

Zongedreven koelmachines

een overzicht van beschikbare technieken

Solar driven refrigerating machines – an overview of available technologies

Cees H. M. Machielsen

Associate Professor aan de TU Delft

Dit artikel is een samenvatting van de lezing op de NVVK/AEC themamiddag van 3 februari 2000.

Samenvatting

Hoewel momenteel de energieprijzen laag zijn en er een schijnbare overvloed is, moet men zich realiseren dat de voorraad aan minerale brandstof eindig is. Het blijft daarom nodig om te zoeken naar mogelijkheden om de duurzame energiebronnen op economische wijze te benutten. Er is veel literatuur beschikbaar over energiebronnen als zon, wind, geo-thermie, golfbeweging en in de natuur voorkomende temperatuurverschillen.

De behoefte aan koeling is het grootst in warme, vaak afgelegen gebieden. Omdat in deze gebieden meestal ook de zonintensiteit hoog is, ligt de combinatie van zon en koeling voor de hand. In dit artikel wordt ingegaan op de beschikbare technieken; speciaal aangaande de stand van de techniek met betrekking tot zonnecollectoren en absorptiemachines.

Summary

Although at the moment the energy prizes are low and there is apparently an abundance of energy, one has to realise that the reserves of mineral fuels are limited. Therefore it is to be needed to search for possibilities to utilise renewable energy sources. There is much literature available about energy sources such as solar, wind, wave motion and existing temperature differences in nature.

The demand for refrigeration is the greatest in hot, often remote regions. Because the solar insolation is also high in these areas, the combination of solar and refrigeration is obvious. In this article the available technologies are granted; special the state of the art concerning solar collectors and absorption machines.

Behoeftte aan koeling

De behoefte aan koeling kan in twee categorieën worden ingedeeld.

- Essentiële behoefte: voedselconservering, volksgezondheid, bewaren van vaccins, bloed e.d.
- Comfort behoefte: airconditioning, koelen van drank.

In de Technical Guide van IIR [1], wordt alleen ingegaan op de eerste categorie. Deze tweetalige gids (Engels en Frans) legt een goede basis voor diegenen, die zich in deze materie willen verdiepen.

Het aanbod van zonne-energie

De zonnestraling buiten de dampkring bedraagt 1354 W/m². Op weg naar het aardoppervlak treedt een verlies op van 50 % aan stralingsintensiteit door absorptie en reflectie in de dampkring. De andere 50 % bereikt het aardoppervlak in de vorm van direct en diffuus licht. Het aanbod op het aardoppervlak is wisselend. Dit wordt veroorzaakt door:

- het dagverloop
- seizoenen
- plaatselijk klimaat

Kenmerken van de zonnestraling in Nederland

De globale straling (op een horizontaal vlak) bedraagt gemiddeld: 3,6 GJ/m² (1000 kWh/(m².jaar)); het zomeraanbod is 10 keer groter dan het winteraanbod. De verhouding direct/diffuus licht is

40/60. Nederland heeft gemiddeld 1.530 zonuren/jaar; oftewel 4,2 zonuren/dag (>140 W/m²). De optimale oriëntatie voor vaste collectoren is :

- 5° westelijk van het zuiden
- hellingshoek: 36° (met horizontale vlak)

