

# **Centrum för solenergiforskning**

## **Solar Energy Research Center**

---

### **Partiell förångning i solfångarsystem. Överhettningsskydd för värmebäraren (främst glykol).**

Redovisning av projekt FUD 02:70 inom FUD-programmet.  
Solvärme 2001-2003

*Bengt Perers  
Klaus Lorenz  
Mats Rönnelid*

# **SERC**

Inst. För matematik

naturvetenskap och teknik

**Högskolan Dalarna**

781 88 Borlänge

Tel: +46 23 778000

Tel: +46 23 778701

**Besöksadress/Street adress:**

Forskargatan 6

Borlänge



**HÖGSKOLAN**  
Dalarna

**ISSN 1401 - 7555**

**ISRN DU-SERC--81--SE**

**December 2003**

## **Innehåll:**

Förord:.....	2
Sammanfattning.....	3
1. Inledning.....	5
2. Beskrivning av testrigg vid SERC för partiell förångningsexperiment.....	7
3. Resultat från utomhusexperiment i testriggen vid SERC.....	10
3.1 Grundtest av mätriggen och partiella förångningsförloppet.....	10
3.2 Specialiserade experiment i testriggen vid SERC främst med styrsystemet aktivt, som i ett normalt villasolvärmsystem i automatisk drift .....	12
4. Råd för design, installation och drift av ett solvärmsystem med partiell förångning.....	14
5. Slutsatser och förslag till fortsatt verksamhet .....	16
6. Referenser.....	18
Appendix 1. Teoretisk analys och information från litteraturen om partiell förångning. ....	19
Appendix 1: Excel-beräkningar av expansionskärlets funktion och dimensionering: .....	21

## **Förord**

Föreliggande projekt är en studie av partiell förångning som en metod för överhettningsskydd av svenska solvärmeanläggningar. Enligt projektförslaget skulle arbetet innehålla tre delar:

1. Byggande av en fullskalig, utomhus testrigg för partiell förångning där upprepade cykler kan studeras.
2. Studie av internationella erfarenheter av partiell förångning samt inventering av svenska erfarenheter av överhettningsproblem.
3. Genomförandet av ett seminarium samt författande av en populär broschyr om partiell förångning för den svenska solvärmebranschen.

Projektet beviljades dock 25% mindre medel jämfört med budget, varför ambitionerna har fått sänkas. Följande har genomförts:

- Byggandet av testrigg har genomförts och mätningar har genomförts.
- Internationella erfarenheter har studerats ingående och redovisas i rapporten
- Svenska erfarenheter av överhettningsproblemen redovisas endast översiktligt. Samtal förs dock kontinuerligt med branschen
- Något seminarium har ej genomförts; resultatet har däremot planerats bli presenterat vid FUD-programmets slutseminarium.

En broschyr har ej framställts; dock redovisas råd för design, installation och skötsel i särskilt kapitel i denna rapport. Rapporten kommer att spridas, bl. a. genom att bli tillgänglig via Internet och information om projektets resultat kommer framgent att spridas vid olika branschträffar.

Projektet har bekostats av FuD-programmet Solvärme 2001-2003

## Sammanfattning

En testrigg för provning av överhettningsskydd för solvärmesystem, med s.k. partiell förångning, har byggts upp på SERC. **Partiell förångning innebär att när solfångaren blir överhettad tillåts ångbildning i solfångaren och denna ånga pressar ut och ner värmebäraren till det extra stora expansionskärlet i solkretsen.** Detta kräver ett lägre normalt systemtryck ca 1,5-2 bar än vad som är gängse i dag (oftast över 6 bar). Principen bygger också på att det främst kommer att finnas kvar vattenånga i solfångarens absorbatör under överhettningen. Vattenången som håller värmebäraren borta är väldigt motståndskraftig mot de stagnationstemperaturer, som uppstår i absorbatören. Vid sjunkande temperatur i absorbatören så kondenserar vattenången och absorbatören fylls med värmebärare från expansionskärlet, så att systemet kan gå i drift igen.

**Resultaten visar att man kan komma mycket långt i överhettningsskyddet av värmebäraren, genom denna för Sverige nya designprincip.** Driften i testriggens system, har fungerat som avsett och värmebäraren trycks med stor säkerhet ut från solfångaren ner i expansionskärlet vid överhettning i solfångaren. Detta kan ske både pga. för låg last och vid t.ex. ett pumpstopp pga. elavbrott. Det senare är inte minst viktigt, att man inte behöver någon aktiv styrelektronik för att övertemperaturskyddet ska fungera. Även återfyllningen sker automatiskt oberoende av styrelektroniken inverkan vid sjunkande absorbatortemperatur.

**Denna nya systemlösning kan förväntas sänka driftkostnaderna markant för ett solvärmesystem om den införs.** Detta gäller även andra systemstorlekar sannolikt om principen skalas upp på rätt sätt. Flera synergieffekter finns också vad gäller t.ex. driftkostnaderna, genom att den nya rördragningsprincipen också underlättar uppstart och avluftning av ett solvärmesystem. Detta kunnande kommer att utnyttjas i det parallella projektet kring utveckling av ett svenskt pumpkoppel av SERC Högskolan Dalarna tillsammans med Termoventiler AB i Ulricehamn.

**Systemets solkrets måste designas efter några viktiga huvudprinciper.** Absorbatören måste ha kontinuerligt invändigt fall i vätskekanalerna från utloppet högst upp, ner till inloppsanslutningen på solfångarytan. (horisontella absorbatörlängder tillåts dock om det är rätt fall före och efter dessa). Rören till och från solfångaren måste luta kontinuerligt nedåt hela vägen ner till drivpaketet och expansionskärlet. Dock kan rören från solfångaren tillåtas ha visst motlut närmast solfångaren för att därigenom möjliggöra att fram- och returledningarna dras genomnock. Expansionskärlet måste göras så mycket större att hela värmebärarvolymen i absorbatören får plats utan nämnvärd extra tryckökning. Uppfyllnadsvolymen i expansionskärlet måste hållas på en låg nivå vid driftstart för att inte onödigt expansionsutrymme ska tas upp.

