehot ja investointihinnat*

D2 18V32	Voimalaitos		Kylmäkone			Jäähd.	Investointi		
	lämpö	teho kW	lämpö kW	COP	kylmä kW	teho kW	kylmä kmk	muu kmk	Yht.
Lämmönlähde									
Savuk.	130 C	1 983	1 900	0,73	1 387	3 287	1 818		
HT-jäähd	90 C	2 530	2500	0,70	1 750	4 250	1 589		
Yhteensä/k.a.		4 513	4 400	0,71	<b>3 137</b>	7 537	3 406	639	4 046
Invest., mk/kW									<b>1 290</b>

### Vaihtoehto D3, yksi DE

Vaihtoehdossa käytetään kylmäntuotantoon pelkästään pakokaasujen lämpöä höyryn muodossa ja absorptiokoneena on double effect -tyyppinen laitos (kuva 65). HT-piirin lämpö käytetään muuhun tarkoitukseen tai johdetaan sellaisenaan jäähdytykseen. Taulukon 23 mukaisesti kylmäteho on 2,3 MW ja hinta 1 290 mk/kW sekä investoinnit 2,9 milj.mk. Kytkentä sopii tapauksiin, jossa tarvitaan suhteellisen paljon kylmää ilmastointiin ja lämpöä lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tai muuhun tarkoitukseen.

Taulukko 23. Vaihtoehtoon D3 laskelmat.

D4 18V32	Voimalaitos		Kylmäkone			Jäähd.	Investointi		
	lämpö	teho kW	lämpö kW	COP	kylmä kW	teho kW	kylmä kmk	muu kmk	Yht.
Lämmönlähde									
Savuk.	8 bar	1 983	1 900	1,20	2 280	4 180	2 360		
HT-jäähd	90 C	2 530				2 500			
Yhteensä/k.a.		4 513	1 900	1,20	<b>2 280</b>	6 680	2 360	578	2 938
Invest., mk/kW									<b>1 289</b>

### Vaihtoehto D4, yksi kuumavesi-SE

Tässä kytkennässä johdetaan savukaasut sellaisenaan ympäristöön tai niiden hukkalämpö käytetään muuhun tarkoitukseen (kuva 66). HT-jäähdytyspiirin lämmöllä tuotetaan kylmää SE-90-laitoksessa. Taulukon 24 mukaan saavutetaan 1,7 MW:n kylmäteho, jonka hinta on 1 120 mk/kW. Kokonaisinvestoinnit ovat 1,9 milj. mk. Tämä vaihtoehto on parhaimmillaan, kun pakokaasujen tuottama höyry tarvitaan esimerkiksi teollisuusprosessin käyttöön.

Taulukko 24. Vaihtoehtoon D5 laskelmat.

D5 18V32	Voimalaitos		Kylmäkone			Jäähd.	Investointi		
	lämpö	teho kW	lämpö kW	COP	kylmä kW	teho kW	kylmä kmk	muu kmk	Yht.
Lämmönlähde									
Savuk.	8 bar	1 983							
HT-jäähd	90 C	2 530	2 500	0,70	1 750	4 250	1 589		
Yhteensä/k.a.		4 513	2 500	0,70	<b>1 750</b>	4 250	1 589	371	1 960
Invest., mk/kW									<b>1 120</b>

### Vaihtoehto D5, SE/DL

Double lift -tyyppisen kylmäkoneen tavoitteena on alentaa lämmönlähteen jäähdytystä tavanomaiseen SE-laitokseen verrattuna. Tätä periaatetta soveltaen on ajatuksena, että sekä korkampilämpöinen että matalampilämpöinen vesi soveltuvat saman koneen lämmönlähteeksi (kuva 67). Tästä tavasta sovelletusta ei ole käsitelty kirjallisuudessa, eikä tässä yhteydessä ole tarkkoja tietoja COP:n arvosta tai laitoksen hinnasta. Taulukossa 25 on lähinnä arvailut arvot. Sen mukaan kylmäteho on 3 MW ja yksikköhinta 1 162 mk/kW kokonaisinvestoinnin ollessa 3,6 milj.mk.

Taulukko 25. Vaihtoehdon D5 laskelmat.

D6 18V32	Voimalaitos		Kylmäkone			Jäähd.	Investointi		
	lämpö	teho kW	lämpö kW	COP	kylmä kW	teho kW	kylmä kmk	muu kmk	Yht.
Lämmönlähde									
Savuk.	130 C	1 983	1 900						
HT-jäähd	90 C	2 530	2 500						
Yhteensä/k.a.		4 513	4 400	0,70	<b>3 080</b>	7 480	2 944	636	3 580
Invest., mk/kW									<b>1 162</b>

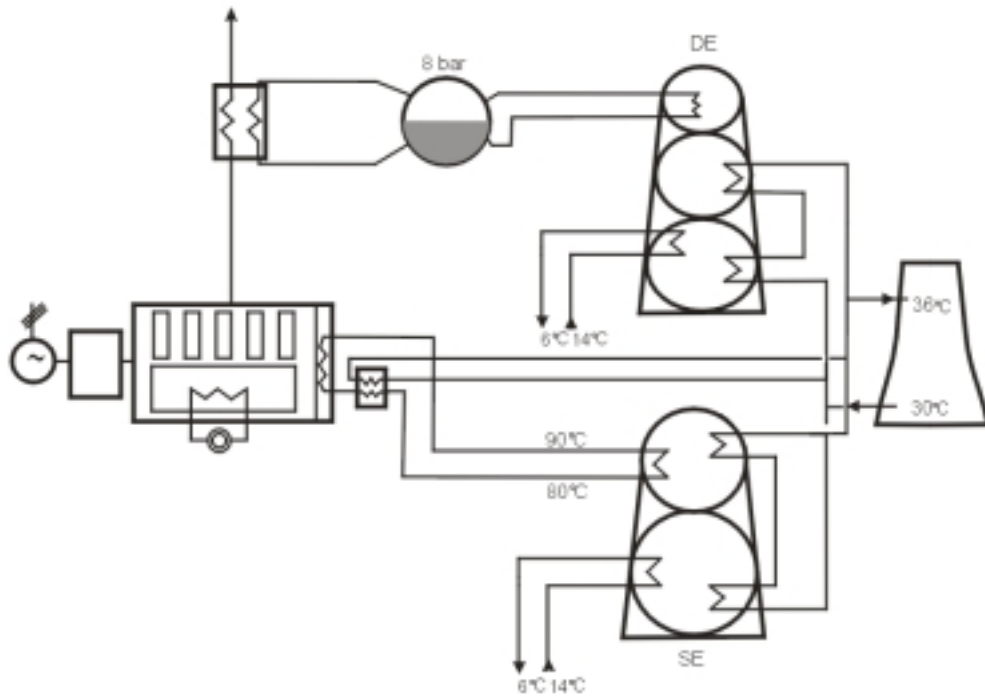
### Vaihtoehto D6, DE/DH

Double effect – dual heat -kytkennästä on vielä vähemmän käytettävissä toiminta-arvoja kuin edellisestä. Kysymyksessä on double effect -tyyppinen absorptiokone, jossa lämpöä tuodaan korkealämpötilakeittimeen ja lisälämpöä matalalämpötilakeittimeen, jossa myös edellisessä vaiheessa erottuneen vesihöyryn lauhtumislämpö käytetään hyväksi, siitä nimitys dual heat (kuva 68). Kytkennässä tuodaan siis molemmat lämpövirrat samaan koneeseen, mutta eri vaiheisiin, jolloin COP voi olla varsin hyvä. COP:n arvolla 1 saadaan laitoksesta 4,4 MW:n kylmäteho ja laitoksen hinnan arvio on 1 170 mk/kW sekä kokonaisinvestointi 5,1 milj. mk (taulukko 26).

