



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

R90:1989

**Återladdning av en
bergvärmekollektor med
ytfilmssolfångare**

Fältförsök och simulering

Monika Söderlund

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Adnr	
Plac	Skr B

Byggeforskningsrådet

R90:1989

ÅTERLADDNING AV EN BERGVÄRMEKOLLEKTÖR
MED YTFILMSSOLFÄNGARE

Fältförsök och simulering

Monika Söderlund

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860836-4
från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen
för vattenteknik, Tekniska högskolan i Luleå.

REFERAT

Rapporten redovisar ett system där ytsolfångare används för att återladda ett bergvärmesystem med solvärme. Projektets syfte har varit att verifiera och modifiera en tidigare utvecklad beräkningsmodell. Det har skett efter mer detaljerade studier av avdunstning från vattenfilm.

En ytfilmssolfångare är t. ex en asfalt-eller takyta som utnyttjas som solfångare genom att en tunn vattenfilm får rinna över och värmas av ytan. Jämfört med konventionella solfångare utnyttjas förutom direkt solenergi även energi från uteluften då den används som lågtemperatursolfångare (10 - 15 C).

Ett bergvärmesystem utnyttjar värme i berggrunden som värmekälla till en värmepump.

Beräkningar visar att för ett bergvärmesystem med 9 borrhål kan ett borrhål inbesparas om återladdning sker under sommaren. Borrhålen är 105 meter och har ett inbördes avstånd på 5,25 meter.

I Bygghälsningsrådets 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.

R90:1989

ISBN 91-540-5099-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1989

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	SIDA
1. SAMMANFATTNING	4
2. BAKGRUND	6
3. BESKRIVNING AV FÖRSÖKET	7
4. SIMULERING AV FÄLTFÖRSÖK	9
4.1 Allmänt	9
4.2 Modifiering av beräkningsmodell	10
4.3 Resultat	14
5. ÅTERLADDNING AV EN BERGVÄRMEKOLLEKTOR	17
5.1 Allmänt	17
5.2 Förutsättningar	19
5.3 Bergvärmesystemet	20
5.4 Resultat	20
6. SLUTSATSER	25
REFERENSER	26

Förord

Ytfilmssolfångare är asfalt- eller takytor som utnyttjas som enkla solfångare genom att en tunn vattenfilm får rinna över och värmas på ytorna.

Iden med ytfilmssolfångaren väcktes 1982/83 av forskare Bo Nordell som sedan dess fungerat som projektledare för avdelningens forskning om ytfilmssolfångare.

Forskningsassistent Monika Söderlund har genomfört forskningen som en del i sin forskarutbildning. Resultaten från forskningen har främst dokumenterats i form av konferensbidrag till internationella konferenser. En teknisk licentiat avhandling presenterades i juni 1987.

Syftet med aktuell studie var att i ett fältförsök testa ytfilmssolfångarens funktion tillsammans med en bergvärmekollektor samt att genom simuleringar belysa solfångarens potential för återladdning av bergvärmesystem. Speciellt skulle avdunstningen från ytan studeras.

Delar av projektet har avrapporterats i konferensbidrag. Försöksuppställning och mätdata har rapporterats vid ISES Solar World Congress, Hamburg, 13-18 september 1987. Avdunstningsstudien har rapporterats vid North Sun 1988, Borlänge, 29-31 augusti 1988.

Byggforskningsrådet har finansierat forskningen om ytfilmssolfångaren. Jag vill varmt tacka forskare Bo Nordell för uppmuntran, stöd och delaktighet i min forskning. Teknikerna Anders Westerberg och Rolf Engström har hjälpt mig med fältförsöket och mätsystemet. Assistent Christina Nilsson har skrivit ut manus. Till dessa vill jag rikta ett varmt tack.

1. SAMMANFATTNING

Tak- och asfaltytor kan användas som solfångare genom att en tunn vattenfilm får rinna över och värmas på ytorna s k ytfilmssolfångare.

Ytfilmssolfångaren är en värmeabsorbator för solenergi i alla dess former. Jämfört med konventionella solfångare utnyttjar den energi förutom direkt från solen även från tex uteluften. Det här innebär att energiuttaget är högt, 460 kWh/m^2 , sommar, om den används som lågtemperatursolfångare ($10\text{-}15^\circ \text{C}$).

I ett bergvärmesystem utnyttjas värmen i berggrunden som värmekälla till en värmepump. Värmen tas ut genom ett eller flera vertikala borrhål som är $100\text{-}150$ m djupa. I ett system med många borrhål är den termiska influensen mellan borrhålen stor. Detta innebär att anläggningen drabbas av prestandaförsämringar under sin livstid. För att undvika detta måste sådana anläggningar återladdas med värme.

Ytfilmssolfångaren kan användas för att återladda bergvärmesystem under sommaren med solvärme. I ett bergvärmesystem med 9 borrhål, 105 m djupa och ett inbördes avstånd i markplanet på 5.25 m är det beräknade möjliga energiuttaget $111\ 500 \text{ kWh/år}$ om anläggningen återladdas med $26\ 100 \text{ kWh/sommar}$ från en ytfilmssolfångare. Återladdningsgraden är alltså ca 25% och den återladdade energin från ytfilmssolfångaren är ca 300 kWh/m^2 . Utan återladdning är det möjliga energiuttaget $99\ 100 \text{ kWh/år}$. Man måste alltså borra ett hål till i den anläggning som inte återladdas för att få ut samma energimängd.

Den möjliga återladdade energin från ytfilmssolfångaren begränsas av utloppstemperaturen från densamma. Utloppstemperaturen kan höjas genom att man recirkulerar delar av eller hela vattenflödet över taket eller genom att man minskar avdunstningsförlusten från ytan. Någon närmare undersökning av hur mycket återladdningsgraden skulle öka med hjälp av dessa åtgärder har inte utförts i denna studie.

Återladdning av bergvärmesystem är främst aktuellt för bergvärmearläggningar där den termiska influensen mellan borrhålen är stor. För underdimensionerade system kan återladdning på sikt bli en nödvändighet.

2 BAKGRUND

I Sverige finns för närvarande ungefär 65 000 m² solfångaryta med en total värmeproduktion på ca 0.02 TWh/år. Marknadspotentialen för solvärme med nu kända system och hinder tror man ligger mellan 2-12 TWh/år.

Tak- och asfaltytor kan utnyttjas som enkla solfångare genom att en tunn vattenfilm får rinna över och värmas på ytorna. De sk ytfilmssolfångarna har studerats vid LuTH sedan 1983. Studierna inleddes med ett fältförsök under sommaren 1983 (Nordell, Söderlund 1984). Vidare har ytfilmssolfångarens funktion simulerats med de styrande mass- och värmeöverföringsekvationerna (Söderlund 1985).