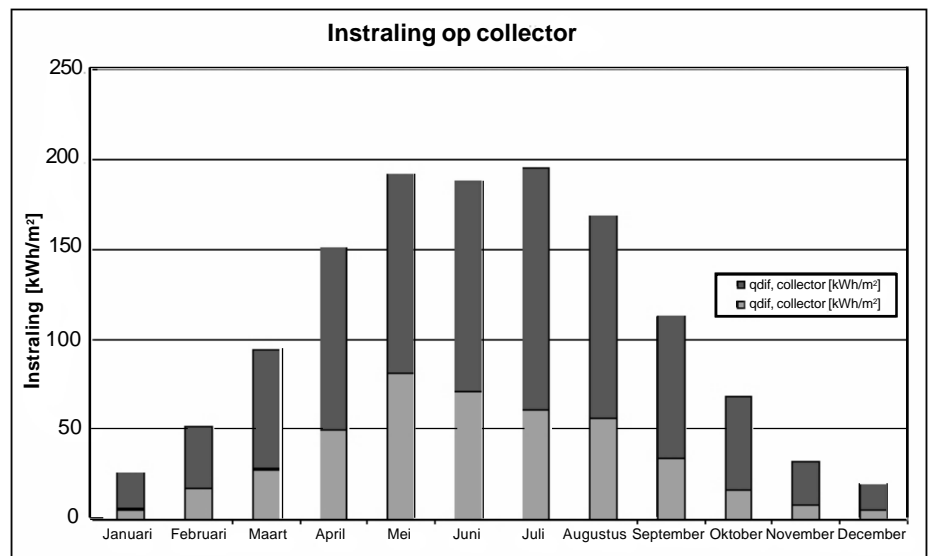
Hiermee bereiken we een gemiddeld jaarlijkse instraling van 4,14 GJ/m². Figuur 1 toont de verdeling van de instraling over het jaar. Deze grafiek is ontleend aan gegevens verzameld door ECN te Petten.

Omzetting van zonne-energie

De weg van zonne-energie naar koeling kan langs verschillende routes worden afgelegd. Een bekend spreekwoord zegt: 'Voor niets gaat de zon op'. Dat brengt sommige mensen er toe om te stellen: 'Bij zongedreven systemen is het rendement niet belangrijk want zonne-energie kost niets'. Deze stelling gaat echter niet op. De route die we moeten volgen om ons doel 'het opwekken van koude' te bereiken, kost geld!

Mogelijkheden om zonne-energie om te zetten zijn:

- Fotosynthese ⇒ bio-massa ⇒ verbranding
- Fotovoltaïsch ⇒ zonne-cel ⇒ elektriciteit
- Thermisch ⇒ thermische collectoren
 - vloeistofcollectoren
 - luchtcollectoren



Figuur 1 – Verdeling van directe en diffuse instraling voor Nederland



Figuur 2 – Vlakke plaat collectoren

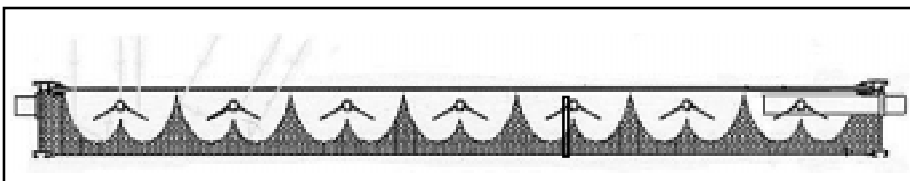
- Hybride systemen
 - combinatie van PV en thermische collector in één component

Collectortypen

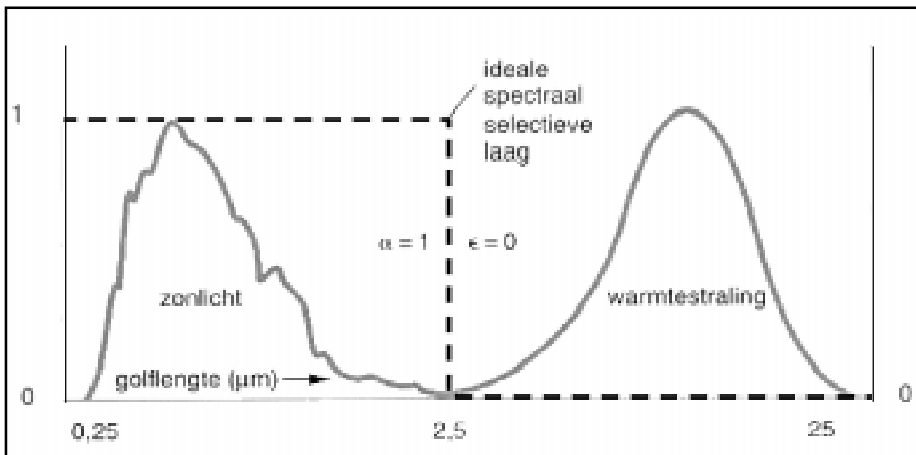
Om een koelmachine via een thermische route (absorptie en DEC [Desiccative Evaporate Cooling]) aan te drijven, zijn we meestal aangewezen op een vloeistofcollectortype. We kunnen hierbij een hoofdindeling maken in niet concentrerende en (semi-) concentrerende collectoren. Concentrerende collectoren leveren hogere eindtemperaturen maar hebben het nadeel dat ze het diffuse deel niet kunnen invangen. Bij de CPC collector tracht men beide voordelen te verenigen.

