



Solar Cooling

Supported by

Intelligent Energy  Europe



AUSTRIAN ENERGY AGENCY



Imprint

Published and produced by: Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency
Otto-Bauer-Gasse 6, A-1060 Vienna, Phone +43 (1) 586 15 24, Fax +43 (1) 586 15 24 - 40
E-Mail: office@energyagency.at, Internet: <http://www.energyagency.at>

Editor in Chief: Dr. Fritz Unterpertinger

Author: Charlotta Isaksson, AEE INTEC

Project management: Márton Varga

Reviewing: AEE INTEC

Layout: Simone Biach

Produced and published in Vienna

The sole responsibility for the content of this report lies with the authors. It does not represent the opinion of the European Communities. The European Commission is not responsible for any use that may be made of the information contained therein.

Reprint allowed in parts and with detailed reference only. Printed on non-chlorine bleached paper.

Contents

1	Summary Sheet Solar Cooling.....	1
2	Detailed technology description.....	2
2.1	Introduction	2
2.2	Concept descriptions	2
2.3	Absorption Refrigeration Machines	6
2.4	Adsorption Refrigeration Machines	12
2.5	Desiccant and evaporative cooling systems (DEC)	17
2.6	Energy and Economic benefits	25
2.7	Energy Balance	25
2.8	Costs	27
3	References.....	29
4	Links.....	29

1 Summary Sheet Solar Cooling

There are several technologies available where solar thermal can be used to drive the cooling process instead of electricity. The basic principle behind thermally driven cooling is a thermo-chemical sorption process: a liquid or gaseous substance is either attached to a solid, highly porous material (adsorption) or is taken up by a liquid or solid material (absorption).

It is distinguished between closed and open sorption processes. Closed processes include **absorption** and **adsorption** chillers. Application areas for closed systems are the production of cold water, which is either used in central ventilation stations (dehumidification) or for decentralised air conditioning, e.g. the cooling of building elements. The so-called “**desiccant and evaporative cooling system**” (DEC-system) is based on an open cooling cycle. Here, air is directly conditioned, i.e. cooled and dehumidified.

These three configurations are described in more detail in the following chapters.

An overview of the applications and their technical data is shown in the table below.

Method	Closed cycle		Open cycle
Refrigerant cycle	Closed refrigerant cycle		Refrigerant (water) is in contact with the atmosphere
Principle	Chilled water		Dehumidification of air and evaporative cooling
Phase or sorbent	solid	Liquid	solid
Typical material pairs	Water/silica gel	Water/Lithium Bromide, Ammonia/Water	Water/silica gel, water/Lithium Chlorid
Market available technology	Adsorption chiller	Absorption chiller	Desiccant cooling
Typical cooling capacity (kW cold)	50-430 kW	15 kW-5 MW	20-350 kW (per module)
Typical COP	0.5-0.7	0.6-0.75 (single effect)	0.5- >1
Driving temperature	60-90°C	80-110°C	45-95°C
Solar collectors	Vacuum tubes, flat plate collectors	Vacuum tubes	Flat plate collector, solar air collectors

It is shown that it is necessary to reach a certain value of the solar fraction in order that a solar-assisted cooling system achieves a lower primary energy consumption than a conventional system using an electrically driven compression chiller. The system performance with regard to primary energy improves when the COP of the thermally driven chiller increases, the solar fraction increases and the specific electricity consumption of the cooling tower system decreases.

2 Detailed technology description

2.1 Introduction

Energy consumption for cooling or air-conditioning has increased dramatically during the last few decades in most European countries, even in heating-dominated climates. The main reasons for the increasing energy demand for summer air-conditioning are the increased thermal loads, increased living standards and comfort demands as well as architectural characteristics and trends, such as an increasing ratio of transparent to opaque areas in the building envelope. In buildings with high internal loads such as offices, laboratories and public buildings cooling demands can not always be met by passive cooling technologies alone.

To date, most of these cooling loads are met by vapour compression chillers and lead to high electricity peak loads. The cooling demand profile matches almost perfectly the energy yield from a solar thermal system. Therefore, solar or solar-assisted air-conditioning systems can be a reasonable alternative to conventional air-conditioning systems. No long-term intermediate storage is necessary. The sun can provide a substantial part of the energy needed for air-conditioning. This can help to reduce primary energy consumption.