I ett bergvärmesystem utnyttjas värmen i berggrunden som värme-källa till en värmepump. Värmen tas ut genom ett eller flera vertikala borrhål som är 100-150 m djupa med ett inbördes avstånd i markplanet på 4-40 m. På grund av värmeuttaget avkyls berget. I ett system med tätt lokaliserade borrhål uppstår termisk influens mellan borrhålen, vilket innebär att man får lägre uttagskapacitet från dessa borrhål än från oberoende hål. För att undvika prestandaförsämringar hos systemen måste bergkollektorn återladdas.

Under sommaren 1987 testades i ett fältförsök ytfilmssolfångaren tillsammans med en bergkollektor. Solfångaren användes för att ladda berget med solvärme under sommarmånaderna.

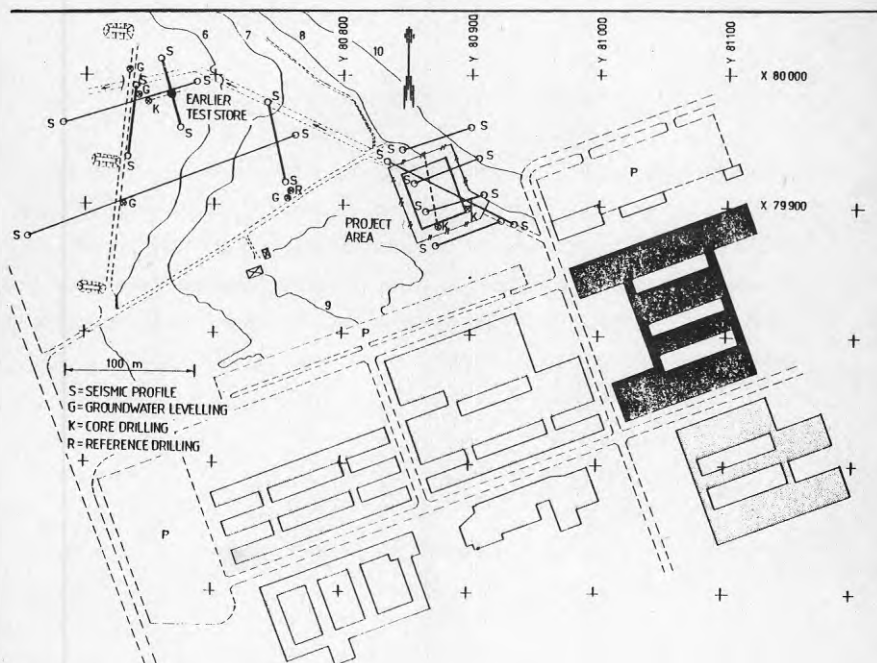
Syftet med försöket var att verifiera och modifiera den tidigare utvecklade beräkningsmodellen samt att studera ytfilmssolfångarens funktion i ett bergvärmesystem. Dessutom skulle avdunstningen från ytan studeras speciellt.

Delar av projektet är avrapporterat i form av konferensbidrag. Försöksuppställning och mätdata är rapporterat vid ISES Solar World Congress, Hamburg, 13-18 september 1987, "Field Test with Water Film Solar Collectors". Avdunstningsstudien är rapporterad vid North Sun 1988, Borlänge, 29-31 augusti 1988, "Evaporation

from Water Film Solar Collectors".

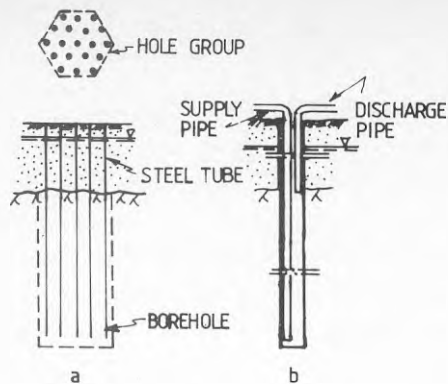
3. BESKRIVNING AV FÖRSÖKET

Ytfilmsolfångaren bestod av ett 30 m² korrugerat plåttak som användes för att ladda en bergkolektor på 400 m³. Bergkolektorn är lokaliserad invid Tekniska Högskolan i Luleå, se Figur 1.



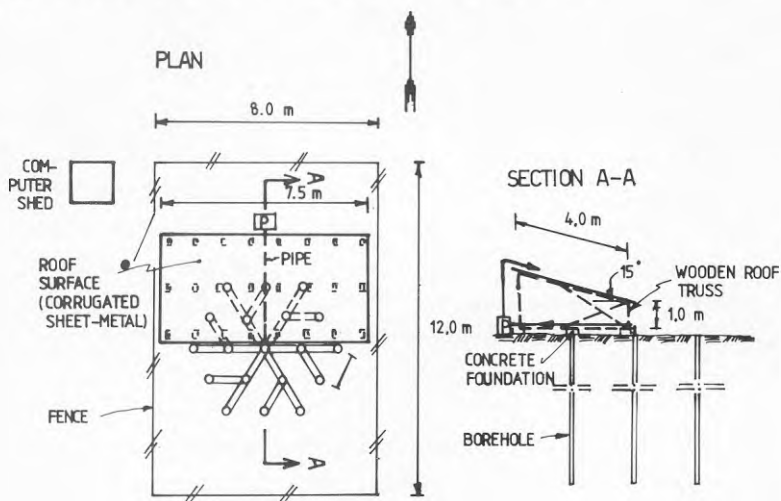
Figur 1. Bergkolektorns (gamla lagret) lokalisering invid Tekniska Högskolan i Luleå.

Bergkolektorn har tidigare använts för avdelningens värmelagringforsknig (se t ex Nordell 1984). Kolektorn består av 19 borrhål med diametern 52 mm och djupet 21 m. Jordtäcket tjocklek är 6 m. Jordgenomgången är skyddad med hjälp av foderrör som nedborrats ca 0.2 m och fastgjutits i berggrunden. Berggrunden består huvudsakligen av grå medelkornig gnejs. I Figur 2 visas värmelagrets uppbyggnad.



Figur 2. Planskiss och sektionsskiss av bergkolektorn.

Under sommaren 1987 laddades bergkolektorn med solvärme från taksolfångaren. Vattnet fördelades över ytan med hjälp av ett perforerat PVC-rör, som placerades högst upp på taket vid takåsen. Det svarta korrugerade plåttaket byggdes på takstolar och placerades över lagerområdet. Takytan var oisolerad. En principskiss av försökupställningen visas i Figur 3.



Figur 3. Försökupställning med ytfilmssolfångare 30 m^2 och bergkolektor 400 m^3 (Söderlund 1987).