Vid användandet av partiell förångning i solfångarsystem utsätts i storleksordningen 0,1 % av värmebäraren för stagnationstemperaturen, till skillnad från dagens system där upp till 50 % av värmebäraren utsätts för höga temperaturer. Dessutom är det i stort sett enbart vattenånga som utsätts för dessa temperaturer medan glykolen, som har högre kokpunkt, blir kvar i den lägre delen av solfångaren där det råder lägre temperaturer. Glykolen i ett idealt förångande solvärmesystem behöver därför främst inhibitorer som klarar de återkommande förångnings- och kondenseringsförloppen, ej nödvändigtvis höga temperaturer. Man måste dock vara vaksam på att alla system inte alltid följer ideala förlopp. Det är därför viktigt att använda bra värmebärare som tål såväl återkommande förångningsförlopp och höga temperaturer, t ex Tyfokor LS. Annars finns stor risk för utfällning av svårslösliga salter m.m. vid överhettning

av systemet. I extrema fall, med mycket höga temperaturer eller måttliga temperaturer under lång tid, kan också själv glykolen brytas ner kemiskt till tjärliknande produkter. Vid nedbrytning av värmebärarens korrosionsinhibitorer sänks också ofta även Ph värdet snabbt, under den gräns där t.ex. koppar och andra material i systemet är stabilt ur korrosionssynpunkt. Vår inventering tyder också på att värmebäraren i olyckliga fall av överhettning kan avsätta beläggningar inuti absorberörren och på så sätt reducera värmeöverföringen mot vätskan med följd att prestanda sjunker. Bl.a. kan detta vara en förklaring till att prestanda i Håga By anläggningen sjönk ”oförklarligt” och permanent efter en veckas stagnation under högsommaren 2003

## 1. Inledning

Nedbrytning av värmebäraren i solvärmekretsar förväntas bli ett ökande problem, nu när solvärme sprids utanför entusiasternas skara. Detta för att det då troligen blir mer och mer vanligt med driftperioder med lägre last när familjen är bortresta och då solfångaren inte har kylning utan går i stagnation. De nya systemen som byggs har ofta också något mindre ackumulatorvolym med mindre värmeförluster (och/eller stora solfångarytor) så att överhettning sker oftare, även av detta skäl. Ytterligare ett potentiellt stort problem i sammanhanget är att solfångarna blir allt bättre med högre optisk verkningsgrad och lägre värmeförluster. Båda dessa faktorer ökar solfångarens maxtemperatur vid stagnation, och därmed påfrestningen på värmebäraren då solvärmesystemet överhettas.

Vid långvarigt hög temperatur, på värmebärare med glykol och med normala korrosionsinhibitorer från tillämpningar i andra värme- och kyltillämpningar, kan kemiska nedbrytningsprodukter uppstå i form av tjärliknande substanser och svårösliga salter. Dessa kan avsätta sig inuti absorbatorn kanaler och tom sätta igen systemet och ge ökad förslitning på ventiler, flödesmätare och volymmetriska pumpar. Nedbrytningen av inhibitorerna gör att Ph värdet sjunker i värmebäraren, så att risken för korrosionsangrepp kan förväntas öka.

Denna rapport redovisar i första hand kortfattat resultat från ca tre månaders intensiva utomhustester vid SERC Högskolan Dalarna. Avsikten har varit att undersöka hur bra skydd för värmebäraren (främst glykol-vattenblandningar), som solvärmesystem byggda för partiell förångning utgör. Andra angränsande faktorer av betydelse för driftsäkerhet, underhåll och livslängd, har också observerats och analyserats och råd för hur en modern solvärmearläggning bör konstrueras och dimensioneras ges nedan.

Även redovisning av installationsmässiga och driftmässiga erfarenheter och råd är en viktig del i denna rapport. Rapporten är avsedd att underlätta introduktion av denna systemtyp på den svenska marknaden. På så sätt avser vi att minska risken för sekundära skador på komponenter och nedsättning av systemfunktionen och prestanda, främst på grund av termisk nedbrytning av glykol vid stagnation i solvärmesystem.

Det är mycket viktigt att man nu kommer ut med driftsäkra solvärmesystem, med lång hållbarhet, när marknaden växer. Annars kan det nu goda ryktet för solvärme raseras igen. Ekonomin för många nya energitekniker, bygger just på lång livslängd och låga drift och underhållskostnader. Då kan man t.o.m. räkna in ett andrahandsvärde på investeringen i den ekonomiska kalkylen.

Den teknik för att klara överhettning och som är dominerande i Sverige bygger på att solfångarkretsen är trycksatt med 2-3 bars övertryck. I normalt dimensionerade solvärmesystem höjs trycket (och temperaturen) upp till 6-9 bars tryck vid stagnation, för att sedan sänkas när instrålningen mot solfångaren minskar.

Den allra vanligaste metoden i Europa för att undvika överhettning är ”**partiell förångning**” av värmebäraren. Då solfångarna hamnar i stagnation kommer vätskan i solfångarna att börja koka. Ångbildningen, som startar i toppen av solfångarna, trycker ned vätskan i ett expansionskärl inomhus. Då solfångarna svalnar av kommer ångan i solfångarna att kondensera. I och med detta sjunker trycket i solfångarna, vätskan sugas från expansionskärlet och solfångarna blir åter fyllda.

Skillnaden mot de svenska systemen är att solfångarna, kopplingarna mellan modulerna och även armatur med pump och expansionskärl måste vara anpassade för det sätt som värmebäraren lämnar solfångaren vid stagnation. Fördelarna är dock uppenbara; vid stagnation är det bara en ytterst liten del av värmebäraren som utsätts för höga temperaturer, nämligen den ånga som finns kvar i solfångaren under stagnation. Dessutom förångas vattnet först, medan glykolen blir kvar i den vätska som trycks ut från solfångarna. Nedbrytningen av glykolen blir därmed mycket långsammare än vid den traditionella svenska metoden.

