



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

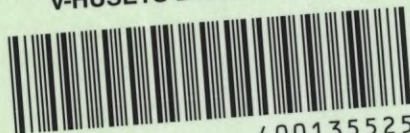
**R18:1991**

**Vakuumsolfångare**

**Förstudie**

**Bengt Jönsson**

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135525

**Byggforskningsrådet**

R18:1991

VAKUUMSOLFÅNGARE

Förstudie

Bengt Jönsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 900205-0  
från Statens råd för byggnadsforskning till Studsvik  
Energy, Nyköping.

## REFERAT

I denna förstudie har förutsättningarna för en ny typ av solfångare undersökts. Solfångarna är i huvudsak platsbyggda enligt principen för storskaliga CPC-solfångare. Materialåtgången har reducerats till ett minimum genom en kombination av reflektorer och minskning av värmeförlusterna genom vakuumisolering. Grundidén med denna nya teknik är att man med ett lätt vakuum (ca 10-100 mbar) kan minimera konvektionsförlusterna utan att behöva använda avancerad högvakuumteknik.

Simuleringsberäkningarna visar på goda möjligheter för denna teknik att åstadkomma lägre värmeproduktionskostnader jämfört med dagens solfångarteknik. Med ett reflektormaterial som har reflektansen  $R = 0.8$ , blir investeringskostnaden för denna solfångare ca 30-35 % lägre jämfört med förväntade kostnader för plana solfångare.

Energiinsamlingen är starkt beroende av reflektorns egenskaper. Detta beror på solfångarens utförande med relativt stort förhållande mellan reflektoryta och absorbtoryta.

En betydande ökning (ca 10 %) av insamlad energi fås om luft som isolerande gas byts ut mot koldioxid.

Projektet har genomförts i samarbete med Solsam Sunergy AB och Vattenfalls Älvkarlebylaboratorium.

I Bygghörsningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R18:1991

ISBN 91-540-5312-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

**gotab** 93219, Stockholm 1991

## Innehållsförteckning

1	Sammanfattning	Sid	4
2	Inledning		5
3	Tidigare arbete		6
4	Principbeskrivning av solfångaren		7
4.1	Energiproduktion		9
4.2	Material		11
4.3	Säkerhet		12
5	Kostnadsuppskattning		12
5.1	Vakuumsolfångaren		13
5.2	Dagens plana solfångare		14
5.3	Kostnadsjämförelse		15
6	Slutsatser		16
7	Referenser		17

## Förord

På uppdrag av Byggforskningsrådet (projekt nr 900205-0) har Studsvik Energy utrett förutsättningarna för en ny typ av vakuumsolfångare. Målsättningen med denna förstudie var att göra en första uppskattning av teknikens potential. Projektet har genomförts i samarbete med Solsam Sunergy AB och Vattenfalls Älvkarlebylaboratorium.

## HUVUDINNEHÅLL

I detta projekt har förutsättningarna för en ny typ av vakuumsolfångare undersökts. Grundidén med denna nya teknik är att man med ett lätt vakuum (ca 10-100 mbar) kan minimera konvektionsförlusterna utan att behöva använda avancerad högvakuumteknik.

Resultaten visar att det finns goda möjligheter för denna teknik att bli konkurrenskraftig gentemot dagens solfångarteknik.

## 1 Sammanfattning

I detta projekt har förutsättningarna för en ny typ av vakuumsolfångare undersökts. Grundidén med denna nya teknik är att man med ett lätt vakuum (ca 10-100 mbar) kan minimera konvektionsförlusterna utan att behöva använda avancerad högvakuumteknik.

De beräkningar vi gjort med simuleringsprogrammet MINSUN visar på goda möjligheter för denna teknik att konkurrera med dagens plana solfångare.

Resultaten visar att man kan samla in mer energi till en lägre totalkostnad än med plana solfångare. Investeringskostnaden på sikt för denna solfångare är ca 30-35 % lägre än för dagens teknik.