Cirkulationssystemet i bergkolektorn var öppet och bestod av 6 olika grupper om vardera 3 hål. Hålen var ihopkopplade parallellt.

Under försöket mättes klimatdata såsom vindhastighet, totalinstrålning, relativ luftfuktighet och lufttemperatur med en datalogger var 15:e minut. Vattenflöde liksom vattnets inlopps- och utloppstemperatur mättes också med dataloggern.

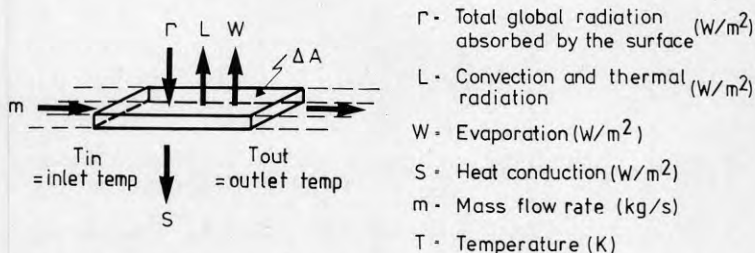
Vid utvärderingen visade det sig att strålningsmätaren ej fungerat tillfredsställande. Strålningsdata från SMHI:s mätstation på Kallax 16 km från aktuellt försöksområde har därför använts istället.

I konferensbidraget till ISES Hamburg redovisas mätdata och resultat från fältförsöket. Framställningen i denna rapport koncentrerar sig istället på simuleringar av försöket och diskussioner kring ytfilmssolfångarens möjligheter att återladda en bergvärmeanläggning.

4. SIMULERING AV FÄLTFÖRSÖK

4.1 Allmänt

Ytfilmssolfångaren fungerar så att den infallande solstrålningen absorberas och omvandlas till värme på ytan (absorbatoren). En del av värmen tas upp av vattnet (värmebäraren) som rinner över ytan och utgör alltså den nyttiga uttagna energin från ytan. Resterande del förloras till omgivningen i form av konvektions-, värmestrålnings-, värmelednings- och avdunstningsförluster. Energibalansen i Figur 4 beskriver ytfilmssolfångarens funktion.



Figur 4. Energibalans för ytfilmssolfångare (Söderlund 1985).

Energibalansen kan skrivas som

$$mc (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) = \Delta A (\Gamma - L - S - W) \quad (1)$$

där c är värmekapaciteten för vatten, $4180 \text{ J/m}^3, \text{ K}$.

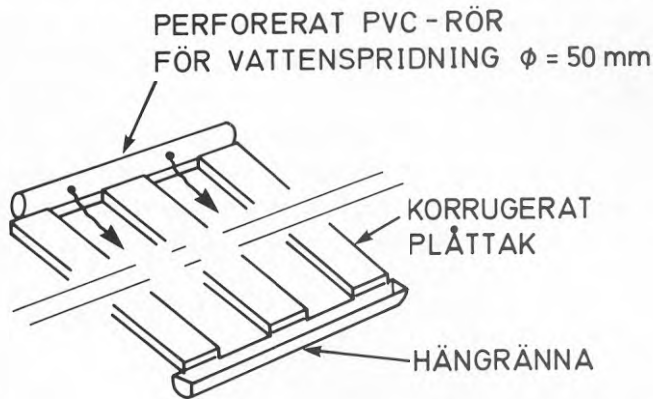
Ekvation (1) ger utloppstemperaturen som

$$T_{\text{out}} = \frac{\Delta A}{mc} (\Gamma - L - S - W) + T_{\text{in}} \quad (2)$$

I den tidigare utvecklade beräkningsmodellen, se Söderlund 1985, bestäms de ingående storheterna i ekvation (2), varvid utloppstemperaturen från solfångaren kan simuleras.

4.2 Modifiering av beräkningsmodell

Vattenspridningen över ytfilmssolfångaren utfördes så att vattnet rann i botten av korrugeringarna på taket, se Figur 5. Denna typ av spridning torde också bli det naturliga i ett verkligt fall.



Figur 5. Princip av korrugerat tak som ytfilmssolfångare.

På grund av den här spridning blev inte hela taket blött. De torra delarna bidrog emellertid till vattnets uppvärmning genom värmestrålning och värmeledning. I beräkningsmodellen är det därför svårt att veta vilken yta man skall använda. Man skulle kunna tänka sig att räkna på en s_k effektiv yta som är större än den våta ytan och mindre än den totala ytan.

För att passa det korrugerade plåttaket har modellen modifierats enligt nedanstående beskrivning.

$$T_{\text{out}} = \frac{\Delta A}{mc} \Gamma - \left(\frac{\Delta A'}{mc} L(T') + \frac{\Delta A''}{mc} L(T'') \right) - \frac{\Delta A}{mc} S(T') - \frac{\Delta A'}{mc} W(T') + T_{\text{in}} \quad (3)$$

där $\Delta A = \Delta A' + \Delta A''$

där ΔA är totala ytan, $\Delta A'$ är blöta ytan, $\Delta A''$ är torra ytan, T' är vattentemperaturen och T'' är temperaturen på de torra delarna av taket.

Solinstrålningen sker på hela ytan och kan beräknas på samma sätt som tidigare, se Söderlund 1985. Värmestrålningen och konvektionen sker dels vid temperaturen, T' , på den blöta delen av taket, dels vid temperaturen, T'' , på den torra delen av taket. Avdunstningen sker endast från den blöta delen av taket.

För att beräkna konvektionen och värmestrålningen från de torra delarna av taket är det nödvändigt att känna temperaturen på dessa delar. Från tidigare mätningar (Söderlund et.al.1984) har det visat sig att övertemperaturen på de torra delarna av taket är 4-7 °C vid klart väder och 1-4 °C vid mulet väder.

Ekvationerna för konvektion och värmestrålning kan tecknas enligt nedan.

Värmeöverföringstalet, h_c ($\text{W/m}^2, \text{K}$), p g a konvektion ges av (4), se Söderlund 1985.

$$h_c = 5.7 + 3.8 u \quad (4)$$

där u är vindhastigheten (m/s).

Värmeöverföringstalet, h_r ($\text{W/m}^2, \text{K}$), p g a strålning ges av (5),

(6), se Söderlund 1985.

$$h_r' = \varepsilon \tau \frac{(T')^4 - T_{\text{sky}}^4}{T' - T_{\text{air}}} \quad \text{Blöt yta} \quad (5)$$

$$h_r'' = \varepsilon \tau \frac{(T'')^4 - T_{\text{sky}}^4}{T'' - T_{\text{air}}} \quad \text{Torrt yta} \quad (6)$$

där ε är emissionstalet för ytan, τ är Stefan-Boltzmanns konstant, T_{sky} är himlens temperatur (K) och T_{air} är lufttemperaturen (K).