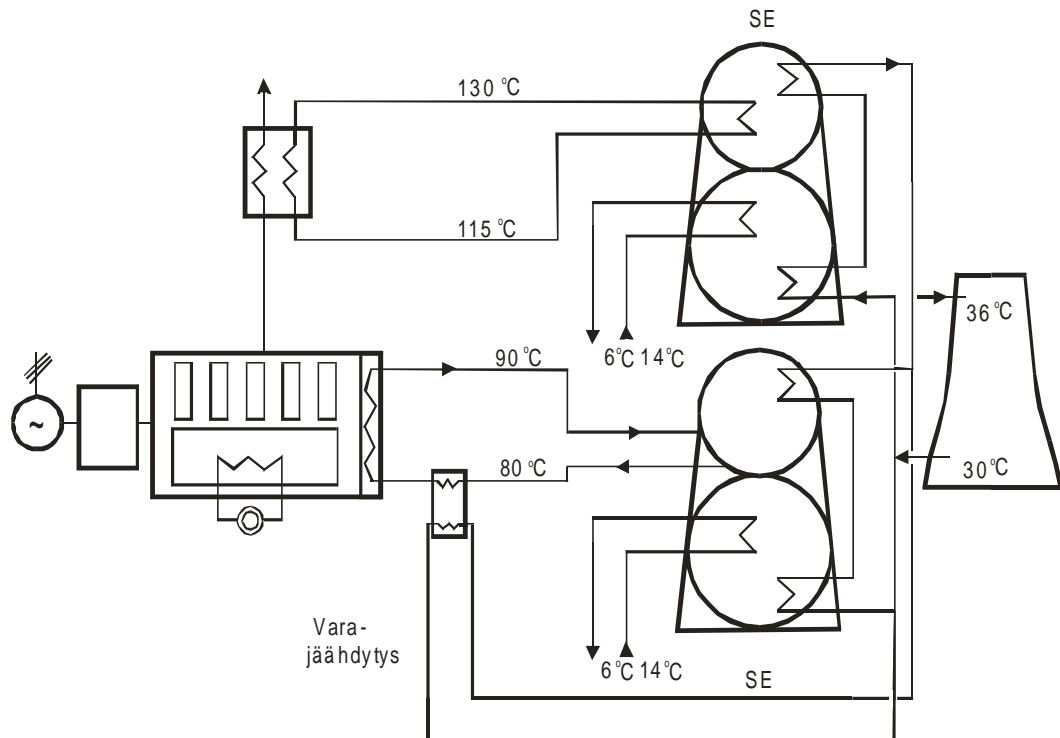
Taulukko 26. Vaihtoehdon D6 laskelmat.

D7 18V32	Voimalaitos		Kylmäkone			Jäähd.	Investointi		
	lämpö	teho kW	lämpö kW	COP	kylmä kW	teho kW	kylmä kmk	muu kmk	Yht.
Lämmönlähde									
Savuk.	8 bar	1 983	1 900						
HT-jäähd	90 C	2 530	2 500						
Yhteensä/k.a.		4 513	4 400	1,00	<b>4 400</b>	8 800	4 430	719	5 149
Invest., mk/kW									<b>1170</b>

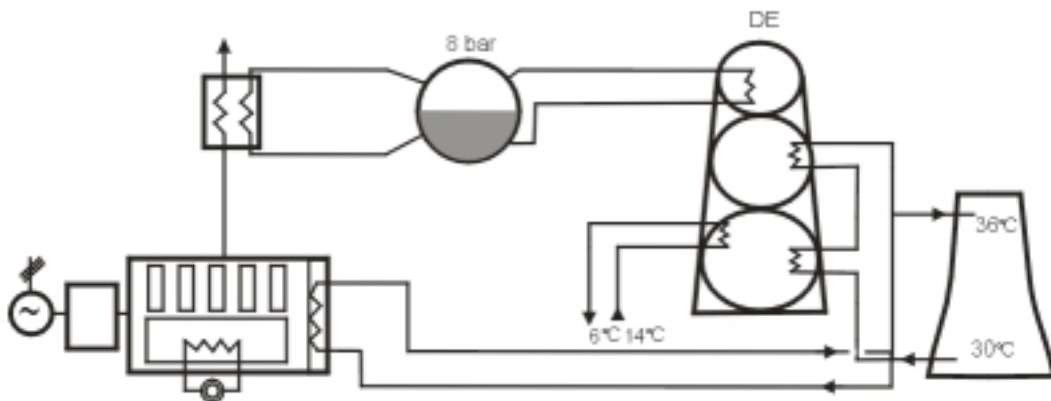
Käytännössä kytkentävaihtoehtojen valinta mutkistuu, jos moottorivoimalaitoksella tuotettavan sähkön tarve vaihtelee ja tällöin jäähdytys- ja pakokaasulämpöjen määrä myös vaihtelee. Kylmäntuotannon mitoitusteho voidaan suunnitella esimerkiksi HT-piirin lämpöenergian mukaan ja moottorin osakuormilla tuodaan absorptiolaitokselle lisälämpöä pakokaasuista.



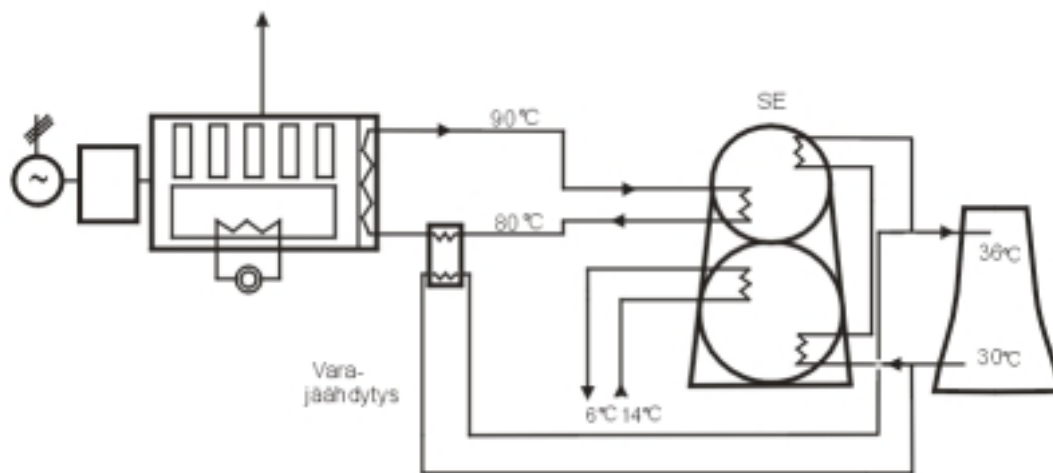
Kuva 63. Vaihtoehdon D1 kytkentäkaavio (DE- (höyry-)+SE-kylmälaitos)



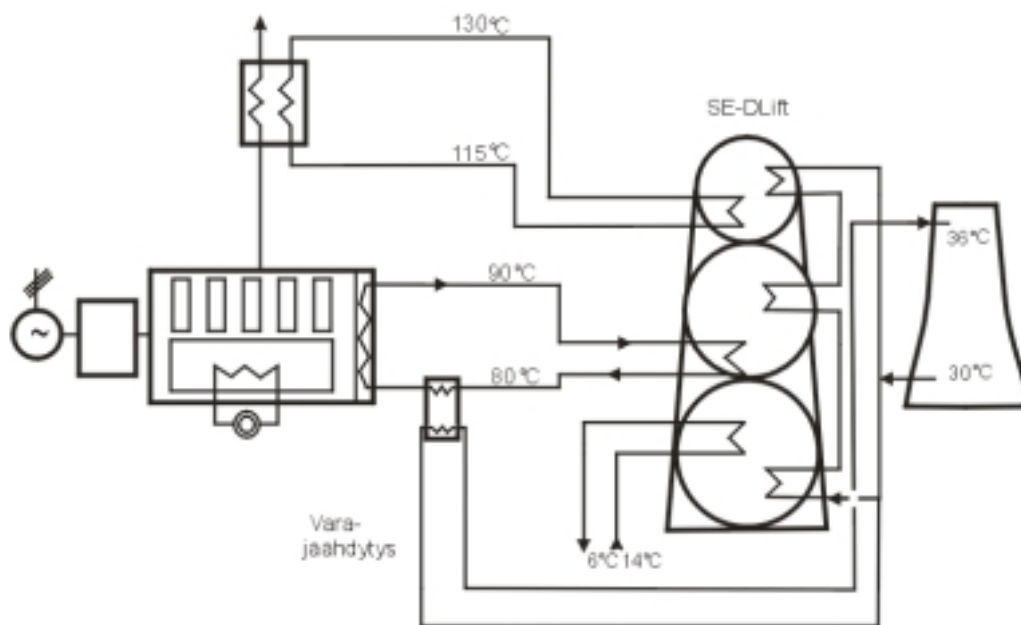
Kuva 64. Vaihtoehdon D2 kytkentäkaavio (SE-+SE-kylmälaitos).