Beräkningsresultaten visar att möjlig in-samlad energi är starkt beroende av reflektorns egenskaper. Detta beror på solfångarens utförande med relativt stort förhållande mellan reflektoryta och absorbtoryta.

Möjligheten att använda andra gaser med betydligt lägre värmeledningsförmåga än luft som isolerande gas har undersökts. Det enda realistiska alternativet till luft är koldioxid. Andra gaser bedömer vi som orealistiska antingen av miljöskäl eller kostnadsskäl.

Risken för implosion i samband med den använda vakuumtekniken bedöms vara liten.



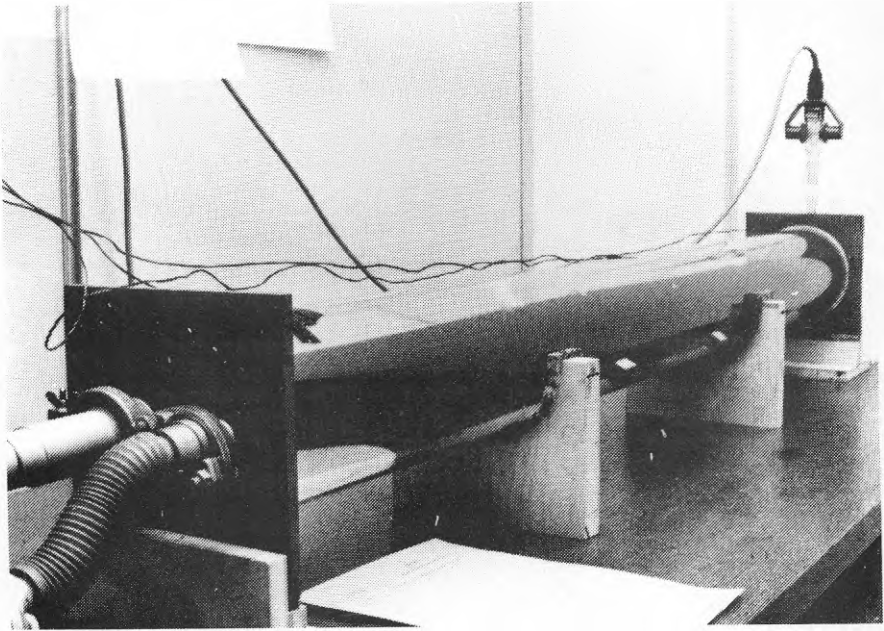
## 2 Inledning

Den svenska solvärmetekniken har utvecklats omkring de stora och välisolerade solfångarna, vilka har nyttjats i alla stora solvärmeprojekt. Mera avancerade tekniker, koncentrerande solfångare eller vakuumrörsolfångare, har inte kunnat konkurrera trots att de vid högre drifttemperaturer ofta visat högre verkningsgrader. Detta beror på att den högre verkningsgraden inte kunnat kompensera den större komplexiteten hos de avancerade teknikerna.

I denna förstudie har förutsättningarna för en ny typ av solfångare undersökts där materialåtgången minskas till ett minimum genom en kombination av reflektorer och minskning av värmeförlusterna genom vakuumisolering.