Värmeöverföringen p g a värmestrålning och konvektion ges nu av (7) och (8).

$$L(T') = (h_c + h_r') (T' - T_{\text{air}}) \quad (7)$$

$$L(T'') = (h_c + h_r'') (T'' - T_{\text{air}}) \quad (8)$$

Strålningsutbytet mellan marken och undersidan av taket har försumrats, därför att temperaturskillnaden mellan taket och marken är liten, se ekvation (9).

$$Q = \text{Konst.} \tau (T_{\text{tak}}^4 - T_{\text{mark}}^4) \quad (9)$$

där Q är värmeväxlingen, T_{tak} är temperaturen på takets undersida (K) och T_{mark} är temperaturen på marken (K).

Konvektionen på takets undersida har beräknats enligt (10)

$$\text{Nu} = 0.037 \text{Re}^{0.80} \text{Pr}^{0.33} \quad (10)$$

där Nu är Nusselts tal, Re är Reynolds tal och Pr är Prandtl's tal.

Formeln gäller för påtvingad turbulent strömning över en plan platta. Modellen ger ett värmeöverföringstal på ca $5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ för taket.

Att hitta en lämplig modell för beräkning av avdunstningen från

ytfilmssolfångare är svårt, se Söderlund 1987. Den modell som använts är den sk Aerodynamiska modellen, enligt (11).

$$E = 1.3 \cdot 0.13 (1 + 0.72 u) (e_0 - e) \quad (11)$$

där E är avdunstningen (kg/m^2 , dag), e_0 är mättnadsångtrycket för vattnet (mbar) och e är luftens ångtryck (mbar).

För att undersöka avdunstningens storlek genomfördes under en vecka sommaren 1987 avdunstningsmätningar på taket, se Söderlund 1988. Utgående från dessa mätningar har en linjär regressionsmodell anpassats till mätdata enligt (12)

$$K = 1.3794 + 0.5843 \ln (ue_0 - ue) + 1.7920 \cdot 10^{-3} H - 0.018074RF \quad (12)$$

där K är avdunstningen (g/s), H är totalinstrålningen mot ytan (W/m^2) och RF är relativa luftfuktigheten (%).

Svagheten med linjära regressionsmodeller är att de gäller för mätserien i fråga och därför kan vara svåra att överföra till andra förhållanden. I det här fallet bestod mätserien av 7 h varje dag under en vecka.

Den linjära regressionsmodellen (12) har använts för simulering av ytfilmssolfångarens funktion. Emellertid inträffar svårigheter då kondensation inträffar på ytan. Den naturliga logaritmen i ekvation (12) är inte definierad om vattnets ångtryck är lägre än luftens ångtryck.

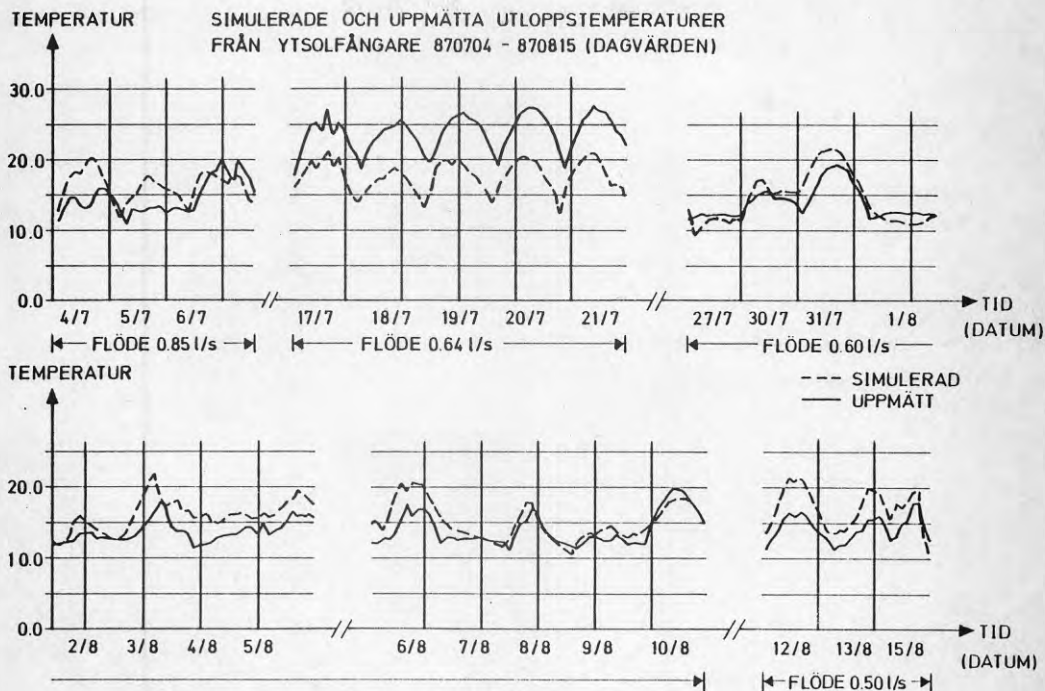
Mätningarna, se Söderlund 1988, visar också att den använda Aerodynamiska modellen, stämmer ganska bra överens med uppmätt avdunstning för vattentemperaturer under 25°C . Eftersom ytfilmssolfångaren till övervägande del jobbar med dessa temperaturer har simuleringarna utförts med denna modell.

4.3 Resultat

Den modifierade beräkningsmodellen har använts för att simulera aktuellt fältförsök. Timmedelvärden för uppmätta klimatdata användes som indatavärden för simuleringarna. Emissionstalet för ytan har valts till 0.75, transmissions-absorptionstalet har valts till 0.85.

Cirkulationssystemet i bergkollektorn var öppet varför ytfilms-solfångaren och bergkollektorn är ihopkopplade genom att utloppstemperaturen från bergkollektorn är inloppstemperatur till solfångaren och utloppstemperaturen från solfångaren är inloppstemperatur till bergkollektorn.

I Figur 6 visas resultatet av simuleringarna.