2.2 Concept descriptions

There are several technologies available where solar thermal can be used to drive the cooling process instead of electricity.

The basic principle behind thermally driven cooling is a thermo-chemical sorption process: a liquid or gaseous substance is either attached to a solid, highly porous material (adsorption) or is taken up by a liquid or solid material (absorption). Figure 1 shows the basic principle of a solar air-conditioning system.

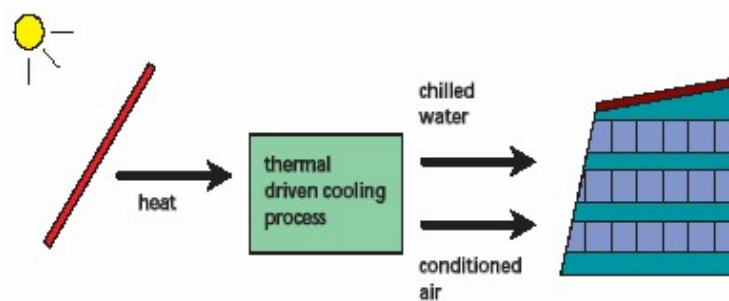


Figure 1: Basic structure of a solar air-conditioning system [Henning, H.M. (2004a)]



Figure 2: Sorption-assisted air conditioning: collector system on the rooftop of the Chamber of Commerce and Industry in Freiburg, Germany. Photo: Fraunhofer ISE.

It can be distinguished between closed and open sorption processes. Closed processes include **absorption** and **adsorption** chillers. Application areas for closed systems are the production of cold water, which is either used in central ventilation stations (dehumidification) or for decentralised air conditioning, e.g. the cooling of building elements. The so-called **“desiccant and evaporative cooling system”** (DEC-system) is based on an open cooling cycle. Here, air is directly conditioned, i.e. cooled and dehumidified.

These three configurations are described in more detail in the following chapters.

Coefficient of Performance

A cooling machine requires energy to transfer heat from a source at a low temperature to a sink at a higher temperature. In an air-conditioning system, heat is extracted from the low temperature source, which is the useful cooling, i.e. the heat removed from the conditioned space and thereby producing the cooling effect. In most of the air-conditioning systems, the intermediate heat sink is the external environment and the heat is rejected to the external air. In a thermally driven process, heat is the driving energy whereas in a conventional refrigeration machine the driving energy is mechanical energy.

A key figure to characterise the energy performance of a refrigeration machine is the Coefficient of Performance, COP. For thermally driven air-conditioning systems, the $COP_{thermal}$, which indicates the required heat input for the cold production, can be defined as follows:

$$COP_{thermal} = \frac{\dot{Q}_{low}}{\dot{Q}_{high}} = \frac{\text{heat flux extracted at a low temperature}}{\text{driving heat flux supplied to cooling equipment}}$$

This value of different systems can only be compared if the same operating conditions are considered. This is because the $COP_{thermal}$ varies with the equipment operating conditions, i.e. the three temperature levels, full or part load etc. For an electrically driven vapour compression chiller, the COP_{conv} is defined as the required electricity input for production of cooling energy:

$$COP_{conv} = \frac{\dot{Q}_{low}}{\dot{Q}_{el}} = \frac{\text{heat flux extracted at a low temperature}}{\text{electrical power supplied to the chiller}}$$

خلاصه ای از سرد کننده های خورشیدی

تکنولوژی های مختلفی برای استفاده از انرژی خورشیدی به جای انرژی برق جهت فرایندهای سرد سازی وجود دارد. اصل کلی در این سرد کننده های خورشیدی استفاده از یک فرایند ترموشیمیایی جذب سطحی است، یک ماده گاز یا جامد به یک سطح جامد متصل میشود، یک جامد بسیار متخلخل و پر منفذ (جذب سطحی adsorption) یا به درون یک جسم جامد یا مایع کشیده میشود (جذب حجمی absorption).