## **2. Beskrivning av testrigg vid SERC för partiell förångnings-experiment**

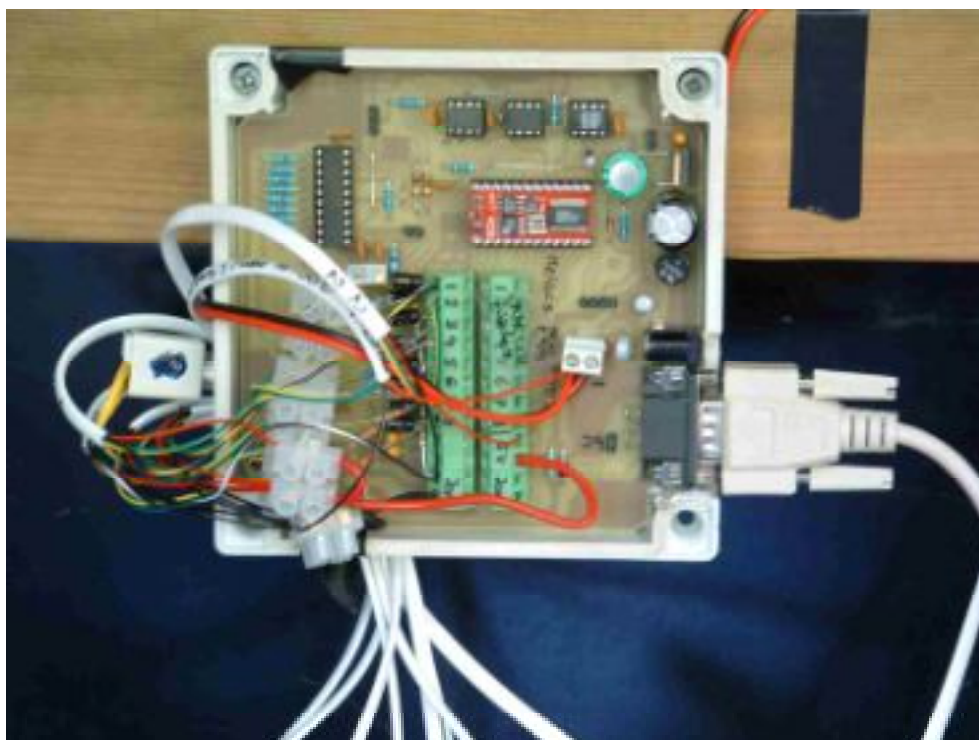
För projektets räkning byggdes en vridbar testrigg, figur 2.1. Riggen har byggts upp av Tekn. Lic. Klaus Lorenz, med ett stabilt stålstativ som underlag för den vridbara plattformen. Ovanpå plattformen har en väderskyddad kur monterats för mätutrustning och systemdelar som normalt är placerade inomhus.

Ovanpå kuren är solfångarna monterade på en stabil stativstruktur av aluminiumprofiler. En helt konventionell systemutrustning har använts i testen, med pumpkoppel, reglercentral Deltasol B och 12 liters expansionskärl och även standardsolfångare (3 moduler a ca 2,3 m<sup>2</sup>) från SOLENTEK. Även rörlängderna till och från solfångarna (ca 12 m enkel väg) och dess isolering, har anpassats och lagts med rätt lutning för att få så rättvisande resultat som möjligt jämfört med en anläggning i en vanlig villa.



Figur 2.1. Testrigg vid SERC för provning av partiell förångning som överhettningsskydd. Plattformen är vridbar för att kunna testa även dynamiska förlopp vid växlande molnighet med mera kontroll och precision. Till höger syns en solrostävling för år 2003 ungefär i halvlek utmed staketet.

För mätningarna har en nyutvecklad logger (Melacs) använts. Detta har visat sig vara en mycket driftsäker och robust teknik. Höga signalnivåer (ca 1 volt) används på givarna, så att yttre störningar och t.ex. galvaniska spänningar får minimal inverkan även i besvärliga mätmiljöer. Figur 2.2 visar loggern i närbild. Denna logger är en extrem lågkostnadslösning därav det till synes billiga arrangemanget. De höga signalnivåerna på givarna gör att man t.ex. kan använda vanlig billig telefonkabelutrustning för kabeldragningen. Tömning av data sker via en vanlig seriekabel (till höger) till en vanlig PC-dators com-port. Hyperterminalprogrammet i Windows används för data kommunikationen.



Figur 2.2. Närbild av dataloggern med givarkablar anslutna, som använts i experimenttriggen.

En nyhet i vår test jämfört med de referenser vi samlat in och studerat, är att vi verkligen kontrollerat och mätt hur mycket av värmebäraren som pressas ut ur solfångaren och ner i expansionskärlet. Detta har gjorts med en mycket primitiv men fungerande anordning för att väga expansionskärlet. Därigenom kan vi bestämma viktförändringar kvantitativt med loggersystemet. Figur 2.3 visar denna anordning som säkert ser väl enkel ut, men har gjort det möjligt att mäta detta, inom den låga mätbudget vi hade tillgängligt.

En ytterligare mätfiness vi har gjort i denna testrigg jämfört med de referenser vi läst, är ett flertal synglas så att vi verkligen kan övervaka förångningsförloppet på kritiska punkter. Figur 2.4 visar ett sådant enkelt synglas. Vi blev tvungna att använda silikonslang eftersom glaströr inte stoppade för de snabba tryck och temperaturstegen och värmeutvidgningen av kopparrören, som uppstår vid partiell förångning.





Figur 2.3. mätanordningen för expansionskärlets värmebärrarinnehåll/vikt. En balansvågsprincip gör att vi kan kompensera bort taran för expansionskärllet och få en signal som är direkt proportionell mot vikten värmebärare i expansionskärllet.