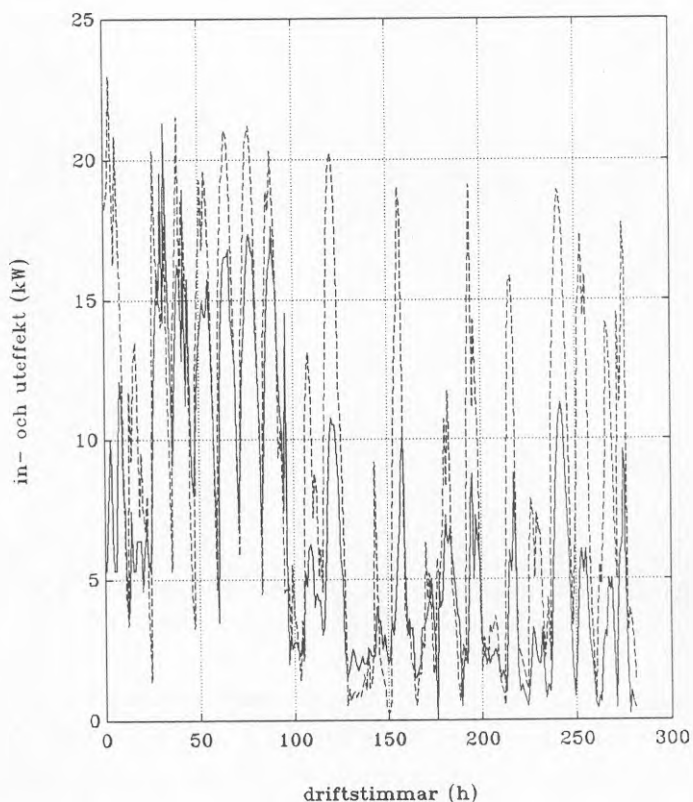


Figur 6. Simulerade och uppmätta utloppstemperaturer från ytfilmssolfångaren under fältförsök i Luleå 870704-870815.

Simulerade och uppmätta temperaturer stämmer väl överens förutom för perioden 17/7-21/7.

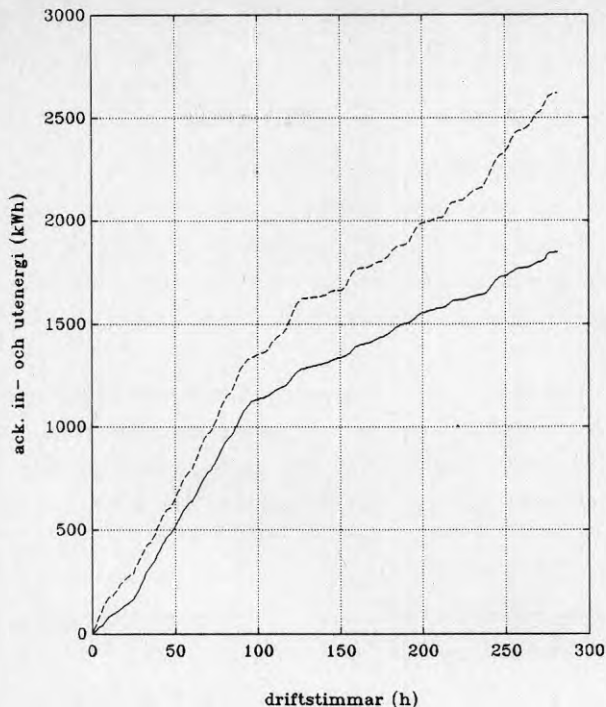
I Figur 7 visas uppmätt instrålad effekt (kW) mot takytan och uppmätt inladdad effekt till bergkollektorn för samma tidsperiod som i Figur 6. Under dagarna 6/7, 17/7-21/7 (drifttime 30-90 i Figur 7) var förhållandet mellan inladdad effekt och instrålad effekt osedvanligt högt jämfört med andra dagar. Det är svårt att hitta en fysikalisk förklaring till detta. Kanske stämmer sol-

strålningsdatat från Kallax mätstation under denna period dåligt överens med den verklig solinstrålning i försöksområdet. Avvikelsen mellan simulerad och uppmätt utloppstemperatur i Figur 6 är också stor för perioden.



Figur 7. Uppmätt instrålad effekt (kW) (streckad linje) mot ytfilmssolfångaren och uppmätt inladdad effekt (kW) (heldragen linje) till bergkollektorn under fältförsök i Luleå.

Akkumulerad instrålad solenergi samt ackumulerad inladdad energi till bergkollektorn visas i Figur 8.



Figur 8. Ackumulerad instrålad solenergi (kWh) (streckad linje) och ackumulerad inladdad energi till bergkollektorn (kWh) (heldragen linje) under fältförsök i Luleå.

Instrålningen har varit 2 621 kWh och den inladdade energin till bergkollektorn har varit 1 846 kWh. Den inladdade energin från solfångaren till bergkollektorn består förutom av nyttiggjord solenergi även av nyttiggjord värme ur luften.

5. ÅTERLADDNING AV EN BERGVÄRMEKOLLEKTOR

5.1 Allmänt

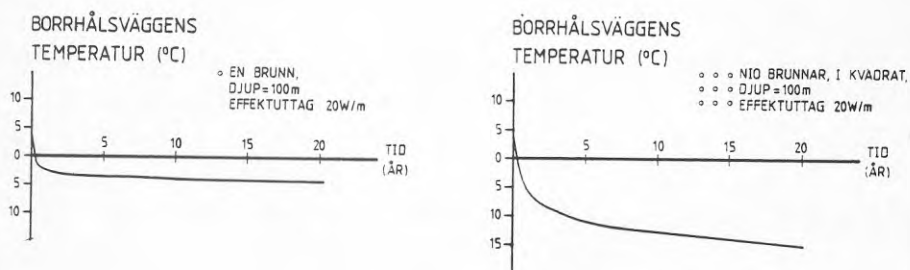
I ett bergvärmesystem utnyttjar man den lagrade värmen i berggrunden som värmekälla till en värmepump. Värmeenergin tas ut med hjälp av ett eller flera vertikala borrhål i berggrunden. Värmen tillförs borrhålet genom värmeledning i bergmassan. Man skiljer på öppna och slutna bergvärmesystem. I ett öppet system står det cirkulerade vattnet i borrhålet i direkt kontakt med borrhålsväg-

gen. I ett slutet system cirkuleras en köldbärare i en kylslang i borrhålet.

Fördelen med öppna system är att värmeöverföringen i borrhålet blir bättre än för ett slutet system. Nackdelen är att temperaturen måste vara över 0°C för att systemen skall fungera. I ett slutet system däremot fryser man ner hela borrhålet och utnyttjar därigenom energin från fasomvandlingen.

Bergvärmesystemen kan utföras som en enskild brunn eller som ett system av flera brunnar. Brunnar som ligger nära varandra kommer att påverka varandra termiskt. För ett system med N stycken brunnar blir värmeuttagskapaciteten lägre än för N stycken oberoende brunnar.

I Figur 9 visas temperatursänkningen för en brunn och för nio brunnar i ett system.



Borrhålsavstånd = 10 m

Figur 9. Beräknad temperatursänkning hos en bergvärmebrunn och nio bergvärmebrunnar i ett system.