Globale indeling van vloeistofcollectortypen:

- Concentrerende collector (spiegels of lenzen concentreren het licht)
 - parabolische trog (lijnfocus)
 - schotel (puntfocus)
 - energietoren met heliostaten
- Vlakke plaatcollector
- Warmtepijp/geëvacueerde buiscollector



Figuur 4 – Geometrie van de CPC collector



Figuur 5 – Een spectraal selectieve laag belemmert de warmtestraling naar de omgeving

- CPC collector (Compound Parabolic Concentrator)

Benutting van de instraling

Op een lichtbewolkte winterdag bij een buitentemperatuur van 6 °C, een collectortemperatuur van 30 °C en een instraling van 400 W/m² zal het rendement van een vlakkeplaatcollector met spectraal selectieve laag ca. 55% bedragen.

Op een mooie heldere zomerdag bij een temperatuur van 25 °C en een zonneinstraling van 800 W/m² zal bij een collectortemperatuur van 50 °C het rendement ca. 70 % bedragen. Bij hogere collectortemperaturen neemt het rendement van vlakkeplaatcollectoren snel af.

Een betere performance hebben vacuümbuiscollectoren, maar deze zijn minimaal 2 × zo duur per m².

Voor aandrijving van absorptiemachines (85-95 °C) moet minimaal worden uitgegaan van collectoren met een spectraal selectieve laag.

Bij dit laatste type wordt de emissie van warmtestraling naar de omgeving tegengegaan (zie figuur 5).

In landen met een hoog direct stralingsaandeel zijn concentrerende parabolische collectoren bijzonder geschikt voor de aandrijving van absorptiemachines. Door de hoge bijkomende kosten van het tracking-systeem is deze optie alleen interessant voor koelvermogens boven 200 kW in tropische gebieden met veel directe instraling. Het rendement van collectoren wordt meestal grafisch uitgezet tegen de parameter T* (zie figuur 6).

T* is een grootte waarin de zonneinstraling (G) en het gemiddelde temperatuurverschil tussen de buitenlucht (T_v) en het water in de absorberplaat (T_m) opgenomen zijn.

$$T^* = (T_m - T_v) / G$$

Het rendement van de collector stijgt naar-



Figuur 3 – Parabolische collectoren

mate T* kleiner wordt; dus naarmate de zonneinstraling groter wordt, de buitentemperatuur hoger of de gemiddelde temperatuur van het water in de absorber lager is.

Geschikte systemen voor zonnekoeling

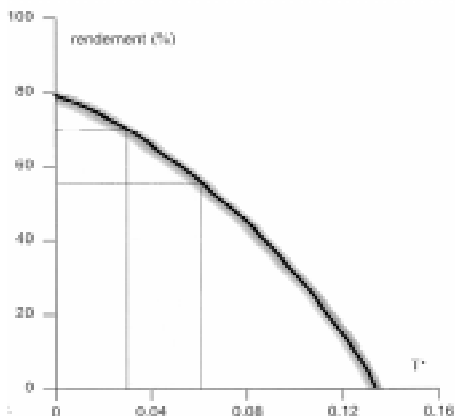
Een viertal zongedreven systemen zijn mogelijk voor de mechanische koeling van gebouwen. Dit zijn:

1. Absorptiekoelsysteem
2. Adsorptiesysteem
3. DEC-systeem, Desiccative Evaporative Cooling, koeling van lucht door een combinatie van droging (ontvochtiging), warmte-uitwisseling en bevochtiging
4. Foto-Voltaiisch (PV) gedreven compressiekoelmachine

De keuze ofwel het verschil tussen de koelmachines en het DEC-systeem wordt bepaald door het feit of de warmtelast in het gebouw wordt opgenomen door water (koelmachines) of door lucht (het DEC-systeem).