Figur 2.4. Ett av synglasen, där vi visuellt kan se värmebäraren under ett kokningsförlopp. Vi tvingades använda silikonslang för att klara de kraftiga temperaturstegen som uppstår vid partiell förångning.

### **3. Resultat från utomhusexperiment i testriggen vid SERC**

Resultat från ett antal utvalda testdagar visas nedan. Extra långa och täta förångningsförlopp uppnås genom att vi i testsystemet har haft en låg last och en extra liten ackumulator i systemet.

#### **3.1 Grundtest av mätriggen och partiella förångningsförloppet**

Reglercentralen är i detta fall avstängd för att inte få störande pumpstarter, utan ett renodlat förångningsförlopp. Detta gör att solfångaren värms upp snabbt då den inte kyls av genom att den tank som är inkopplad i systemet värms upp. Förtrycket i expansionskärl är 1,2 bar. Fyllnadsvikten av glykol i expansionskärlet är ca 0,5 kg vid "kallt" system.

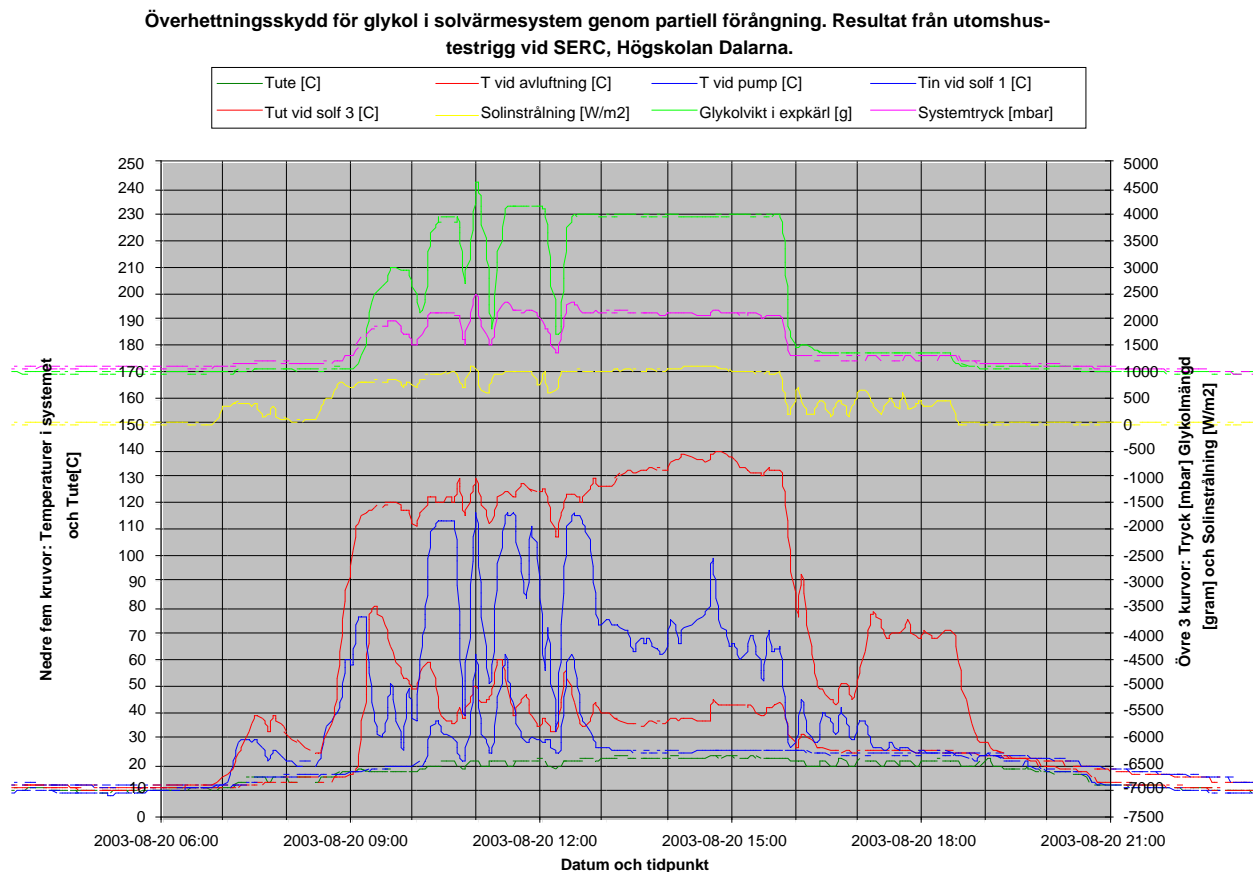
Det låga förtrycket är en anpassning i riggen för att kompensera för att det är större höjdskillnad och därmed tryckskillnad mellan solfångare och expansionskärl i ett verkligt system i en villa. Absoluttrycket i solfångaren och förångningsförloppet blir på detta sätt likvärdigt mot ett verkligt system. Den vridbara testriggen skulle ha blivit för hög och dyr, med stora vindlaster som följd, om vi haft fulla höjdskillnader i experimentskalan.

Av mätdata i figuren 3.1 nedan syns att den partiella förångningen fungerar som avsett och ca 3-4 kg glykol pressas ut från solfångaren automatiskt ner till expansionskärlet vid stagnation under hög solinstrålning. Systemtrycket varierar också i takt med expansionen eftersom vi har ett ändligt stort expansionskärl, som ökar sitt mottryck i proportion till den vätskevolym som pressas in. Förloppet från fylld solfångare till tom solfångare med endast ånga i absorberorrören tar ca 5 minuter. Det är den tid det tar för solfångaren att ta emot tillräckligt med solenergi (exkl. värmeförluster) som behövs för att dels höja entalpin hos värmebäraren i solfångaren (d.v.s. höja temperaturen och trycket till kokpunkten), förångna en del av vätskan och trycka ner vätskan till expansionskärlet. Vid första försöket för dagen (kl. 09.00) tar det längre tid då även själva solfångarlådan måste värmas upp.