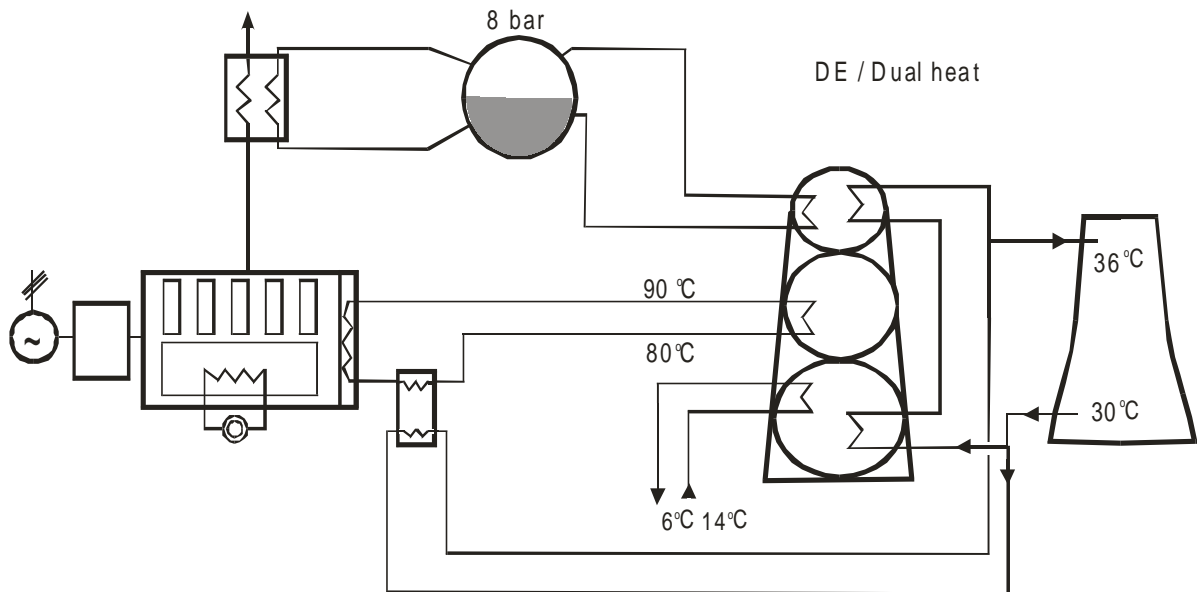
Kuva 65. Vaihtoehdon D3 kytkentäkaavio (DE-kylmälaitos).



Kuva 66. Vaihtoehdon D4 kytkentäkaavio (SE-kylmälaitos).



Kuva 67. Vaihtoehdon D5 kytkentäkaavio (SE-DL-kylmälaitos).



Kuva 68. Vaihtoehdon D6 kytkentäkaavio (DE–DH-kylmälaitos)

### 7.3 MSP:n energiataloudelliset vahvuudet

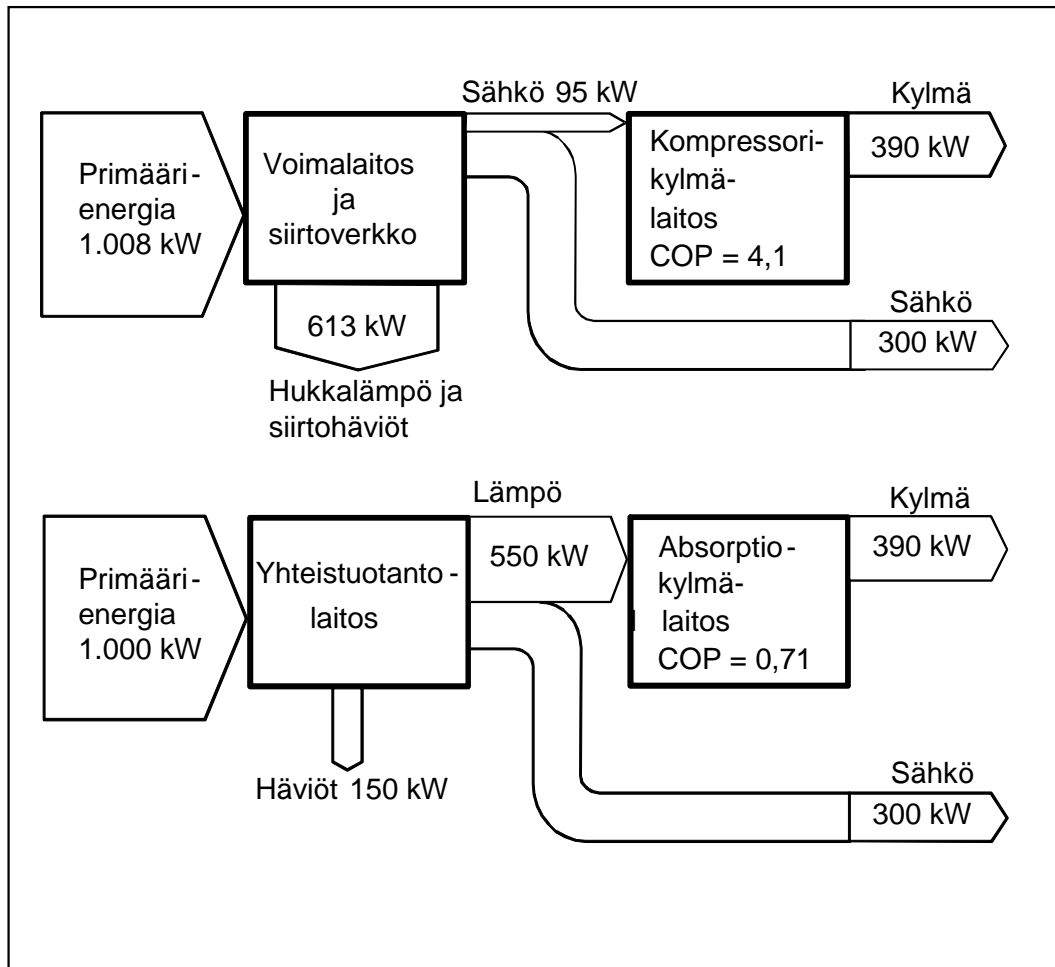
Moottorivoimalaitoksen ja absorptiolaitoksen integrointi voidaan toteuttaa joustavasti niin, että hyvin erilaisiin kulutustilanteisiin saadaan edullisesti tuotettua kylmää. Lisäksi MSP:llä voidaan tarvittaessa tuottaa myös lämpöä, lämmintä vettä, juomavettä jne. Energiataloudellisena vertailuna tarkastellaan seuraavassa kylmän tuottamista erillistuotannolla tuotetun sähkön ja vastapainelaitoksella tuotetun lämmön avulla sekä MSP-laitoksella.

Kuvan 69 diagrammissa oletetaan laitoksen sähkötehoksi 300 kW, kylmätehoksi 390 kW ja kompressorin COP-arvoksi 4,1. Sähkö tuotetaan lauhdelaitoksessa kokonaishyötysuhteen ollessa siirtohäviöt mukaan lukien 39 % (ylempi diagrammi). Tavanomaisessa vastapainelaitoksessa rakennusasteen (sähkötehon suhde tuotettuun lämpötehoon) oletetaan olevan 0,55 ja kokonaishyötysuhteen 85 %. Absorptiolaitoksen oletetaan olevan single effect -tyyppinen ja sen COP on 0,71. Primäärienergian tarve on molemmissa tapauksissa suunnilleen sama eli noin 1 000 kW. Yhteistuotanto ei siten tuo primäärienergian säästöä lauhdesähkö-kompressorivaihtoehtoon verrattuna. Molemmat vaihtoehdot voidaan käytännössä toteuttaa toisenlaisillakin ratkaisulla polttoaineesta riippuen: lauhdelaitoksen hyötysuhde voi olla korkeampi ja yhteistuotantolaitoksen rakennusaste korkeampi. Kehitysmaiden olosuhteissa ei usein kuitenkaan saavuteta edes kuvaan merkittyjä toiminta-arvoja.