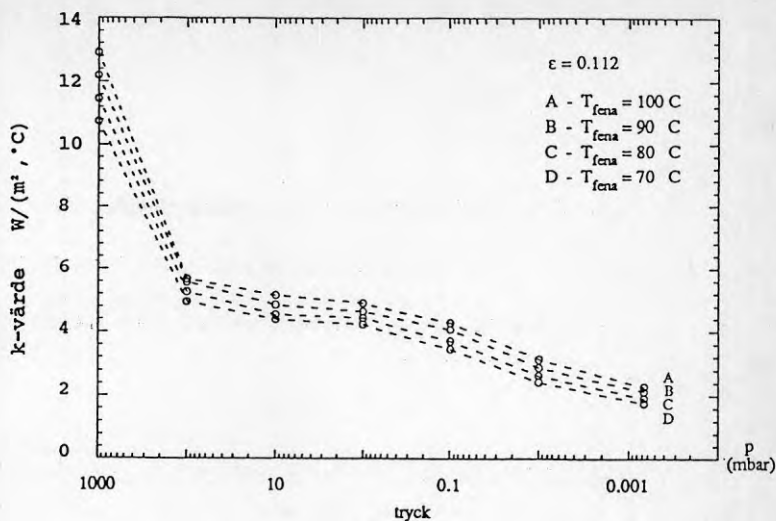
### 3 Tidigare arbete

I ett examensarbete [ref 1] har en experimentell undersökning gjorts av hur värmeförlusterna i en cylindrisk solfångare beror av trycket. Figur 1 visar vakuumsröret.



Figur 1. Vakuumsrör med absorbator.

Vid mätningarna har absorbatorns temperatur hållits konstant medan erforderlig effekt har mätts vid olika tryck. Därefter har vakuumsrörets  $k$ -värde beräknats. Ett av resultaten visas i figur 2 med  $k$ -värdets beroende av trycket.



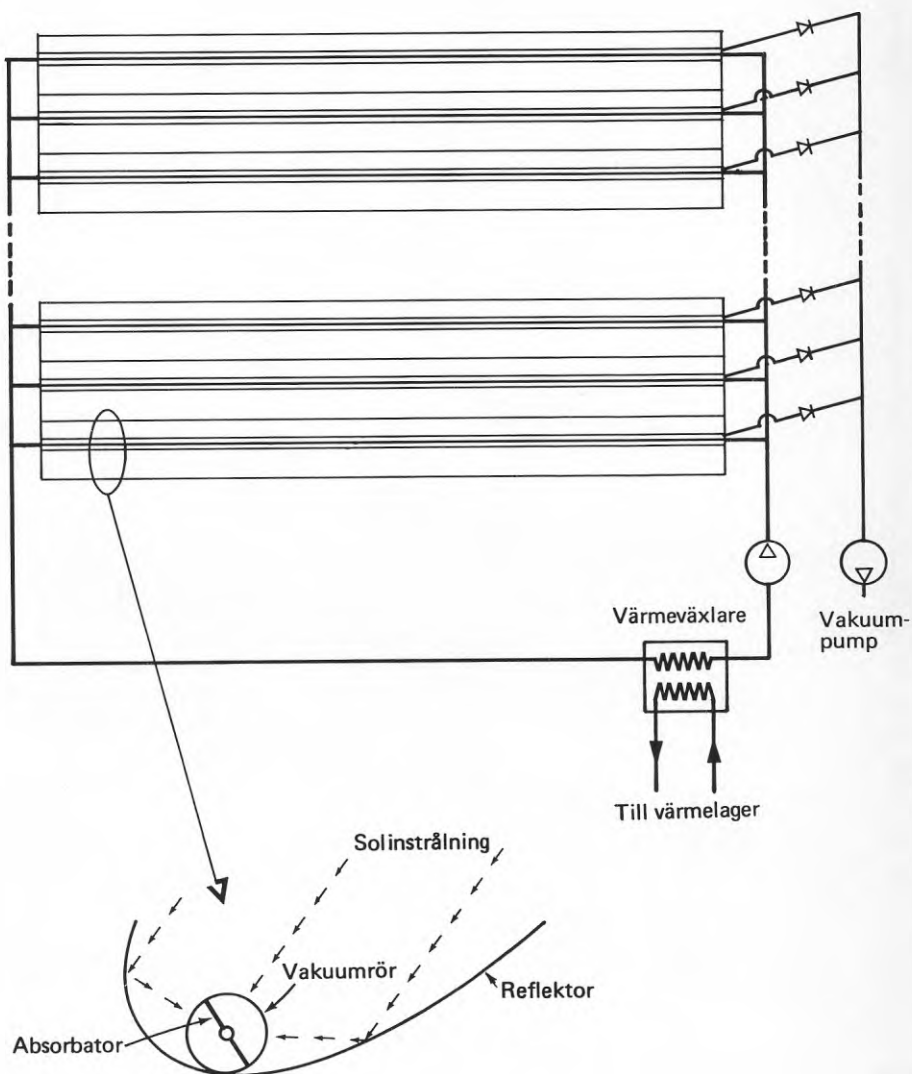
Figur 2. K-värdets beroende av trycket för en vakuumsolfångare. K-värdet är relaterat till flänsytan, dvs ena absorbatorytan.