Man kan även se hur temperaturerna vid solfångarens (egentligen tre seriekopplade moduler) inlopp och utlopp, varierar under förloppet. Under tömningen ökar temperaturen vid inloppet upp till nära utloppets nivå, då flödet går baklänges där mot normal drift för att nå expansionskärlet. När sedan väl glykolen tömts från solfångaren, svalnar inloppet, eftersom ingen masstransport fortsätter då utan ett jämviktstillstånd uppnås. Temperaturen vid inloppet och utloppet, och därmed temperaturen hos den vätska som trycks ut ur solfångaren, ligger kring 120°C och överstiger aldrig 140°C. Detta ska jämföras med uppskattningsvis 180°C vilket är stagnationstemperaturen hos hela solfångaren och därmed den temperatur som värmebäraren utsätts för vid stagnation i traditionella svenska solvärmesystem. I det synglas vi monterat strax utanför vid inloppets anslutning till solfångaren försvinner inte den skära Tyfokorgglykolen någon gång utan endast en svag bubbling av ånga kan märkas under tömningsförloppet. Detta hänger troligen samman med att vi i grundexperimentet i detta fall har inloppsroret gående över nock för att se om detta är möjligt. Det har stora fördelar för installatören som då slipper att ha en extra takgenomföring och extra rördragning inne på vinden eller i ett vindsrum.

Solinstrålningens nivå (gul kurva, höger axel) är det som primärt påverkar förloppet. I detta fall har det varit växlande molnighet under dagen så systemet har svängt upp och ner i

temperatur och flera förångnings och återkondensationsförlopp har inträffat. Man kan även se att temperaturerna ner i anläggningen endast påverkas måttligt av den höga stagnationstemperaturen i solfångaren. Detta beror sannolikt på de normala rörlängderna på ca 12 m som hinner kyla av vätskan, som trycks ut och ner från solfångaren, på vägen till expansionskärlet.



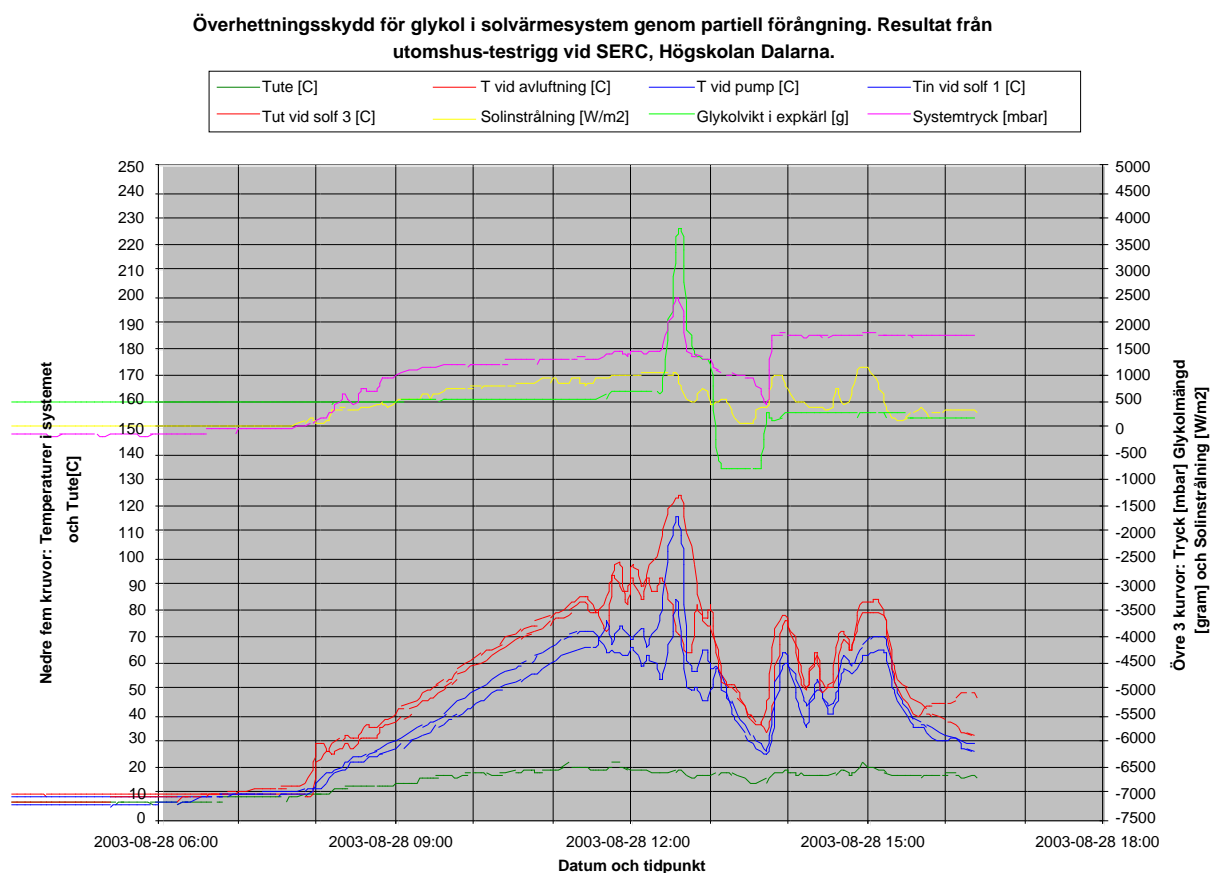
**Figur 3.1** Mätresultat från 20/8 2003.

Även temperaturhöjningen vid solfångarens inlopp är kortvarig och varar bara så länge som expansionen pågår av glykolinnehållet i solfångaren. Sedan sjunker denna temperatur markant. Troligen har detta att göra med att det uppstår en svag bubbelpumpeffekt som cirkulerar glykol åt rätt håll genom solfångaren och kyler både solfångaren och givaren vid första solfångarens inlopp. Detta diskuteras vidare i kapitel 5.