بر اساس بسته یا باز بودن فرایند جذب میتوان به نوع فرایند سرمایه‌ش پی برد. فرایندهای بسته شامل چیلرهای (خنک کننده های) جذب حجمی یا جذب سطحی. موارد استفاده از سیستم های بسته برای تولید آب سرد است که یا در ایستگاه های تهویه مرکزی (رطوبت گیری) یا تهویه غیر متمرکز استفاده میشوند مثلاً در سرد کردن قسمت های مختلف ساختمان که به اینها سیستم های مبرد تبخیری و خشک کنی گفته میشود (سیستم های DEC) سیستم های DEC از نوع سیستم های باز هستند که در آنها هوا به طور مستقیم تهویه میشود یعنی به طور مستقیم سرد و رطوبت زدایی میشود.

سه دسته توصیف شده در بالا یعنی چیلرهای جذب سطحی، چیلرهای جذب حجمی و سیستم های DEC در ادامه بیشتر بررسی و توصیف خواهند شد.

در جدول زیر یک نگاه کلی به موارد استفاده و اطلاعات فنی آنها خواهیم داشت.

سیکل باز	سیکل بسته		روش
سیال عامل آب در تماس با اتمسفر است	سیکل تبرید بسته ی سیال		سیکل تبرید
رطوبت زدایی هوا و سرمایش تبخیری	آب خنک شده		قوانین
جامد	مایع	جامد	فاز یا جذب کننده
آب/ژل سیلیکا آب/لیتیم کلرید	آب/لیتیم برمید آب/آمونیا	آب/ژل سیلیکا	ماده ای که با آن به کار می رود
سیستم DEC	چیلر جذب حجمی	چیلر جذب سطحی	تکنولوژی مورد استفاده
۲۰ تا ۳۵۰ کیلو وات	۱۵ کیلو وات تا ۵ مگا وات	۳۰ تا ۵۰ کیلو وات	ظرفیت تبرید
۵.	۶. تا ۷۵.	۵. تا ۷.	ظرفیت عملکرد
۴۵ تا ۹۵	۸۰ تا ۱۱۰	۶۰ تا ۹۰	دمای عملکرد (درجه سانتی گراد)
کلکتور مسطح، کلکتور هوا خورشیدی	لوله خلا	لوله خلا ، کلکتور مسطح	کلکتور خورشیدی

برای اینکه به انرژی اولیه کمتری در مبرد های خورشیدی نسبت به مبرد های الکتریکی نیاز داشته باشیم باید یک منبع قابل ملاحظه انرژی خورشیدی در دسترس باشد. (برای اینکه استفاده از سیکل تبرید خورشیدی قابل توجه باشد باید به یک منبع انرژی خورشیدی دسترسی داشته باشیم مثلا در نواحی ای قرار داشته باشیم که تابش خورشید زیاد است)

عملکرد سیستم های تبرید خورشیدی (COP) با افزایش انرژی اولیه جذب شده افزایش می یابد همچنین با کاهش انرژی مورد استفاده در برج های خنک نیز افزایش می یابد.

سیستم های تبرید خورشیدی

معرفی:

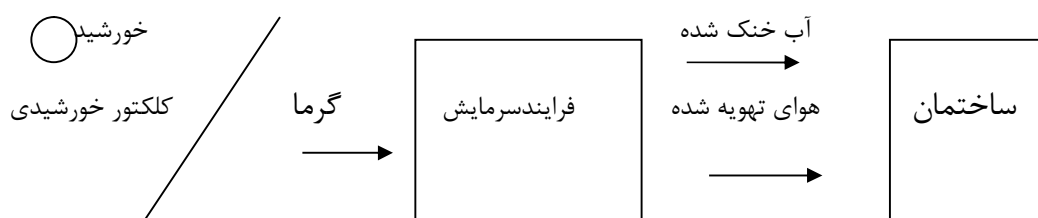
در دهه های اخیر مصرف انرژی برای تبرید هوا بطور قابل ملاحظه ای در کشور های اروپایی افزایش یافته است حتی در آب و هوا های نسبتا معتدل. دلیل اصلی استفاده رو به رشد از خنک کننده ها در تابستان افزایش بار حرارتی، بالا رفتن استاندارد های زندگی و راحتی میباشد. در ساختمان هایی که رفت و آمد زیاد میباشد استفاده از یک سیستم غیر هوشمند مفید نیست مثلا در ادارات، آزمایشگاهها و ساختمان های عمومی.