Figur 2 visar att vakuumsolfångarens k-värde för luft är  $4.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  räknat på flänsytan (ena sidan av absorbatoren) vid trycket 10 mbar när absorbatorns temperatur är  $80^\circ\text{C}$ . Vid trycket 100 mbar är k-värdet  $5.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Om t ex koldioxid används istället minskar k-värdet med 17-25 %. I våra beräkningar har vi reducerat k-värdet med 20 % för koldioxid. Detta värde måste dock verifieras experimentellt.

#### 4 Principbeskrivning av solfångaren

En tänkt solfångaranläggning skulle kunna se ut som i figur 3. Den slutliga utformningen beror på en rad faktorer som måste behandlas senare.

En viktig faktor i utformningen av solfångaren gäller reflektorn. Det närmaste man kan komma en ideal form på reflektorn är den sk CPC-reflektorn (Compound Parabolic Concentrator), se [ref 2]. Figur 3 (lägst ner) visar ett vakuumsolfångare med CPC-reflektor. Den slutliga utformningen av reflektorn beror bland annat på vid vilka solhöjder solfångaren skall fungera. Utformningen av reflektorn bör bestämmas med hjälp av strålgångsmätningar.



Figur 3. Principskiss av ett solfångarfält med CPC-reflektorer.

#### 4.1 Energiproduktion

Med hjälp av simuleringsprogrammet MINSUN har vi gjort en förenklad modell av solfångaren för att få en första uppskattning av möjlig energiproduktion.

Vid beräkningarna har vi gjort följande antaganden:

- Hela markytan är täckt av glaströr och reflektor.
- Reflektorns reflektans:  $R=0.8$ .
- Vakuurrörens förlustfria verkningsgrad:  $F'(\eta_0)=0.80$ .
- Vakuurrörens k-värde är tryckberoende enligt [ref 1].

Möjlig energiproduktion är också beroende av förhållandet absorbatoryta/aperturyta, dvs hur mycket reflektorerna kan koncentrera ljuset mot absorbatoren. Med t ex 200 mm absorbatorbredd och 800 mm delning mellan vakuurrören, är förhållandet 1:4 teoretiskt möjligt.

Utgående från det experimentellt uppmätta k-värdet med en fläns i vakuum [ref 1], har ett nytt effektivt k-värde beräknats med hjälp av en geometrisk överläggning. Eftersom en koncentrationsfaktor av mellan tre och fyra uppnås, minskar det effektiva k-värdet i motsvarande grad.

$F'(\tau\alpha)$  har beräknats med följande samband:

$$F'(\tau\alpha) = F'(\eta_0) * (1/C + (1-1/C) * R)$$

där

C - koncentrationsgraden

$F'(\eta_0)$  - vakuurrörens optiska verkningsgrad

R - reflektorns reflektans

Sambandet förklaras av att andelen infallande ljus som träffar absorbatoren utan att reflekteras är  $1/C$ , medan resten  $(1-1/C)$  reflekteras.

Energiinsamlingen som redovisas i tabell 1, avser kWh/m<sup>2</sup> solfångare och år. Klimat Stockholm 1986. För vinkelberoendet i  $F'(\tau\alpha)$  har  $b_0=0.1$  ansatts i MINSUN.