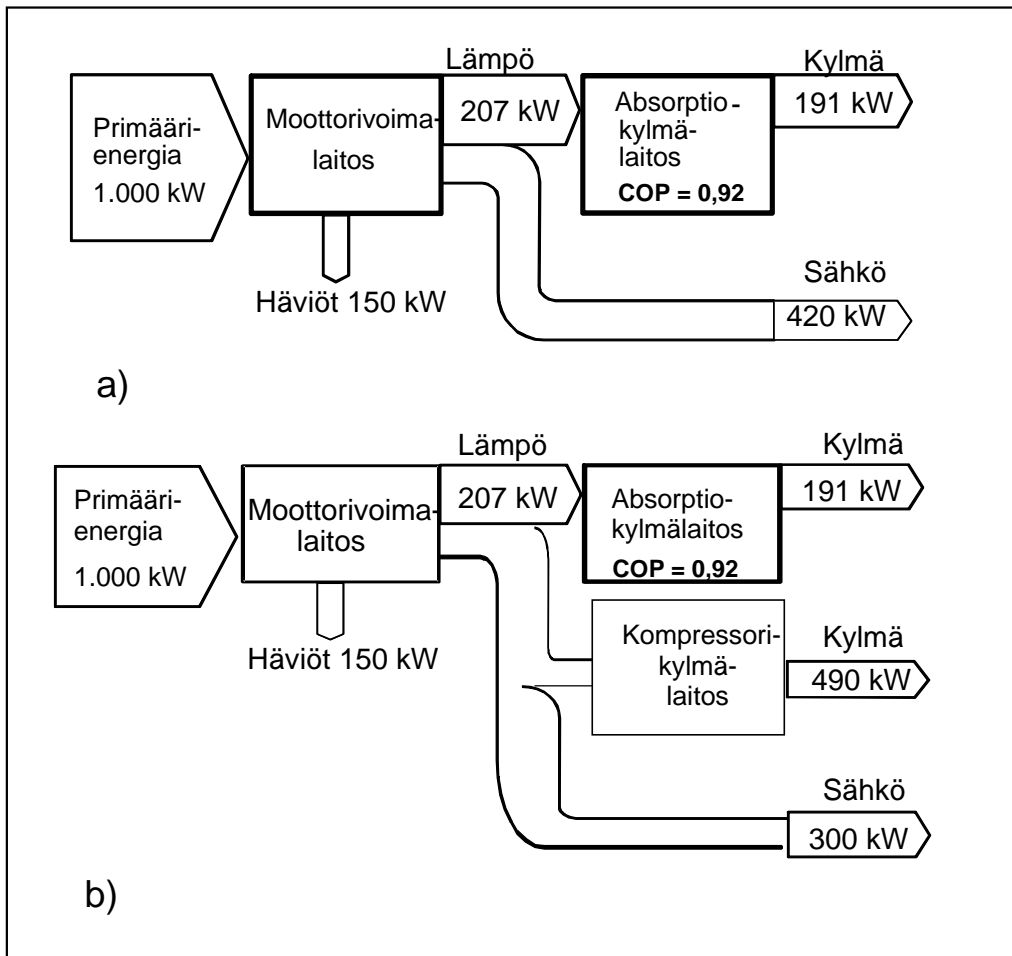
Verrattaessa MSP-laitosta edellisen tarkastelun vaihtoehtoihin todetaan moottorivoimalaitoksen sähköntuotannon hyötysuhteen olevan lauhdetuotantoon verrattuna korkeam-



pi, 42–45 %, ja vastapainetuotantoon verrattuna tarvittava lämpöenergia saadaan ilman primäärienergian lisäystä tai sähköntehon alentumista. Kuvan 70a mukaisesti 1 000 kW:n primäärienergialla saadaan MSP-laitoksessa 420 kW sähköä ja 191 kW kylmää. Kytkentä ja laitostyyppit ovat tällöin edellä esitetyn kuvan 63 mukaiset. Vertailun helpottamiseksi voidaan valita nettosähkötehoksi 300 kW ja käyttää vapautuva 120 kW kylmän tuotantoon kompressorilla (b-kuva). Tällöin kokonaiskylmäteho on 681 kW, mikä on 75 % enemmän kuin lauhde- ja vastapainevaihtoehtoissa.



Kuva 69. Lauhde- (ylempi diagrammi) ja vastapainevoimalaitoksen sekä kylmäkoneen toimintatehot.



Kuva 70. MSP: sähkö-kylmälaitoksen toimintatehot: a) täyssähköteho, b) täyskylmäteho, kun primäärienergia on n. 1 000 kW.

## 8. MSP:n markkinat

### 8.1 Markkinatilanne

Sähköä ja kylmää tuottavan MSP-laitoksen markkinamahdollisuuksia voidaan analysoida seuraavista näkökulmista: kylmän tarve, kilpailevat kompressorijärjestelmät, perinteiden vaikutus, muut yhteistuotantomuodot, ympäristölainsäädäntö, tehokkuusvaatimukset, kokemukset kylmäverkoista, energialainsäädäntö, polttoaineiden saatavuus ja sähkön markkinat.

Kylmän tarve rakennusten ilmastoinnissa voidaan karkeasti arvioida yksikkökulutuksen perusteella. Eurooppalaisissa olosuhteissa suuruusluokka on vuositasolla 40–100 kWh/m<sup>2</sup> kylmäenergiaa ja 80–120 W/m<sup>2</sup> kylmätehoa huipunkäyttöajan ollessa 500–1 200 tuntia vuodessa. Arabian niemimaalla ja Kaakkois-Aasiassa kylmätehon tarve on noin 150 W/m<sup>2</sup> ja huipun käyttöaika voi nousta 3 000 tuntiin vuodessa. Rakennusten lämmityksen ja muun lämmön tarve täydentää MSP:n ilmaislämmön hyödyntämistä niin, että myös pohjoisemmilla leveyspiireillä saavutetaan lämmölle korkea käyttöaste.

Kompressorilaitokset ovat teknisiltä ratkaisuiltaan yhteistuotantoon perustuvan MSP:n laitekilpailijoita. Kompressorit sopivat paremmin kiinteistökohtaiseen kylmäntuotantoon, koska sähkö voidaan helposti siirtää laitoksiin. Vastaavasti kaukokylmän siirtojonhon rakentamisen edellyttää sopivia olosuhteita. Käytäntö on osoittanut, että vanhoissakin kaupunkikeskuksissa voidaan rakentaa lämmön ja kylmän siirtojärjestelmiä. Uudisrakentamisen yhteydessä kaukokylmän rakentaminen on kuitenkin teknisesti helpompaa.

Rakentamisperinteet suosivat kompressoritekniikkaa erityisesti ei-teollistuneissa maissa. Tiedon puutteen ja asenteiden vuoksi valitaan perinteinen tekniikka, eikä kokonaistaloudellisuutta selvitetä yhteiskunnan tai edes yritystalouden näkökulmasta. Tällaisia maita ovat mm. Keski-idän öljyvaltiot. Myös Välimeren ympäryksissä perinteet määrittelevät teknisten ratkaisujen valintaa. Teollisuus voi kuitenkin helpommin valita uutta tekniikka; esimerkiksi Intiassa on runsaasti absorptiotekniikkaa käytössä ja myös oma valmistusta, samoin Etelä-Koreassa.

Kansainväliset ympäristösopimukset rajoittavat otsonikatoa aiheuttavien kylmäaineiden käyttöä, mistä on seurauksena vanhan kompressorikannan uusimistarvetta, kun haitallisista kylmäaineista luovutaan. Kompressoritekniikka sinänsä pystyy vastamaan tähän haasteeseen, mutta saneeraukset antavat mahdollisuuden absorptiokoneiden yleistymiselle. Kasvihuonekaasujen vähentämistarve ohjaa energian kulutuksen vähentämiseen ja tätä ohjausta käytetään mm. investointien rahoitusten myöntämisessä. MSP-laitoksessa voidaan jätelämmön hyödyntämisellä saavuttaa myönteisiä ympäristövaikutuksia.