För en enskild brunn sker den huvudsakliga temperatursänkningen under första årets drift, medan temperatursänkningen är betydande under hela anläggningens livstid för anläggningen med nio brunnar.

Återladdning av en enskild brunn är inte nödvändig, eftersom denna i stort sett återställer sig själv under sommaren. Däremot

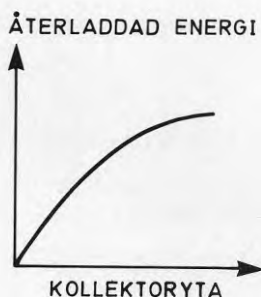
måste man för att undvika prestandaförsämringar hos större bergvärmesystem antingen återladda systemen eller dimensionera systemen så att de klarar effektbehovet mot slutet av sin driftperiod. Den senare lösningen innebär att bergkollektorn är överdimensionerad i början av driftperioden.

Man kan säga att nyttan med återladdning ökar med minskat avstånd mellan borrhålen och ökat antal borrhål. Hos sådana system är den termiska influensen mellan hålen stor varför också tempertursänkningen är stor under hela anläggningens driftperiod, om den inte återladdas.

Mot bakgrund av detta har ytfilmssolfångarens potential för återladdning av ett bergvärmesystem simulerats. För studien valdes en bergvärmeanläggning där den termiska influensen mellan borrhålen är tämligen hög utan att vara extrem.

5.2 Förutsättningar

I Figur 10 visas en principiell figur över hur den möjliga återladdade energin från ytfilmssolfångaren förhåller sig till kollektorytan.



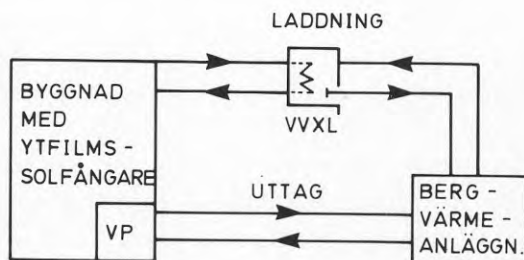
Figur 10. Principfigur av den återladdade energin som funktion av kollektorytan.

Utloppstemperaturen från ytfilmssolfångaren når en maximal nivå då värmetilskott och förluster balanserar varandra. En större

kollektoryta bidrar då inte i sig till en ökad utloppstemperatur. Därför ökar inte heller den möjliga återladdade energin linjärt med kollektorytan.

5.3 Bergvärmesystemet

En bergvärmekollektor bestående av 9 borrhål i kvadrat används som värmekälla till en värmepump. Avståndet mellan hålen i markplanet är 5.25 m och djupet är 105 m, radien är 0.055 m. Bergkolektorerna återladdas sommartid med hjälp av en ytfilmssolfångare. I figur 11 visas en principskiss av värmesystemet.



Figur 11. Principskiss av bergvärmesystem.

Bergvärmekollektorerna utformas som ett slutet system. Den lägsta tillåtna temperaturen in till värmepumpens förångare är -7°C .

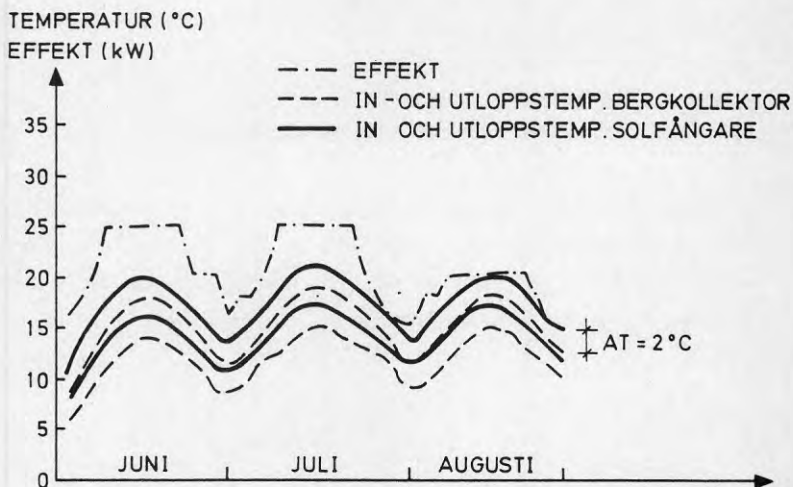
5.4 Resultat

Klimatdata för Stockholm har använts för att simulera den återladdade energin. Klimatdatat är representerat som timmedelvärden för ett juni, juli och augusti dygn.

Temperaturfallet över värmeväxlaren mellan solfångaren och berg-

kollektorn, se Figur 11, antas vara 2°C . Som ytfilmssolfångare används ett isolerat korrugerat plåttak. Taket är isolerat med 15 cm mineralull med värmeledningstalet 0.05 W/m,K . Emissionstalet är 0.75 och transmissions- absorptionstalet är 0.85 . Värmeledningstalet i berget är 3.5 W/m, K , värmekapaciteten är $2\,160\,000\text{ J/m}^3, \text{ K}$ och ostörd omgivningstemperatur är 6°C . Värmenotståndet, m_R -värdet i borrhålen är 0.15 K/(W/m) , dvs en sluten kollektor.

Ett 90 m^2 korrugerat plåttak användes för att återladda bergkollektorn. Flödet över densamma var 1.5 l/s . Den återladdade effekten var ungefär 25 W/m under dagtid. I Figur 12 visas beräknade in och utloppstemperaturen till och från bergkollektorn samt in och utloppstemperaturen till och från solfångaren. Dessutom visas den inladdade effekten till bergkollektorn i kW.

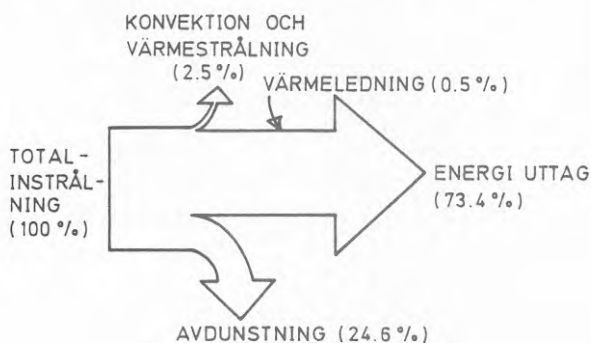


Figur 12. Beräknad in och utloppstemperatur till och från bergkollektorn respektive ytfilmssolfångaren samt inladdad effekt till bergkollektorn i kW. Temperaturfallet över värmeväxlaren mellan solfångaren och berget är 2°C .

Den uttagna energin för de tre medelklimatdygnen är 844 kWh dvs. ungefär 290 kWh/m^2 och sommar.