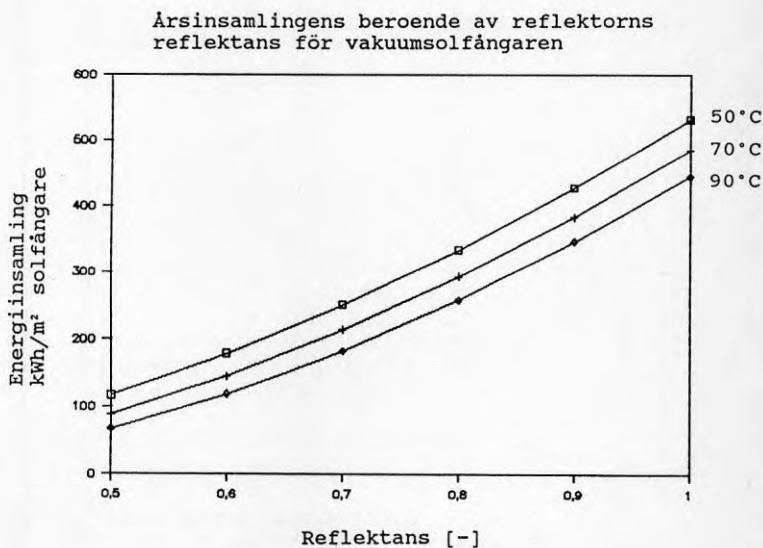
Tabell 1

<u>Luft</u>						
tryck	konc.	$F'(\tau\alpha)$	$F'UL$	insamlad energi		
mbar	-	-	W/(m <sup>2</sup> *K)	(kWh/(m <sup>2</sup> , år))		
				50°C	70°C	90°C
100	1:4	0.68	1.30	303	254	212
100	1:3	0.69	1.73	280	222	175
10	1:4	0.68	1.15	315	269	229
10	1:3	0.69	1.53	294	239	194
<u>Koldioxid</u>						
100	1:4	0.68	1.04	324	281	243
100	1:3	0.69	1.39	304	252	209
10	1:4	0.68	0.92	334	295	259
10	1:3	0.69	1.23	316	268	227

Dessa beräkningsresultat gäller alltså per kvadratmeter solfångare och skall jämföras med dagens plana solfångare. Dessa ger ca 315 kWh/m<sup>2</sup> solfångare i ett fält vid driftmedeltemperaturen 50°C, vid beräkningar med samma klimatdata, Stockholm 1986.

Här måste påpekas att dessa simuleringsresultat endast bör användas för jämförelse mellan plana solfångare och vakuumsolfångaren. Simuleringsresultaten för plana solfångare är låga jämfört med den energi man samlar in i dagens solfångarfält (ca 350 kWh/m<sup>2</sup> solfångare, år). Anledningen till skillnaden är främst att klimatdata för Stockholm 1986 är något sämre än ett normalår, samt att man i ett solfångarfält kan ha stora variationer i driftmedeltemperaturen under ett driftår.

På grund av att denna solfångare har en relativt stor reflektoryta i förhållande till absorbtoryta, är den insamlade energin starkt beroende av reflektorns egenskaper. Figur 4 nedan visar hur insamlad energi per kvadratmeter mottagna strålning beror av reflektorns reflektans. Diagrammet gäller för koldioxid vid trycket 10 mbar och koncentration 1:4 med samma driftmedeltemperaturer som ovan.



Figur 4. Energiinsamlingens beroende av reflektorns reflektans.

I kapitel 5 kommer även totala investeringskostnaden per producerad kWh för respektive solfångare att jämföras.

#### 4.2 Material

Den viktigaste materialfrågan att lösa gäller vakuumsolfångaren. Vi har kontakter med både plast- och glastillverkare. En ny typ av plast (Kamax) kan eventuellt användas, men ett av problemen med plast gäller långtidsstabiliteten mot bland annat vädrets påverkan. Fördelarna är främst priset och hanterbarheten.