Kylmäntarpeen ja sähkön huippukulutuksen samanaikaisuus lämpimien ilmastojen maissa aiheuttaa lisäkustannuksia kompressorilaitoksien käyttäjille sähkötariffien muodossa sekä yhteiskunnalle energiahuollon lisäkustannuksia ja sähkön käyttäjille epäluotettavampaa sähkön saatia. Sähkön käyttöä pyritään ohjaamaan, jotta voidaan hallita tuotannon ja siirron kapasiteetin rakentamista ja välttää huonolla hyötysuhteella toimivien tuotantolaitosten käyttöä. MSP-laitos vastaa hyvin näihin tavoitteisiin.

Toimintojen eriyttäminen ja erikoistuminen pääliiketoimintaan vahvistaa kylmän tuotteistumista. Kylmä on tuote, joka voidaan ostaa kylmätuottajalta. Lisääntyvä kylmän kysyntä mahdollistaa kaukokylmäverkkojen rakentamisen ja keskitetyn energiantuotannon.

## **8.2 MSP:n soveltumiskohteet**

### **8.2.1 Hajautetun energiantuotannon kohteet**

Hajautetun energiantuotannon kohteita on kahdenlaisia: ne voivat olla etäällä muista asunto- tai liiketoiminta-alueista tai ne voivat sijaita suurkaupungin keskellä.

Eristyneistä kohteista esimerkkeinä voivat olla lentokenttäalueet, eräät turistikohteet ja muut harrastuskohteet, teollisuuslaitokset, saaristossa olevat yhdyskunnat, isot sairaalat jne. Erillisen tuotantoyksikön rakentaminen voi olla välttämätöntä tai muuten kannattavaa verrattuna siirtojohtojen rakentamiseen. MSP-laitos on edullinen ratkaisu näiden kohteiden sähkön lämmön ja kylmän kysynnän tuottamiseen.

Suurkaupungeissa hajautettua energiantuotantoa voi olla esimerkiksi suurissa toimistorakennuksissa ja liikelaitoksissa tai kauppakeskuksissa liiketaloudellisista syistä johtuen. Esimerkkinä ovat mm. EU:n hallinnolliset rakennukset Brysselissä tai kansainväliset liikelaitokset Kaukoidän pääkaupungeissa. Harvinaista ei ole, että suurkaupunkien energianhuoltojärjestelmä on puutteellinen ja epäluotettava ja vain omilla laitoksilla voidaan varmistaa sähkön ja muiden energiatuotteiden saanti. Nykyaikaiset MSP-laitokset voidaan sijoittaa suurten rakennusten yhteyteen ilman merkittäviä pakokaasujen tai melun aiheuttamia haittavaikutuksia.

Teollisuuslaitosten energianhankinnan tärkeimpinä valintakriteereinä voivat olla luotettava ja riippumaton sähkön, lämmön ja kylmän saanti. Kehitysmaissa näiden kriteerien toteutuminen ei ole todennäköistä julkisen sektorin järjestelmien avulla, mutta esimerkiksi Saksassa uuden teknologian tehtaissa on päädytty oman MSP-laitoksen hankintaan.

## 8.2.2 Kaukokylmäjärjestelmä

Kaukokylmäjärjestelmä, jossa kylmäenergia tuotetaan keskitetysti ja siirretään verkoston kautta kuluttajille, tarjoaa hyvät olosuhteet MSP-laitokselle. Kaukokylmän tuottaminen on muodostunut itsenäiseksi liiketoiminnaksi useassa maassa ja toiminta on nopeasti laajenemassa. Järjestelmän kylmäteho on normaalisti useita megawatteja mutta voi olla kymmeniäkin, jolloin MSP-tapauksessa useamman moottorin voimalaitoksen hukkalämmölle on käyttöä. Kylmän siirtojohtojen putkihalkaisijan kokorajoitukset edellyttävät suurissa järjestelmissä useampia tuotantopisteitä tai verkoston jakamista osiin. MSP-laitos on helposti hajautettavissa eri kohteisiin joko sijoittamalla moottoriyksiköt ja absorptiokoneet kylmäverkon varrelle tai sijoittamalla vain absorptiokoneet sopiviin paikkoihin ja johtamalla niille tarvittava lämpöenergia kaukolämpönä.

Kaukokylmätapauksissa voidaan MSP-laitos rakentaa myös hybridilaitoksena, jossa kylmää tuotetaan absorptiokoneilla ja moottoriin liitettyllä turbokompressorilla ja mahdollisesti myös sähkökäyttöisellä kompressorilla. Erilaisilla kylmälaitosyhdistelmillä saavutetaan kaikille kuormitusilanteille sopiva tuotantoyhdistelmä. Kaukokylmäjärjestelmään liitetään usein myös kylmävaraaja, joka osaltaan parantaa taloudellisuutta ja lisää toimitusvarmuutta.

## 8.2.3 Maantieteellinen ja yhteiskunnallinen näkökulma

MSP-laitokselle on hyvät käyttöedellytykset sekä trooppisissa maissa että lauhkean ilmaston alueilla. Lähempänä päiväntasaajaa muodostaa ympärivuotinen kylmän tarve riittävän kuorman tuotantolaitokselle ja viileämmillä alueilla, joissa kylmän tarvetta on lähinnä kesällä, rakennusten lämmittämiseen tarvittava energia täydentää MSP:n lämmön käyttöä.

Yhteiskunnalliset olosuhteet ja alueiden infrastruktuurin kehittyneisyys vaikuttavat eri tavoin MSP:n mahdollisuuksiin. Perinteisesti moottorivoimalaitoksia rakennetaan paljon maihin, joissa on kehittymätön energianhuoltojärjestelmä ja joissain maissa myös epävakaa yhteiskunnalliset olot. Näissä alhaisten tuotantokustannusten maissa on paljon teollisuutta ja suuria toimistorakennuskeskittymiä, jotka tarvitsevat sähköä, lämpöä ja kylmää. Oma ryhmänsä ovat vauraat öljyvaltiot Keski-idässä, joihin myös rakennetaan moottorivoimalaitoksia. Näissä maissa on kylmän tarvetta, kun oleskelu- ja työkentelytiloja pidetään lämpötilaltaan viihtyisinä. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon etuja pyritään myös näissä maissa yhä enemmän käyttämään hyväksi.

Aurinkoturismikohteiden rakentaminen lisääntyy voimakkaimmin kehitysmaissa, kuten Egyptissä ja muissa Arabimaissa, Keski-Amerikassa sekä Etelä- ja Kaakkois-Aasiassa. Luotettavien turistipalveluiden tarjoamiseksi rakennetaan turistikohteita varten erillisiä

energia- ja vesijärjestelmiä. MSP-laitos pystyisi täyttämään sähkön, lämpimän veden, käyttöveden ja kylmän saantiin liittyvät vaatimukset.

Elintarvikkeiden tuotantoprosessiin liittyy jäähdyttäminen ja kylmä- tai viileävarastointi. Lämpötilat ovat useimpien kasvituotteiden varastoissa nollan yläpuolella, joten absorptiokylmäkone soveltuu hyvin kylmän tuottamiseen. Pakastuslämpötiloja vaadittaessa voidaan moottorivoimalaitosten pakokaasujen lämmöllä käyttää ammoniakki-absorptiokonetta ja saavuttaa hyvinkin alhaiset kylmälämpötilat.

Kehitysmaissa moottorivoimalaitoksia käytetään runsaasti teollisuuslaitosten sähkön hankinnassa. Teollisuusprosesseihin liittyy usein kylmän tarvetta joko varsinaista tuotantoa varten työskentelytilojen jäähdyttämiseksi. Absorptiokoneiston avulla voidaan helposti peittää kylmän tarve luotettavasti ja riippumattomasti.