### 3.2 Specialiserade experiment i testriggen vid SERC främst med styrsystemet aktivt, som i ett normalt villasolvärmesystem i automatisk drift

Ett antal testdagar har valts ut för att visa hur systemet fungerar under mer normal drift. Vissa ingrepp har dock gjorts i driften i några av exemplen, för att kunna renodla olika effekter. T.ex. vridning av riggen, för att simulera hastig förändring av solinstrålningens nivå.

I detta testsystem har vi en väldigt liten tank i förhållande till solfångarytan ca 50 liter på 7,5 m<sup>2</sup>. Detta för att systemet ska koka snabbare och fler förlopp kunna uppnås under samma dag.



**Figur 3.2:** Mätresultat från 28/8 2003.

Flera ingrepp gjordes under mätdagen 28/8 (figur 3.2) kring middagstid:

Ca 12.00 nära kokningsgräns i systemet.

Ca 12.30 glykol helt förångad i solfångarens båda synglas.

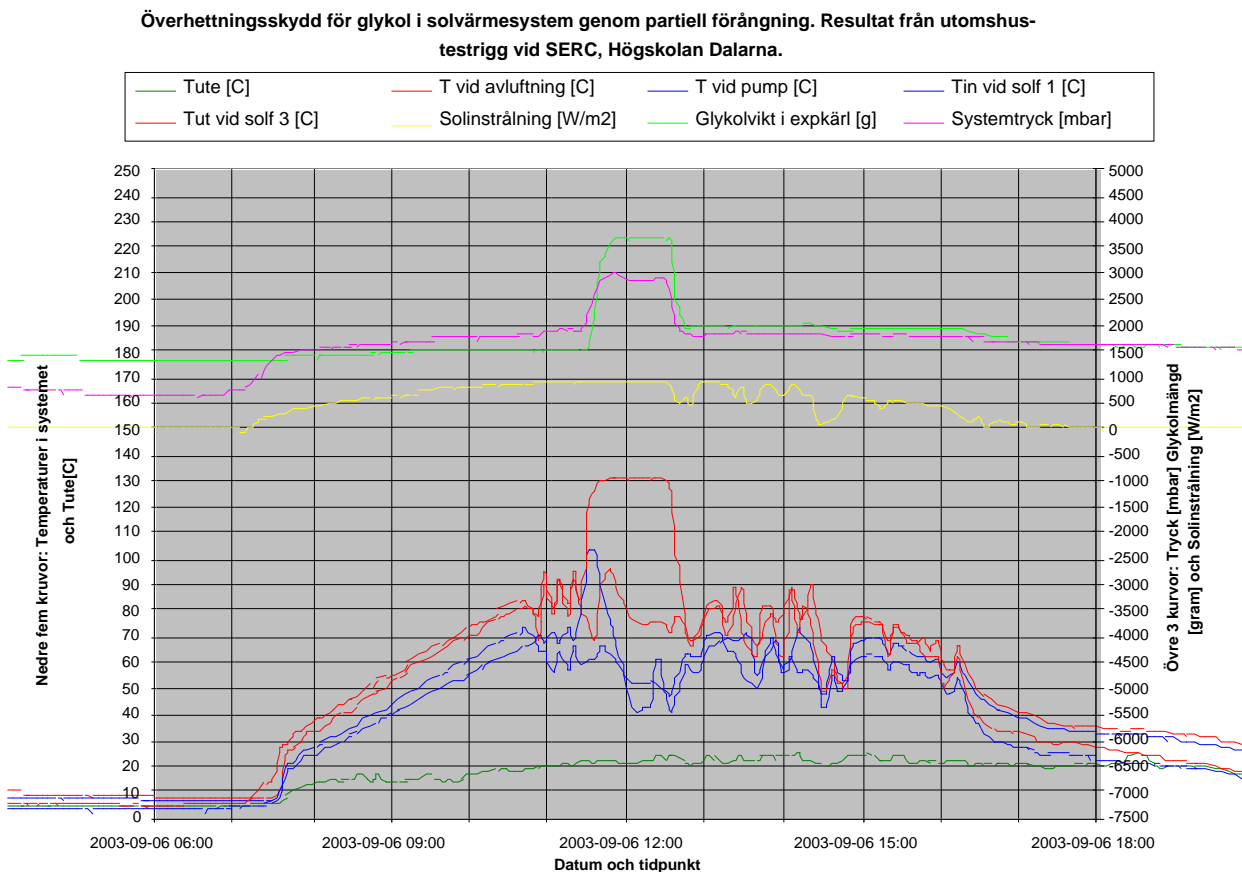
Ca 12.55 riggen vreds ur från solens riktning.

Ca 12.55 – 13:45 justering förtryck expansionskärlet till 1,5 bar (från ca 1,3 bar som rätt hittills under testet efter justering inledningsvis vid loggermätningarnas start ca 15/8). Detta förklarar varför glykolvikten i expansionskärlet minskar under eftermiddagen jämfört med förmiddagen.

Ca 13.45 vreds riggen i riktning mot solen igen.

Strax efter 13.00 gjordes en omkalibrering av mätgivaren för expansionskärlet, vilket förklarar varför glykolvikten (grön kurva) plötsligt sjunker till negativa värden.

Figur 3.3 visar ett nära idealt partiell- förångningsförlopp där systemet lämnades helt på automatik och i söderläge, med lasten nedjusterad (ena testtanken bortkopplad) så att det skulle bli kokning om det var en klar dag, trots att systemet inte vreds efter solen.