Fördelarna med glas gäller främst de optiska egenskaperna och långtidsstabiliteten.

Ett av de mest intressanta företagen när det gäller glas är Schott-Ruhrglas i Tyskland som visat intresse för samarbete.

Enligt Glasforskningsinstitutet (Glafo) i Växjö, finns stor kompetens på området i Tjeckoslovakien.

#### 4.3 Säkerhet

I samband med vakuumteknik finns alltid en viss risk för implosion. Detta problem har diskuterats med bland andra yrkesinspektionen och Statens anläggningsprovning (SA).

Enligt SA är volymen vakuum i ett system avgörande för säkerheten. Anläggningar med en volym mindre än 10 m<sup>3</sup> klassas enligt SA som ofarliga.

I denna solfångaranläggning kommer vakuumrören att vara skilda från varandra med ventiler på grund av risken för läckage eller annan skada på rören. Därför kan varje rör betraktas som ett system för sig. Volymen på varje vakuumrör kommer att bli 3 - 4 m<sup>3</sup>.

Eventuellt kan trycket ökas i hela eller delar av systemet vid underhållsarbeten.

För beräkningar av rörens hållfasthet finns beräkningsprogrammet BOSOR tillgängligt hos SA.

Om intresse finns att undersöka förloppet vid en implosion har Försvarets forskningsanstalt (FOA) höghastighetskamera att hyra.

#### 5 Kostnadsuppskattning

I kostnadsuppskattningen ingår endast kostnaden för själva solfångaren och för markberedning. Anledningen till att markkostnaden är intressant är att vakuumsolfångaren har betydligt högre energiinsamling per kvadratmeter markyta än de konventionella plana solfångarna.



5.1 Vakuumsolfångare

Solsam Sunergy AB har gjort en kostnadskalkyl för denna vakuumsolfångare. Kostnadsuppskattningen nedan gäller en tänkt anläggning på i storleksordningen 100\*100 m<sup>2</sup>. Med ett C-C-avstånd mellan rören på 800 mm behövs det alltså 12 500 m rör.

Kostnaden för glasrören är fortfarande osäker. Målet är att hitta ett glasrör för under 100 kr/m. Enligt Glafo (se kapitel 4.2) bör glasrör som uppfyller våra krav kunna fås för 100 kr/m i Tjeckoslovakien.

Materialkostnader kr/m<sup>2</sup> markyta:

1.	Glasrör	125
	(antaget 100 kr/m rör)	
2.	Silikon för tätning och tvärskarvar	20
3.	Absorbator	75
4.	Stativ betong	20
	järn	20
5.	Reflektor	60
6.	Reflektormaterial	60
<hr/> SUMMA:		380 kr/m <sup>2</sup>

Beräknat monteringsarbete (timmar):

Betongbalkar	200	
Stativ	200	
Rörmontering	950	
Evakuering och uppstart	80	
<hr/> SUMMA:		1430 timmar

Med lönen 300 kr/h blir monteringskostnaden 43 kr/m<sup>2</sup>.

Kostnaderna för den vakuumteknik som behövs uppskattas till (kr):

Vakuumpump	50 000	
Magnetventiler	125*1500	
Magnetventiler för koldioxid	125*200	
Elskåp, tryckvakt mm	15000	
<hr/> SUMMA		277 500

Kostnaden för vakuumtekniken blir alltså 28 kr/m<sup>2</sup>.

Dessa kostnader är ungefärliga, men utgör endast ca 6 % av totalkostnaden.

Kostnaden för koldioxid är i stort sett försumbar. Priset är ca 25 kr/m<sup>3</sup> vid normalt tryck och temperatur. Att fylla anläggningen en gång med koldioxid till 10 mbar tryck kostar ca 100 kr. På grund av ett visst oundvikligt läckage i systemet krävs påfyllning av koldioxid, men kostnaden blir ändå obetydlig.