## 9. Yhteenveto

Kaupallisena tuotteena kylmä on ollut markkinoilla toistakymmentä vuotta, joka tapauksessa selvästi lyhyemmän aikaa kuin sähkö tai kaukolämpö. Kylmää on tosin voitu käsitellä tuotteena esimerkiksi teollisuuslaitoksissa, joissa on eriytetty tuotantopanoksista vastaavat sektorit, esimerkkinä energiasektori. Kylmäntuotantoa sen sijaan on ollut yli sata vuotta.

Nykyisin vallitseva yhteiskunnallisten toimintojen sektoroituminen, kuten tuotannon ja palveluiden sektoroituminen, toimintojen eriyttäminen ja yksityistäminen, tuotantopanosten ostaminen ulkopuoliselta sekä kustannusvastaavuuden vaatimus, energian tehokkaampi käyttövaatimus ja ympäristövaikutusten vähentäminen luovat myös kylmälle kasvavia markkinoita. Kylmää tarvitaan yhä enemmän ilmastoinnissa työ- ja oleskelutilojen mukavuuden parantamiseksi ja lisääntyvän sisäisen lämpökuorman eliminoimiseksi. Perinteisesti kylmää on tarvittu elintarvikeketjuissa laadun ylläpitämiseksi. Nykyisin vapaa-ajantoimintoihin liittyy entistä enemmän kylmän tarvetta, kuten jää- ja hiihtourheilulajeissa. Teollisuusprosessit voivat tuottaa lämpöä, joka varsinkin kesäaikaan joudutaan jäähdyttämään. Eräät uudet tuotantoprosessit vaativat hyvin tarkkaan ohjatut olosuhteet, jolloin lämmön eliminoiminen kylmällä on välttämätöntä. Myös asuinrakennuksissa käytetään jäähdytystä olosuhteiden ja varallisuuden mukaan. Tuotetun kylmän pääkohteita ovat tilastojen mukaan toimistotyyppiset rakennukset, ostoskeskukset ja muut suuret kauppakeskukset, hotellit, vapaa-ajan tai muut yleisökeskukset ja teollisuus.

Perinteisempi tapa tuottaa kylmää ovat sähkökäyttöiset kompressorit. Markkinoille pyrkivä tuotantotapa ovat lämpöä käyttävät absorptiolaitokset. Absorptiolaitosten käyttöenergia voi olla suoraan polttoainetta, lähinnä maakaasua, kattilalaitoksen tuottama lämpö, yhteistuotantolaitoksen lämpöä tai jätelämpöä. Verrattaessa pelkästään primäärienergian kulutusta absorptiokoneet eivät juurikaan tuota etua kompressorilaitoksiin verrattuna. Myöskään ympäristövaikutukset eivät olennaisesti parane absorptiokoneen avulla. Tämä johtuu absorptiolaitosten moninkertaisesta energiatarpeesta kompressorilaitoksiin verrattuna. Poikkeuksena ovat kuitenkin tilanteet, joissa jätelämpö voidaan saada käyttöenergiaksi. Tällöin primäärienergian tarve ei kasva ja kylmä voidaan tuottaa alle sadankin asteen lämpötilaisella jätelämmöllä.

Taloudellisessa vertailussa absorptiolaitoksella on useita etuja kompressorikoneeseen verrattuna, usein kuitenkin ulkoisista olosuhteista riippuen: Yhteistuotannossa lämpöenergian hinta on edullisempaa ja jätelämpö lähes ilmaista. Koska lämmön tarve on absorptiokoneilla suuri, ilmainen lämpö tuottaa edullisemmin kylmää kuin kompressorikoneet. Laitteiden käyttöikä on pitempi ja varaosien tarve on pienempi kuin kompressorikoneilla. Osakuormalla ajaminen on edullisempaa absorptiokoneilla, mistä on hyötyä

pienehköjen huipputehon käyttöaikojen kohteissa. Sähkön hinta vaikuttaa kompressorikoneiden tuottaman kylmän hintaan, ja erityisesti ns. sähkön huippukulutuksen aikainen hinta voi olla jopa moninkertainen yöaikaiseen hintaan verrattuna. Sähkön kulutushuippu muodostuu Etelä-Euroopassa ja sitä lämpimämmän ilmaston maissa kesäaikana ja iltapäivällä, jolloin myös kylmän tarve on suurimmillaan. Absorptiolaitos onkin tehokas sähkön kulutushuipun leikkaaja ja kustannusten säästäjä. Kylmävaraajan avulla voidaan tosin peittää kylmän huippukulutusta, ja niiden käyttö onkin hyvin edullista mutta varauskyky on kuitenkin melko pieni päiväaikaan kulutukseen verrattuna. Absorptiokoneiden suurimpana ongelmana ovat korkeat investointikustannukset varsinkin, jos kylmänsiirtoverkko on pitkä ja sen kapasiteetti aloitusvaiheen jälkeen useitakin vuosia vajaakäytössä.

Kylmän tuotteistumisen myötä kaukokylmä on laajentumassa useampiin maihin. Kaukokylmällä tarkoitetaan kylmän tai sen tuottamiseen tarvittavan lämmön tuottamista keskitetysti yleensä voimalaitoksen yhteydessä. Energian siirtoa varten tarvitaan siirtojärjestelmä. Järjestelmä on pitkälti samanlainen kuin kaukolämmössä. Pienemmän jäädytyksen eli meno- ja paluulämpötilan erotuksen vuoksi kaukokylmän siirtoverkkojen halkaisija tulee helposti yli metrin suuruiseksi, mikä johtaa teknisten vaikeuksien vuoksi teholtaan pienempiin siirtojärjestelmiin kuin kaukolämpöjärjestelmissä. Lämpötilatasojen erilaisuudesta johtuen jännitys- ja korroosiorasitukset ovat kaukokylmäjärjestelmässä pienempiä kuin kaukolämpöjärjestelmässä, joten kehittämällä optimaalinen kaukokylmälaitteisto, voidaan kustannuksia alentaa nykyiseen kaukolämpötekniikkaan perustavaan rakentamiseen ja käyttöön verrattuna. Eniten kaukokylmäjärjestelmiä on Yhdysvalloissa, Japanissa, Ranskassa ja Ruotsissa. Kiinteistökohtaisia absorptiokylmälaitoksia on runsaasti Saksassa. Suomessa on tällä hetkellä neljä kaukokylmälaitosta, joista kolme toimii absorptiolaitteilla. Lisäksi yksi absorptiolaitos toimii kirjapainon yhteydessä. Suomessa on laajemminkin kaukokylmän rakentamissuunnitelmia, ja kylmän tuotteistamisen myötä se vallannee markkinoita kiinteistökohtaisilta kompressorilaitoksilta.

Lämpötilaltaan alle nollan asteen olevaa kylmää tai varsinaista pakastuskylmää voidaan myös tuottaa absorptiolaitoksilla. Kylmäaineena on tällöin ammoniakki. Näiden laitosten energiahyötysuhde on alhaisempi kuin komfort-kylmää tuottavien vesilitiumbromidi-absorptiolaitosten, joten kannattavuussyistä lämpöenergian tulisi olla ns. jätelämpöä.

MSP (Multi Supply Plant) -laitoksella, joka muodostuu moottorivoimalaitoksesta ja absorptiolaitoksesta, on erinomaiset mahdollisuudet tuottaa sähköä ja kylmää edullisesti ja ympäristöystävällisesti. Moottorivoimalaitoksesta saadaan käyttökelpoista lämpöä sekä vaipan jäädytyksestä että pakokaasujen lämmöntalteenotosta. Kytkeämahdollisuudet ovat monipuoliset ja kylmän tarpeeseen helposti sopeutuvat. Jätelämmön käyttö myös



muihin tarkoituksiin voidaan toteuttaa joustavasti: jos muu käyttö edellyttää höyryn käyttöä, voidaan kylmä tuottaa moottorin jäähdytyslämmöllä jne. Kylmätehon suuruus voi olla enimmillään noin 60 % sähkötehosta. Osakuormalla toimiva kylmälaitos ei aiheuta ongelmia sähköntuotannolle, koska moottorijäähdytyksen ylimääräinen hukkalämpö voidaan siirtää jäähdytystorniin ja pakokaasujen lämpö johtaa pakokaasujen mukana ympäristöön. Jos voimalaitos toimii osateholla osan aikaa, voidaan absorptiolaitteita mitoittaa esimerkiksi pakokaasujen nimellistehon mukaan ja sähkön osakuormalla käytetään lisäksi moottorin jäähdytyslämpöä kylmän tuottamiseen.