تا کنون اکثر خنک کننده ها از نوع چیلر های بخار تراکمی بوده اند که استفاده رو به رشد آنها باعث اوج گرفتن مصرف برق شده است. اما این انرژی بسیار زیاد را میتوان از سیستم های انرژی خورشیدی نیز دریافت نمود بنابر این سیستم های تبرید خورشیدی یا سیستم های تبرید کمک خورشیدی جایگزین مناسبی برای سیستم های مرسوم هستند. خورشید میتواند بخش مهمی از انرژی اولیه ی لازم برای سیکل تبرید را فراهم کند و این یعنی کاهش انرژی اولیه لازم برای سیکل تبرید.

توصیف مفاهیم:

تکنولوژی های مختلفی برای استفاده از انرژی خورشیدی در سیکل های تبرید وجود دارد. اصل کلی مورد استفاده در این سیستم ها استفاده از یک فرایند جذب ترموشیمیایی است. یک ماده گاز یا مایع به یک سطح جامد می چسبد (سطح جامدی که متخلخل و پر منفذ است) که به این فرایند جذب سطحی (adsorption) گوئیم یا ماده گاز یا مایع توسط یک ماده ی جامد یا مایع دیگر جذب میشود که به آن جذب حجمی (absorption) گوئیم.

در شکل نمای کلی از یک سیستم تبرید خورشیدی ملاحظه میشود.



سیستم های تبرید باز و بسته را میتوان از یکدیگر تشخیص داد. سیستم های تبرید بسته شامل چیلر های جذب حجمی و چیلر های جذب سطحی هستند. موارد استفاده از سیستم های بسته برای تولید آب سرد است که در ایستگاههای مرکزی استفاده میشود (رطوبت زدایی) یا برای تهویه هوای غیر متمرکز (مثلا سرد کردن قسمت های مختلف ساختمان) که به این سیستم ها سیستم های سرمایش رطوبت زدایی و رطوبت زنی یا سیستم DEC گفته میشود.

ضریب عملکرد:

در یک ماشین تبرید به یک انرژی اولیه نیاز داریم که صرف انتقال انرژی از منبع با دمای کمتر به منبع با دمای بیشتر میشود در یک سیستم تهویه حرارت از منبع با دمای کمتر خارج میشود این منبع با دمای کمتر معمولا همان قسمتی است که تهویه و خنک سازی آن مورد نظر است. در اکثر سیستم های تهویه حرارت دریافت شده به محیط پیرامون یعنی هوای اطراف داده میشود.

در سیستم های تبرید خورشیدی انرژی خورشید باعث این انتقال حرارت میشود در حالیکه در سیستم های تبرید مرسوم انرژی الکتریکی استفاده میشود (ابتدا انرژی الکتریکی به یک انرژی مکانیکی در کمپرسور تبدیل شده و کمپرسور روی سیال کار انجام میدهد).

معیاری که برای بررسی عملکرد یک ماشین سرمایی (ماشین تبرید) استفاده میشود ضریب عملکرد (COP) است برای سیستم های حرارتی (خورشیدی) تهویه ی هوا ضریب عملکرد حرارتی (که انرژی اولیه ی لازم برای تولید سرما را نمایش میدهد) را میتوان به صورت زیر تعریف کرد.

انرژی اولیه لازم/انرژی گرفته شده از منبع با دمای کمتر = $Cop = Q(\text{low})/Q(\text{high})$

Cop سیستم های مختلف را تنها در صورتی میتوان مقایسه کرد که شرایط اولیه ی آنها یکسان باشد زیرا cop با شرایط کارکرد تجهیزات عوض میشود. برای یک چیلر الکتریکی بخار تراکمی cop بصورت زیر تعریف میشود:

توان الکتریکی چیلر/انرژی گرفته شده از منبع با دمای کمتر = Cop

مقدار cop چیلرهای مرسوم و چیلرهای خورشیدی را نمیتوان مقایسه کرد زیرا محتوای انرژی برای انرژی های ورودی در این دو منبع متفاوت هستند.

به هر حال راجع به بالانس انرژی و ضریب عملکرد همه ترم های انرژی باید در نظر گرفته شوند مثلا الکتریکی و حرارتی. در سیستم های باز انرژی الکتریکی که باعث راه اندازی پنکه (فن) میشود