Absorptiekoeling

Het absorptiesysteem kan intermitterend of continu werkend worden uitgevoerd. Met de intermitterende uitvoering (zonder pomp) kan in combinatie met zonne-energie alleen 's nachts worden gekoeld. *Mogelijke stofparen voor absorptiekoeling*



Figuur 6 – Rendementscurve van een zonnecollector

- zijn:
- $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$
 - $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ of $\text{H}_2\text{O}/\text{LiCl}$
 - NH_3/NaSCN
 - $\text{NH}_3\text{-LiNO}_3$

Adsorptiekoeling

- Kenmerken van adsorptiekoeling zijn:
- intermitterend (geen pomp nodig)
 - zeer lage druk (terugslagkleppen niet mogelijk)
 - hoge thermische COP

Mogelijke stofparen voor adsorptiekoeling zijn:

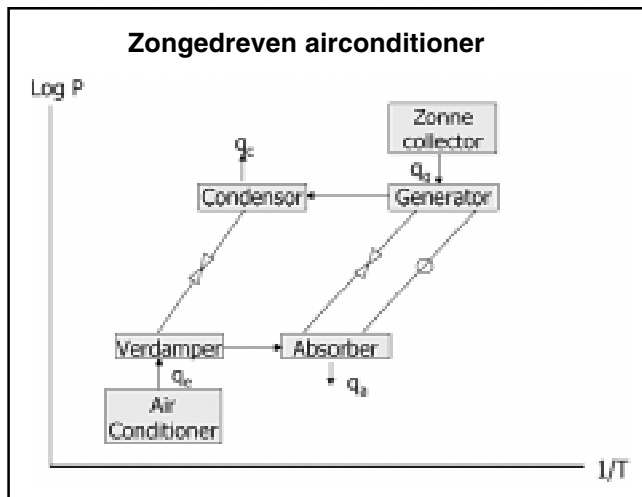
- water/silicagel
- water/zeoliet
- methanol/actieve kool
- water/ Na_2S

Warmwater-gedreven adsorptiekoelmachine

Zeer geschikt voor aandrijving met warm water zijn de Yazaki-machines, waarvan het kleinste type (35 kW nominale koelcapaciteit) in Europa onder eigen label door York op de markt wordt gebracht. In figuur 8 zijn enkele karakteristieken weergegeven, die ontleend zijn aan de catalogi-gegevens van York.

Conclusie

Omdat in Nederland een groot gedeelte van de straling uit diffuus licht bestaat, komt de parabolisch concentrende line focus collector niet in aanmerking. Een nieuwe veelbelovende ontwikkeling is de compound parabolisch concentrator. Voor de Nederlandse situatie is een investering in een absorptiekoeler gedreven door zonne-energie, economisch alleen aantrekkelijk, indien deze in de winter ook gebruikt kan worden als absorptiewarmtepomp met 100% (bio-)gas aandrijving voor de levering van warmte voor een laag temperatuur-verwarmingssysteem. Op deze manier vergroten we het aantal gebruiksuren



Figuur 7 – Het zongedreven absorptiesysteem weergegeven in het logp-1/T diagram

en betaalt de meerinvestering zich sneller terug.