Moottorivoimalaitos voidaan sijoittaa lähelle kylmän kulutuskohdetta, jolloin siirtojohdon rakentamisesta aiheutuu vähemmän kustannuksia kuin normaalissa voimalaitosratkaisussa. Moottorivoimalaitoksen ja absorptiolaitoksen yhteiskäyttö voidaan integroida ja automatisoida niin, että kylmäntuotanto ei aiheuta lisämiehityksen tarvetta. Useista kytkentävaihtoehdoista valiten saadaan kokonaisuus, joka sopii kussakin tapauksessa vallitseviin olosuhteisiin. Useimmissa kytkentävaihtoehdoissa absorptiolaitos on vakiintunutta tekniikkaa, mutta joissakin vaihtoehdoissa pitää suorittaa tarkempi suunnittelu ja mahdollisesti pilottilaitoksen rakentaminen toiminta-arvojen määrittämiseksi.

MSP:n markkinat ovat alueeltaan maailmanlaajuiset. Sähköä ja kylmää tarvitaan niin päiväntasaajan alueella kuin lauhkeilla ilmastohyöhykkeillä. Esimerkiksi Tukholmassa on kaukokylmän tuotantotehoa 200 MW. Moottorivoimalaitosten rakentamistilastojen ja kylmäntarpeen astepäiväluvun perusteella MSP:n potentiaaliset päämarkkinat ovat Kravun kääntöpiirin alueella Arabimaissa, Etelä- ja Lounais-Aasiassa, Keski-Amerikassa ja Yhdysvaltojen eteläosissa. Infrastruktuurin kehittymättömyys lisää hajautetun sähköntuotannon kilpailuasemia, ja absorptikoneella tuotettavan kylmäntuotannon liittäminen moottorivoimalaitokseen tuottaa teknisesti ja taloudellisesti edullisen ratkaisun suurten toimisto- ja liikerakennusten ilmastointien hoitamisessa ja turisti- ja hotellitilojen tarvitseman kylmän tuottamisessa. MSP-laitoksen tuotteita voivat olla sähkö ja kylmän ohella lämmitysenergia ja tislattu vesi, jolloin riippumattomuus ja monipuolisuus edelleen korostuvat. Tämän lisäksi kaukokylmän voidaan olettaa lisääntyvän edelleen korkean teknologian maissa, kuten Ranskassa, Saksassa, Isossa-Britanniassa ja myös muissa Euroopan maissa. Myös teollisuuden tarve varmistaa luotettava ja riippumaton sähkönhankinta ja edullinen kylmäntuotanto ovat osoittaneet moottorivoimalaitoksen ja absorptiolaitoksen edut.

## Lähdeluettelo

AGFW 2000. Pluralistische Wärmeversorgungen, Zeithorizont 2005. AGFW-Studie ([www.agfw.de](http://www.agfw.de)). AGFW. 660 s.

Ahola, P. 1998. Integrated District Heat Driven Absorption Cooling with Combined Heat and Power. Espoo: Helsinki University of Technology. 89 s. (Master's Thesis.)

Ahola, P. 1999. Cost-effective cooling with heat driven absorption – New possibilities for CHP companies. Euroheat & Power-Fernwärme International 9, s. 12–19.

Arun, M., Maiya, M., Murthy, S. 2000. Equilibrium low pressure generator temperatures for double-effect series flow absorption refrigeration systems. Applied Thermal Engineering 20, s. 227–242.

ASUE 1999. Grundlagen der Absorptionskälteerzeugung. Umweltschonende Kälteerzeugung – Absorptionskälte in der Praxis. Asue. (<http://www.asue.de>.)

Berlitz, T., Satzger, P., Summerer, F., Ziegler, F., Alefeld, G. 1999. A contribution to the evaluation of the economic perspectives of absorption chillers. International Journal of Refrigeration 22, s. 67–76.

Bogaert, G. 2000. Adsorption refrigerator uses low-temperature waste heat. CADDET Energy Efficiency Newsletter Article. [http://www.caddet-ee.org/nl\\_html/001\\_02.htm](http://www.caddet-ee.org/nl_html/001_02.htm). 5 s.

Chua, H., Toh, H., Malek, A., Ng, K., Srinivasam, K. 2000. A general thermodynamic framework for understanding the behaviour of absorption chillers. International Journal of Refrigeration 23, s. 491–507.

Cordoba, J., Macias, M., Espinosa, M. 1998. Study of the potential savings on energy demand and HVAC energy consumption by using coated glazing for office building in Madrid. Energy and Building 27, s. 13–19.

Costa, J., Ferreira, J. 1999. The new trigeneration power plant and district heating & cooling network at the EXPO'98. Power-Gen Europe 1999. Power Engineering International.

DEMLOCS 2000. District Cooling, a Thermie Demonstration project. <http://www.demlocs.net>.

- Ek, M. 2000. Kaukolämpöjäähdytyksen mahdollisuudet Tampereella. Tampereen teknillinen korkeakoulu. 75 s. (Diplomityö.)
- Ekono 1998. Kylmäenergian taloudelliset tuotantovaihtoehdot – Suomalaisten kilpailukyky. Espoo: Energia-Ekono. 74 s. (60Y00970-Q060-012.)
- ENTROPIE 2000. Cooling by Absorption – Refrigeration units, Heat pumps. Laitevalmistajan tuotejulkaisu. <http://www.entropie.com>: WEIR. 8 s.
- Gujral, P., Clark, R., Jalayerian M. 1987. Utilization of thermal and geometric modeling in the design of the environmental systems for an Asian Development Bank building – Manilla. Far East Conference on Air Conditioning in Hot Climates. Singapore. 382 s.
- Hasnain, S. 1998. Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part II: Cool thermal storage. Energy Conversion Management, Vol. 39, No. 11, s. 1139–1153.
- Hassid, S., Santamouris, M., Papanikolaou, N. 2000. The effect of the Athens heat island on air conditioning load. Energy and Building, 32, s. 131–141. )
- Hawladar, M., Bong, T., Mahmood, W. 1987. Bin weather data for Singapore. Far East Conference on Air Conditioning in Hot Climates. Singapore: 382 s.
- Herold, K., Radermacher, R., Klein, S. 1996. Absorption Chillers and Heat Pumps. New York: CRC Press. 286 s. ISBN 0-8493-9427-9
- IEA 2000. District Heating and Cooling in Future Buildings. IEA District Heating and Cooling, Summary of Research Activities 1996–1999. Amsterdam: NOVEM. (2000:T7.)
- Kazumichi, A., Bannai, M. 1990. Energy Efficient District Heating and Cooling System for Shinjuku Area. Hitachi Review, Vol. 39, No. 6, s. 367–372.
- Langreck, J. 2000. Cogen-absorption plants for refrigeration purposes and turbine air inlet cooling. Cogeneration and On-site Power Production. London: James & James Ltd. S. 46–49. (Issue 2, March–April 2000.)
- Lilly, D. 1998. Analysis and performance of gas-electric hybrid chiller systems. Georgia Institute of Technology. (<http://www.me.gatech.edu/energy/beth/index.html>.)
- Merz, S. 1999. Multiple Products with CO<sub>2</sub> Capture: Power & Thermal Energy. IEA Greenhouse gas R&D programme. IEA. 170 s. (PH3/6.)

Noeres, P., Halder, D., Althaus, W., Czyzewski, D., Grosa, H. 1999. Moglichkeiten und Grenzen der Fernwarme-Kaltes-Kopplung. Euroheat & Power – Fernwarme International. EUROHEAT & POWER 9, s. 20–31.

Schwenger, J., Wilckens, C., Schneider, M. 2000. Kraft-Warme-Kaltes-Kopplung am Beispiel der integrierten Energieversorgung des Flughafens Koln/Bonn – Konrad Adenauer. Euroheat & Power – Fernwarme international. EUROHEAT & POWER 11, s. 26–30.