Summering av kostnaderna (kr/m<sup>2</sup> mark):

Material	380
Montering	43
Vakuumteknik	28
<u>Oförutsett</u>	<u>49</u>
SUMMA	500 kr/m <sup>2</sup>

Totala investeringskostnaden (med årsinsamlingen 334 kWh/m<sup>2</sup> aperturyta enligt tidigare) för denna solfångare blir då:

1.50 kr/(kWh,år)

## 5.2 Plana solfångare

Dagens plana, högeffektiva solfångare förväntas på sikt kosta ca 700 kr/m<sup>2</sup> enligt Solsam Sunergy AB. Med en energiinsamling på ca 350 kWh/m<sup>2</sup> solfångare, blir då investeringskostnaden ca 2 kr/kWh,år.

I denna kostnadsberäkning skall dock (enligt kapitel 5.1) energiinsamlingen 315 kWh/m<sup>2</sup> solfångare användas för att få en relevant jämförelse med vakuumsolfångaren. Den på sikt förväntade investeringskostnaden för plana solfångare blir då ca 2.20 kr/(kWh,år).

### 5.3 Kostnadsjämförelse

Vakuumsolfångaren är alltså 30-35 % billigare än den på sikt förväntade kostnaden för plana solfångare.

En ytterligare fördel med vakuumsolfångaren är att den har en betydligt högre energiinsamling per kvadratmeter markyta än den plana solfångaren. Om markytbehovet beaktas i kostnadsjämförelsen, ökar alltså skillnaden.

I [ref 3] kostar markberedningen mellan 34 och 70 kr/m<sup>2</sup> markyta beroende på terrängen. I denna kostnadsberäkning använder vi det i [ref 3] angivna medelvärdet 52 kr/m<sup>2</sup> markyta.

Energiinsamlingen per kvadratmeter markyta är enligt kapitel 5.1 ca 334 kWh/m<sup>2</sup> för vakuumsolfångaren och ca 158 kWh/m<sup>2</sup> för den plana solfångaren (i ett solfångarfält med 50% marktäckningsgrad).

Inklusive markkostnad blir då investeringskostnaden för respektive solfångare:

Vakuumsolfångare:

$$1.50 + 52/334 = \underline{1.65 \text{ kr}/(\text{kWh}, \text{år})}$$

Plana solfångare:

$$2.22 + 52/158 = \underline{2.55 \text{ kr}/(\text{kWh}, \text{år})}$$

6 Slutsatser

Om denna typ av solfångare kommer att bli billigare än dagens teknik är mycket beroende av kostnad för vakuumrör och kostnad för, och egenskaper hos reflektorn.

Med ett reflektormaterial som har reflektansen  $R=0.8$  även efter lång exponering utomhus, blir investeringskostnaden (kr/(kWh,år)) för denna solfångare ca 30-35 % lägre än för dagens plana solfångare.

En betydande ökning (ca 10 %) av insamlad energi fås om luft som isolerande gas byts ut mot koldioxid.

Fördelarna med denna typ av solfångare ökar om markkostnaderna är höga eller tillgången på lämplig mark begränsad.

Resultaten i denna förstudie bör leda till fortsatta studier av förutsättningarna för denna solfångare och senare till ett mätprojekt där resultaten kan verifieras praktiskt.

7            Referenser

- 1            FUNSETH, B, KARLSSON, A.  
En experimentell studie av värme-  
förlusternas tryckberoende hos en  
rörsolfångare.  
Vattenfall Utveckling AB  
F-90:3
- 2            WELFORD, W.T, WINSTON, R,  
The Optics of Nonimaging Concen-  
trators. Light and solar energy.  
ACADEMIC PRESS, New York,  
San Francisco, London, 1978.
- 3            CLAESSON, T, GRÄSLUND, J,  
HULTMARK, G, JILAR, T.  
Säsongslagrad solvärme i Kungälv,  
R104:1988.



R18: 1991

ISBN 91-540-5312-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6811018

Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang

Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna

Cirkapris: 40 kr exkl moms