**Figur 3.3:** Mätresultat från 6/9 2003

Systemet går i normal drift fram till ca kl. 10.50 då pumpen stängs av, när värmelagret nått ca 85 grader. Efter en knapp timma ca 11.30 har solfångaren och dess värmebärare fortsatt uppåt i temperatur, så att det partiella förångningsförloppet startar i solfångaren och trycker ut glykol/vattenblandningen ur solfångaren ner i expansionskärlet, som då ökar i vikt markant ljusgröna kurvan. Trycket ökar också ca 1 bar för att expansionskärlets luftvolym komprimeras av den intryckta vätskevolymen. Man kan även se att temperaturen vid solfångarens övre anslutning går upp till ca 130 grader medan den nedre solfångaranslutningen toppar vid ca drygt 105 grader och sedan snabbt kyls av. Detta är ett fenomen som inte tidigare mätts upp men som vi blivit tipsade att mäta extra noga av IEA Task 26 (Kombisystem) kollegor. I detta fall kan det vara fråga om en långsam själv-cirkulation av värmebäraren, som håller nere även glykoltemperaturen i solfångarens nederdel.

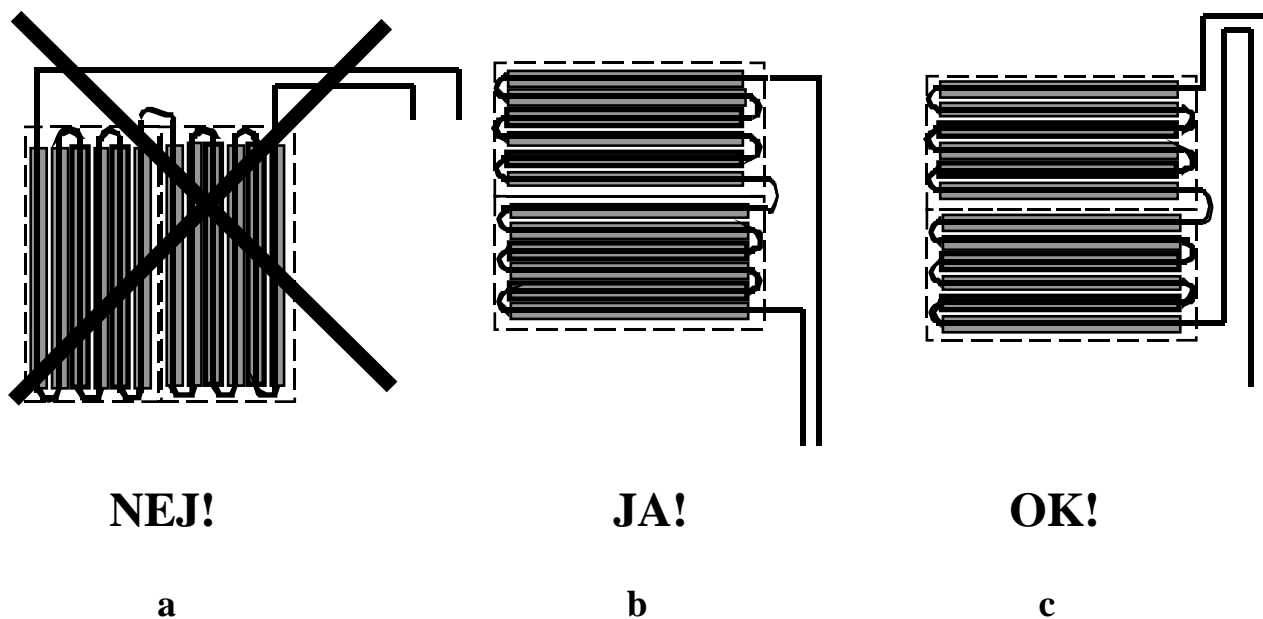
#### **4. Råd för design, installation och drift av ett solvärmesystem med partiell förångning.**

Våra erfarenheter sammanfattas med följande råd för design av villasolvärmesystem med partiell förångnings som överhettningsskydd:

- 1) Expansionskärlet måste vara väl dimensionerat så att det kan ta upp även glykolvolymer i solfångarna utan stor tryckökning. Man bör räkna med ett expansionskärl som har tre gånger så stor volym som vätskevolymer i solfångarna. Den stora volymen behövs för att undvika extrem tryckökning i kretsen. Dessutom ska expansionskärlet inkludera den normala termiska expansionsvolymen på ca 5 % av den sammanlagda glykolvolymer i systemet.
- 2) Förtrycket på luftsidan i expansionskärlet, måste anpassas noga till den förångningstemperatur man önskar och systemets höjdskillnad, mellan solfångare och expansionskärl. Förtrycket bör vara ca 1,2 bar plus 0,1 bar gånger höjdskillnaden i meter. Exempelvis vid 7 m höjdskillnad bör förtrycket vara ca  $1,2 \text{ bar} + 0,1 * 7 \text{ meter} = 1,9 \text{ bar}$ . Förtrycket kan justeras med vanliga bilpumpar och däcktrycksmätare via den bilventil som finns på luftsidan av kärlet (oftast under ett stort täcklock). Trycket bör kollas minst varje år, eftersom ventilen kan läcka något precis som på ett bildäck. Fyller man inte på vätska och håller trycket på natten jämn nivå så är allt o.k., men minskar trycket bör man fylla på luft så att denna inte försvinner (och ersätts med vätska) i expansionskärlet. (Försvinner luften spärras den partiella förångningens funktionssätt helt och även den termiska expansionen kommer att tryckas ut genom säkerhetsventilen och sedan bildas undertryck i systemet på natten med luftinsugning som följd. Denna insugna luft kan sedan skapa ytterligare sekundära problem med ojämn flödesfördelning, högre tryckfall och i värsta fall cirkulationsstopp och förstörd pump.)
- 3) Vätskefyllnadsgraden i expansionskärlet är också mycket viktig och bör vara låg vid kallt system, vid t.ex. driftstart, så att maximal luftvolym och expansionskapacitet är kvar i kärlet. För stor vätskefyllnadsvolym gör att mottrycket från kärlet blir för stort och solfångaren och glykolen måste bli motsvarande varmare för att partiell förångningsförloppet ska starta. En grundrekommendation är max vätskefyllnad till ca 10 % av kärlets volym eller ca 1,2 liter vid 12 l expansionskärlsvolym. Detta kan t ex kontrolleras med en vägning av kärlet om man har det anslutet med en flexibel slang. En lösning där man förser expansionskärlet med en anordning som visar fyllnadsgraden finns ej normalt men bör införas som standard av flera skäl för det underlättar felsökning och underhållsåtgärder väsentligt.
- 4) Alla rörledningar till och från solfångaren ska läggas med fall från solfångarens anslutningar och ner till solkretsens drivutrustning i "pannrummet" och även till expansionskärlet. Ett undantag från detta kan vara om man måste dra inloppsröret till solfångaren över nock då det kan vara svårt att göra en takgenomföring under inloppsnivån på/till solfångaren. (se figur 4.1). Detta kan dock ge något sämre funktion på den partiella förångningen.
- 5) Solfångarens absorbatörer ska ha ett sammankopplingsätt så att hela vätskevolymer i absorbatören kan pressas ut med kontinuerligt fall nedåt via inloppsanslutningen på solfångarytan till expansionskärlet. Vertikalt ställda absorbatörer med serpentinseriekoppling såsom många system byggts i Sverige hittills av andra skäl, är "bannlyst" för att få säkert skydd av värmebäraren. Då blir nämligen glykol stående kvar i de nedre u-rören och solfångaren "kokar torr" vid överhettning, med stor risk