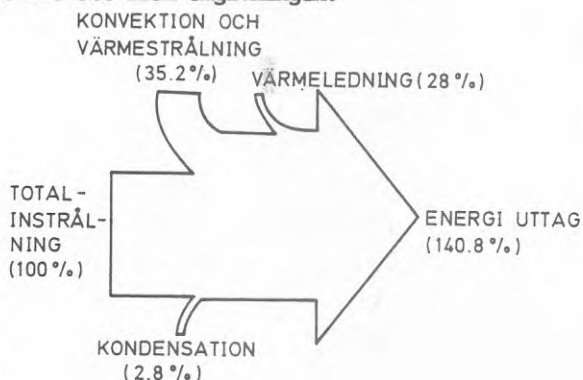
I Figur 13 visas en energibalans för simuleringarna. En fjärdedel

av den instrålade energin förloras i form av avdunstningsförluster. Energibalansen som redovisas är en genomsnittlig balans för hela perioden. Förlusttermerna, konvektionen, värmeledningen, värmeledningen och avdunstningen, är alltså redovisade som nettovärden för hela perioden. Vid en viss tidpunkt kan tex konvektionen vara ett tillskott i energibalansen.



Figur 13. Energibalans för ytfilmssolfångare.

I Figur 14 redovisas en annan energibalans, se Söderlund 1986, för ytfilmssolfångaren. Denna gäller för extrema lågtemperaturtillämpningar. På grund av de låga temperaturerna får solfångaren energitillskott från omgivningen.



Figur 14. Energibalans för ytfilmssolfångaren för en konstant inloppstemperatur på 5 °C och en konstant utloppstemperatur på 15 °C (Söderlund 1986).

Bergvärmesystemets (enligt Figur 11), funktion under en 20 års

period har beräknats med hjälp av Markvärmegruppens (Eskilson, P. 1985) PC-program för bergvärmeanläggningar.

I Tabell 1 visas lägsta fluidtemperatur och årsmedelfluidtemperatur för dels en återladdad dels en inte återladdad bergvärmeanläggning. Återladdningen är 25 W/m dagtid under juni, juli och augusti med ytfilmssolfångaren enligt Figur 12. Under september-maj är effektuttaget 18 W/m. Energiuttaget ur anläggningen är alltså 111 500 kWh/år och den återladdade energin är 26 100 kWh/sommar.

Tabell 1. Beräknad lägsta fluidtemperatur och årsmedelfluidtemperatur för en återladdad och inte återladdad bergvärmeanläggning.

ÅR	1	2	5	10	20
Återladdad anläggning					
min	-2.7	-3.8	-5.3	-6.2	-7.0
årsmedel	1.7	0.0	-1.7	-2.8	-3.6
Inte återl. anläggning					
min	-3.1	-4.5	-6.3	-7.5	-8.5
årsmedel	0.0	-1.9	-4.1	-4.8	-6.4

Efter första årets drift är skillnaden i lägsta fluidtemperatur mellan de bägge anläggningarna liten. Efter fem års drift skiljer det 1 °C. I anläggningen som inte återladdas blir det problem mellan femte och tionde året eftersom fluidtemperaturen då understiger - 7 °C.

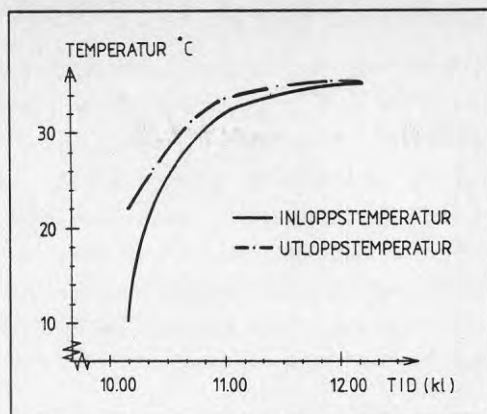
Skillnaden i årsmedelfluidtemperatur är större än skillnaden i lägsta fluidtemperatur. Detta beror på att man får relativt höga temperaturer i berggrunden under sommarmånaderna för den återladdade anläggningen.

För att få samma funktion på en anläggning som inte återladdas dvs min fluidtemperatur - 7 °C, så får inte effektuttaget överstiga 16 W/m. Energiuttaget blir då 99 100 kWh/år. Man kan säga att man måste borra ett hål till för att få ut samma energimängd som i den återladdade anläggningen.

Med en återladdning på 25 W/m under hela dygnet under juni, juli och augusti blir det möjliga energiuttaget ur bergvärmekollektorn istället 123 800 kWh/år dvs en inte återladdad anläggning erfordrar två hål till för att uppnå samma funktion.

Med balanserad återladdning dvs. man återladdar lika mycket som man tar ut är det möjliga energiuttaget ur anläggningen 174 000 kWh/år. För att klara detta måste solfångaren klara av utloppstemperaturer på ca 50 °C. Ytfilmssolfångaren blir inte aktuell för en sådan tillämpning.

Ytfilmssolfångarens möjliga återladdningseffekt till bergvärmekollektorn begränsas av utloppstemperaturen från ytan, se Figur 10. En högre utloppstemperatur erhålls om man recirkulerar vattnet över taket. Detta provades under fältförsöket 1983. För recirkulationen användes en tunna som innehöll 150 l vatten och en pump som pumpade vattnet från tunnan och upp på taket. I Figur 15 visas in- och utloppstemperatur under försöket. Försöket utfördes under en dag med klart väder, lufttemperaturen var 28 °C. Utloppstemperaturen 35 °C uppnåddes efter en timmes recirkulation.



Figur 15. In och utloppstemperatur hos vattnet vid recirkulation av vattnet på taket 75 m^2 under fältförsök med ytfilmssolfångare 1983 (Söderlund et.al. 1984).

6. SLUTSATSER

Ytfilmssolfångaren är en värmeabsorbator för solenergi i alla dess former. Jämfört med konventionella solfångare utnyttjar den energi förutom direkt från solen även från tex uteluften. Det här innebär att energiuttaget från ytfilmssolfångaren är högt, 460 kWh/m^2 , sommar, om den utnyttjas som extrem lågtemperatursolfångare (ca $10\text{--}15 \text{ }^\circ\text{C}$).

Den modifierade simuleringsmodellen för ytfilmssolfångaren fungerar tämligen bra. Avdunstningen från ytan har studerats speciellt inom ramen för detta projekt. En linjär regressionsmodell har tagits fram utgående från mätdata. Svårigheter inträffar emellertid då modellen skall användas för förhållanden som inte överensstämmer med aktuell mätserie. Därför bör avdunstningen studeras mer noggrant förslagsvis i ett väldefinierat och välkontrollerat laboratorieförsök.