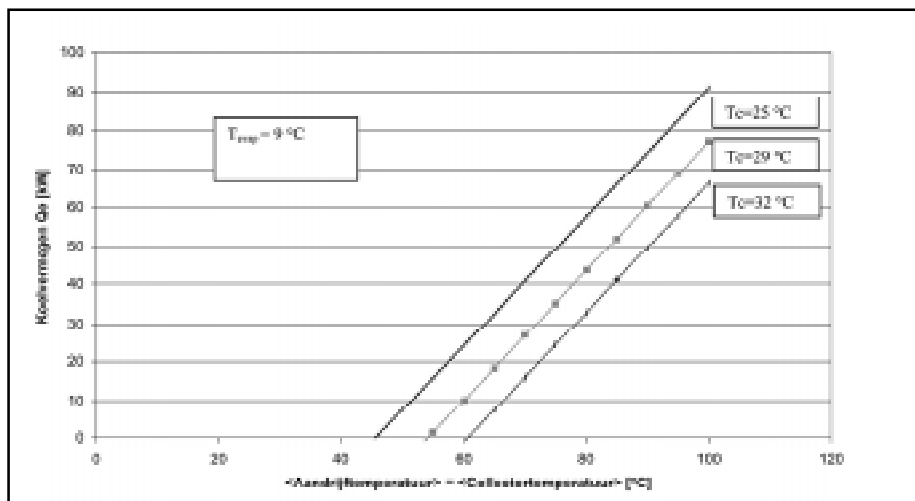
Wat is verkrijgbaar en wat zijn de kosten ?

Table 1 – Absorptiemachines in de lage capaciteitsrange

Fabriekaat	stofpaar en specificaties	aandrijftemperatuur	koelcapaciteit
Robur (direct gasgestookt) (Arkla/Servel)	$\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ type ACE 36-00 LPG verbruik: 1,53 kg/h	150 °C	10 kW $T=35\text{ C} /$ $T_{\text{cool}} = 7,2/12,7\text{ °C}$
York (onder licentie van Yazaki)	$\text{LiBr}/\text{H}_2\text{O}$	90 °C	35 kW
Yazaki Sigen WFC-600S (1980-9; niet meer in productie)	$\text{LiBr}/\text{H}_2\text{O}$ 20 l/min chilled 53,4 l/min koelw. 27,8 l/min gener.	90 °C	7 kW

Table 2 – Collectoren (met spectraal selectieve laag)

type	prijs in NLG / m ²	opmerkingen
Vlakke plaat	300	prijs is zeer globaal
Vacuüm buis 10 tubes = 1 m ²	800	incl. frames en manifolds rendement ca. 2 x hoger
Parabolisch (trogttype)	800	interessant bij >200 kW ; alleen directe straling !! Redelijk rendement bij hoge collectortemperatuur



Figuur 8 – Koelvermogen van een enkeltraps $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ absorptiekoelmachine

Literatuur

- [1] Guide to solar refrigerators for remote areas and warm countries. International Institute of Refrigeration, Paris, 1999. ISBN 2903633983.
- [2] Zonneboilers, ontwerp en uitvoering. Publicatie 14, ISSO, 1983
- [3] J.P. van Paassen. Solar powered refrigeration by means of an ammonia- water intermittent absorption cycle. TU-Delft, mei 1987. ISBN 90-370-0013-4
- [4] C.H.M. Machielsen. Research Activities on Absorption Systems for Heating, Cooling and Industrial Use. ASHRAE Transactions Part I, Atlanta 1990
- [5] "Solar-driven cold-store project - Final Report". July 1990, Published by Stork Product Engineering B.V., P.O. Box 379, 1000 AJ Amsterdam, The Netherlands.
- [6] C.H.M. Machielsen. Solar powered refrigeration by means of ammonia/water absorption cycles. Proceedings of NATO Workshop 'Recent Advances In Solar Energy Technology', Marmara Research Center, Gebze (Turkey), 1997. ISBN: 975-403-87-1
- [7] C.H.M. Machielsen, R. Koch and A.E. Hagendijk. Solar-assisted air conditioning system — Design criteria for office application in Curaçoa. Proceedings of Int. Conf. SATIS'99, Volume II, Puerto Rico, August 1999.