Smith, D. 2000. IPP feeds faultless power, heat and chilling to AMD's plant. Modern Power Systems. (Germany supplement.)

Summerer, F. 1996. Evaluation of absorption cycles with respect to COP and economics. International Journal of Refrigeration, Vol. 19, No. 1, s. 19–24.

Takigawa, T. 1998. Two-stage absorption cycle chiller. Workshop Proceedings, Absorption Machines for Heating and Cooling in Future Energy Systems. IEA/OECD, Heat pump programme. S. 157–163. (Annex 24, Report No. HPP-AN24-2.)

Tomimori, K., Sakai, M., Kawasaki, S. 1990. World-Class District Heating and Cooling Plant for the New Shinjuku Area. Hitachi Review, Vol. 39, No. 39, s. 129–134.

Tozer, R., James, R. 1998. Heat powered refrigeration cycles. Applied Thermal Engineering 18, s. 731–743.

Vadrot, A., Delbes, J. 1999. District Cooling Handbook, a survey of techniques, equipment and choice of system. 2nd edition. European Commission, Thermie Programme. 208 s.

Valta, P. 2001. Suullinen tiedonanto. Lahti Energia Oy.

Westin, P. 1998. Fjarrkyla. Teknik och kunskapslage 1998. Forskning och Utveckling. 192 s. (FOU 1998:28.) ISBN 1402-5191

YORK 2000. YIA Single-Effect Absorption Chillers. Laitevalmistajan tuotejulkaisu. YORK International. 55 s. (FORM 155.16-EG1.)

ZAE 1999. Energiekonzept Flughafen Bangkok 2. [www.zae.physik.tu-muenchen.de](http://www.zae.physik.tu-muenchen.de).

ZAE 1998. Energiekonzept Flughafen Munchen. <http://www.zae.physik.tu-muenchen.de>. ZAE Bayern.



Tekijä(t) Ranne, Aulis			
Nimeke <b>Multi Supply Plant</b> <b>Sähkö ja kylmä</b>			
Tiivistelmä MSP (Multi Supply Plant) -laitoksen tuoteideana on muodostaa integroitu laitos, joka tuottaa sähköä ja kylmää ja mahdollisesti lisäksi lämpöä, prosessihöyryä, tislattua vettä tms. hyödykettä niissä kohteissa, joissa sähkö tuotetaan moottorivoimalaitoksella ja muut tuotteet voimalaitoksen jätelämmöllä. Tässä tutkimuksessa keskityttiin sähkön ja kylmän tuottamiseen MSP-laitoksella. Kylmän tuottamiselle on kasvava tarve, kun sisätilojen olosuhteille asetetaan yhä suurempia vaatimuksia tehokkaan työskentelyn tai viihtyvyyden lisäämiseksi. Myös monet uuden teknologian laitteet vaativat valmistus-, testaus- ja käyttövaiheessaan tarkasti säädeltyjä olosuhteita, mikä edellyttää ilman jäähdytystä. Perinteisten kylmän käyttökohteiden elintarvike- yms. ketjuissa arvioidaan myös lisääntyvän. Maantieteellisesti kylmän tuottamisen tarve on suurimmillaan suurkaupungeissa, jotka sijaitsevat trooppisessa ilmastossa, mutta kesäaikainen auringonsäteily aiheuttaa esimerkiksi jo Helsingin tasolla sisäilman jäähdytyksen tarvetta. Helsingissä toimistorakennuksen jäähdytystehon tarve on jonkin verran pienempi kuin lämmitystehon tarve vuoden aikana, mutta jo Etelä-Euroopassa tilanne on vastakkainen. Perinteinen kylmäntuottaminen perustuu sähkökäyttöisiin kompressoreihin, ja lämpimämmissä maissa ovatkin ongelmana jäähdytyksestä aiheutuvat sähkön kulutushuiput kesäaikaan. Kymmenen viime vuoden aikana on kylmäntuotantoa varten kehitetty ab-sorptiotekniikkaa, jossa käyttöenergiana on lämpötilaltaan 80–180 °C-asteinen lämpö. Myös kaukokylmäjärjestelmät ovat lisääntyneet. Kylmä tuotetaan keskitetysti ja siirretään kuluttajille putkistossa. Absorptiotekniikka kuluttaa yhteistuotannossa suunnilleen saman verran primäärienergiaa kuin sähkön erillistuotantoon liitetty kompressorilaitoskin eivätkä kasvihuonekaasutkaan juuri vähene. Kuitenkin jos absorptiolaitoksessa voidaan hyödyntää jätelämpöä, pienenevät sekä primäärienergiatarve että kasvihuonekaasut. MSP-laitokseen voidaan liittää kylmää tuottava absorptiolaitos käyttäen erilaisia laiteratkaisuja niin, että kuluttajan kylmäntarve voidaan tyydyttää hyvin joustavasti. Moottorivoimalaitosten päämarkkina-alueet ovat alueilla, joissa jäähdytyksen tarve on suurimmillaan. Absorptiokylmälaitosten taloudellisuus muodostuu erittäin hyväksi, kun lämpöenergiana on moottorivoimalaitoksen jätelämpö. Optimaalisen MSP:n toteuttamiseksi tarvitaan vielä jonkin verran tuotekehitystä ja pilottilaitos.			
Avainsanat power plants, power generation, district heating, district cooling, heat pumps, co-generation, absorption, cooling towers, cold storage, costs			
Toimintayksikkö VTT Energia, Energijärjestelmät, Tekniikantie 4 C, PL 1606, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5826-X (nid.) 951-38-5827-8 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Projektinumero	
Julkaisu-aika Toukokuu 2001	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 114 s.	Hinta C
Projektin nimi MSP II: Sähkö ja kylmä		Toimeksiantaja(t) Teknologian kehittämiskeskus (Tekes), YIT-Rakennus Oy, Wärtsilä Finland Oy	
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 chill</b>			
Abstract <p>The product concept of MSP (Multi Supply Plant) includes an integrated plant that produces electricity and chill, and possible also heat, process steam, desalinated water or other commodities on a site, where the engine power plant produces electricity, and the other production is based on waste heat of the plant. This report focuses on the production of electricity and chill by MSP-plant.</p> <p>Production of chill has a growing need, as bigger requirements are put for room air in order to enhance efficiency of labour and to improve comfort. New-technology equipment requires exactly regulated conditions at the stages of production, testing and use, which cause also a need for air cooling. The number of traditionally refrigerated rooms e.g. in food chains is also assumed to grow. Geographically, the need for chill production is biggest at the metropolises located at the tropic climate, but the solar radiation causes need for chilling e.g. in Helsinki in the summer. The demand for chilling power in office buildings is only a little under the demand for heating power in Helsinki during a year, but the situation is opposite already in Southern Europe.</p> <p>Chill production is based traditionally on electricity driven compressors, and this is due to peak consumption of electricity in warmer countries at summer time. Absorption technology for chill production has been developed during the past ten years, and driving energy is in these cases heat at a temperature of 80–180 degree centigrade. Also the number of the district cooling systems has increased. The chill production is centralised and the chill is transported to consumption in the pipe network. The primary energy needed for absorption and compressor chillers of the same cooling capacity is quite similar, and greenhouse gas effect is also at the similar level. However, the need for primary energy and the amount of greenhouse gases are reduced, if waste heat is utilised in absorption machines.</p> <p>The absorption plant can be integrated to MSP using different techniques, and so the need for chill by various consumers can be met very flexibly. The main markets of the engine power plants are in the areas where also the need for cooling is biggest. The competitiveness of MSP including an absorption machine is good based on the utilising of waste heat. Research and pilot-plants are still needed to develop optimal MSP-plant and district cooling system.</p>			
Keywords power plants, power generation, district heating, district cooling, heat pumps, co-generation, absorption, cooling towers, cold storage, costs			
Activity unit VTT Energy, Energy Systems, Tekniikantie 4 C, P.O.Box 1606, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5826-X (soft back ed.) 951-38-5827-8 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Project number	
Date May 2001	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 114 p.	Price C
Name of project MSP II: Power and chill		Commissioned by National Technology Agency (Tekes), YIT-Rakennus Oy, Wärtsilä Finland Oyj	
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	