Ytfilmssolfångaren kan användas för att återladda bergvärmeanläggningar sommartid med solvärme. Simuleringarna visar att för dessa tillämpningar är energiuttaget från solfångaren ungefär 300 kWh/m^2 , sommar. Återladdningsgraden dvs hur stor del av den uttagna energin som kan återladdas, är ungefär 25 %.

Den möjliga återladdade energin begränsas av utloppstemperaturen från solfångaren. För att höja utloppstemperaturen kan man tex recirkulera delar av eller allt vattnet över solfångaren. Även avdunstningsförlusten är betydande för dessa tillämpningar och det vore önskvärt att begränsa denna. Förslagsvis kan detta utföras genom att man spänner en tunn plastfolie över ytan. Eventuellt kan man blanda något i vattnet som minskar avdunstningen. Med hjälp an någon eller flera av dessa åtgärder ökas den möjliga återladdningsgraden för ytfilmssolfångaren.

Återladdning av bergvärmeanläggningar är främst aktuellt för bergvärmesystem där den termiska influensen mellan borrhålen är stor. För underdimensionerade system kan återladdning på sikt bli nödvändigt.

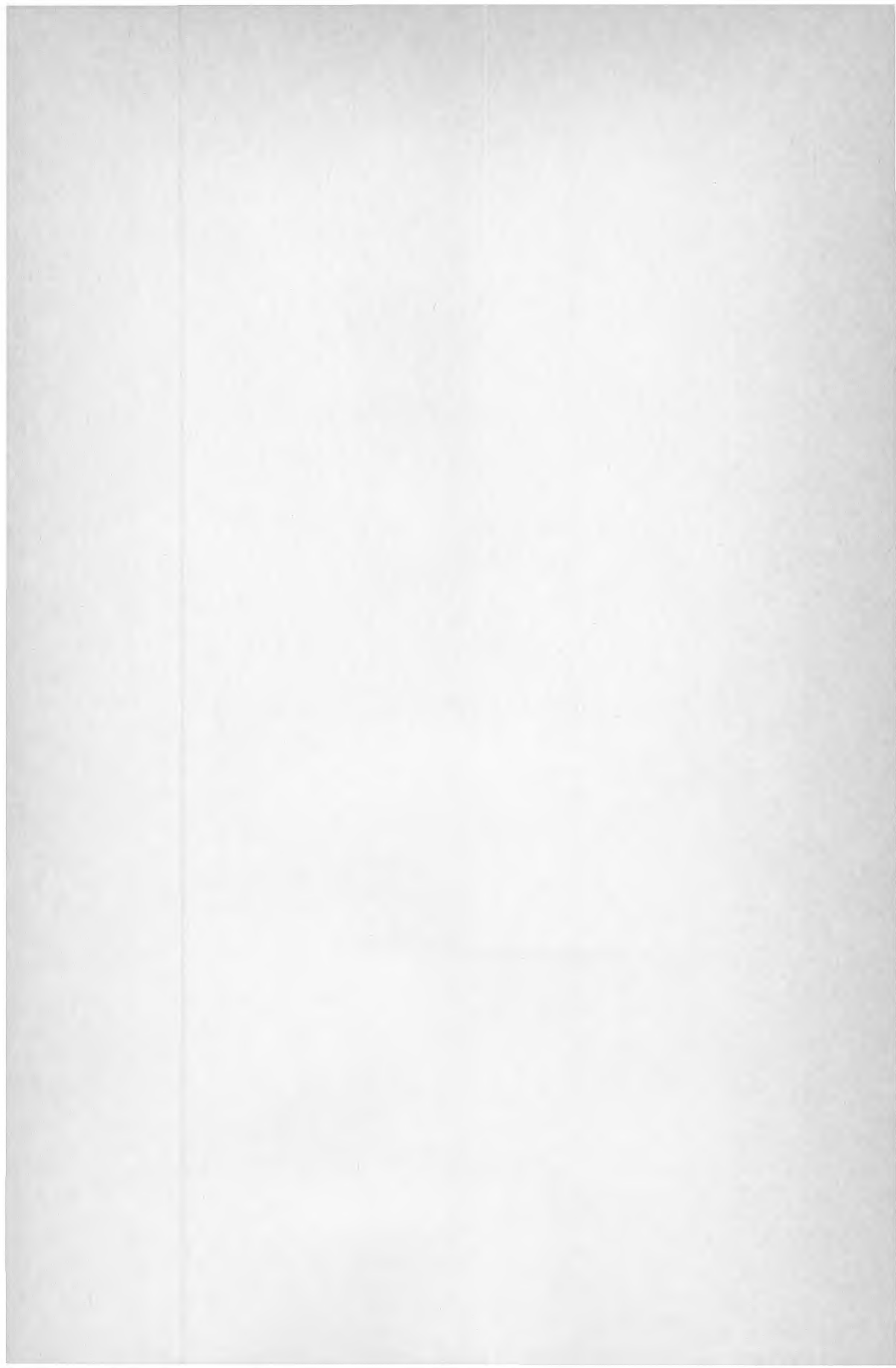
REFERENSER

1. Claesson J., Efring B., Eskilson P., Hellström G. "Markvärme. En handbok om termiska analyser." Byggforskningsrådet T16:1985
2. Nordell B. "Fracturing of a pilot plant for borehole heat storage in rock at Luleå, Sweden." Swedish Council for Building Research. Document D25:1984.
3. Nordell B., Söderlund M. "Värmeinsamling från Asfalt- och Takytor. Försök med ytsolfångare." Teknisk Rapport 1984:58T Avd.f.Vattenteknik, LUTH.
4. Söderlund M. "Surface Solar Collectors." Paper presented at the 7th Miami Int.Conf.on Alternative Energy Sources 9-11 dec. 1985, University of Miami, USA.
5. Söderlund M. "Energy Wells Recharged by Solar Heat." Paper presented at the Int.Conf. North Sun '86, 10-12 june, 1986. Technical University of Denmark, Copenhagen.

6. Söderlund M. "Field Test with Water Film Solar Collectors."
Paper presented at the Int.Conf. ISES, Solar World Congress,
Hamburg, 13-18 sept 1987.

7. Söderlund M. "Water Film Solar Collectors. Solar Heat from
Asphalt and Roof Surfaces. " Licentiate Thesis 1987:07L, LUTH.

8. Söderlund M. "Evaporation from Water Film Solar Collectors."
Paper presented at the Int.Conf. North Sun '88, 29-31 august
1988, Borlänge, Sweden.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860836-4 från
Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen för
vattenteknik, Tekniska högskolan i Luleå.**

R90: 1989

ISBN 91-540-5099-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6709090

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna**

Cirka pris: 33 kr exkl moms