för termisk nedbrytning av värmebäraren till t.ex. tjärprodukter och hårda salter, som följd. Detta kan i sin tur ge sekundära skador, såsom igensättning av systemet eller skador och funktionsstörningar på pumpar och ventiler.

- 6) Expansionskärlet måste vändas med anslutningen uppåt och med anslutningsröret från kärlet till det övriga systemet, lutande uppåt. Detta för att säkerställa att vätskesidan om membranet i expansionskärlet är avluftad. Annars kommer denna extra inneslutna luftvolym i systemet att förvränga kärlets funktion, eftersom denna luftvolym ändrar förtryckets funktion. Dessutom blir man lurad på vilken reservvätskevolym som finns i expansionskärlet, om man utgår från systemtrycket och inte väger kärlet på något sätt, som vi föreslår här.



Figur 4.1. Olika exempel på solfångarinstallationer. För att tekniken med partiell förångning ska fungera måste solfångarnas absorbatörer vara horisontella (figur b och c), medan solfångare med vertikala absorbatörer är ”bannlysta” (figur a) om det inte är fråga om parallellkoppling med samlingsrör upptill och nedtill. Bäst är om alla rörledningar till och från solfångaren kan läggas med fall ner mot ackumulatortanken, men rördragningar över taknocken går också att acceptera, enligt våra tester.

## **5. Slutsatser och förslag till fortsatt verksamhet**

Våra undersökningar, såväl litteraturstudier, samtal med internationella experter på området samt egna undersökningar med den uppbyggda testriggen, pekar på att tekniken fungerar bra. Speciellt visar våra undersökningar att det är möjligt att fortsätta att dra röranslutningarna från solfångaren övernock, vilket är det idag vanligaste sättet att ansluta takmonterade solfångare. Det borde därför vara möjligt att införa tekniken i Sverige. Med tanke på de fördelar tekniken har med minskade potentiella problem med glykolnedbrytning anser vi det också önskvärt att tekniken introduceras på bredare front i Sverige. Synergier med enklare uppfyllning, idrifttagande och avluftning av systemet finns också med denna förändrade rördragning.

Även om vi tror att tekniken är mogen att introduceras i Sverige anser vi att det är önskvärt att den studeras närmare för att säkerställa att det inte finns problem, som kan uppkomma i de svenska systemen. Några punkter där vi tror det är viktigt att gå vidare är:

### *Undersökning av bubbelpumpseffekten och lokal koncentration av glykol.*

Vi har mätt stagnationstemperaturen på värmebäraren i solfångaren genom att vi mätt temperaturen på anslutningsrören nära in och utloppet. (dessa mätpunkter har varit extra isolerade för att öka mätnoggrannheten. Figur 3.1 – 3.3 visar att temperaturen sällan blir högre än 120°C och ibland upp mot 140°C. Även om vi avläst högre stagnationstemperaturer vid enstaka tillfällen så är den avlästa stagnationstemperaturen lägre än vad vi förväntat oss. Vi tror därför att tekniken med partiell förångning i sig kan innebära lägre eller till och med betydligt lägre stagnationstemperaturer för vätskan, jämfört med traditionella överhettningsskydd. En teori vi har, och som stöds av visuella observationer genom de silikonslangar som monterats på testriggen, är en ”bubbelpumpseffekt” som innebär att ånga kontinuerligt kondenserar i utloppsledningen från solfångaren. Med tiden skapas en vätskepelare i utloppsledningen ner till tanken, som trycker upp vätska från inloppsledningen till solfångaren. Därmed tillförs ny vätska till solfångaren som förångas och därmed tar energi från solfångaren. Denna process pågår sakta men nästan kontinuerligt i små portioner. Förutom att solfångaren därmed kyls kan situationen uppstå att glykolkoncentrationen stiger vid inloppsröret, samtidigt som glykolkoncentrationen sjunker vid utloppsledningen. Vi har inte sett detta beskrivet någonstans och de experter vi talat med känner inte till det. Vi anser det mycket värdefullt att kvantifiera denna process genom detaljerade mätningar på temperaturer, glykolhalt och energitransporter.

### *Metoder för att mäta värmebärarvikten/luftinnehållet i expansionskärl*

Det är mycket väsentligt för att tekniken ska fungera att det finns tillräcklig mängd luft i expansionskärlet men även lagom mängd reservvolym av värmebärare, annars kan allvarliga problem uppstå som i värsta hand skadar solvärmesystemet. I traditionella solvärmesystem har det räckt med en tryckmätare för solfångarkretsen, men detta säger inget om mängden luft i expansionskärlet. Metoder för att enkelt mäta luft- respektive vätskeinnehållet genom att antingen väga kärlet, nivåör eller på annat sätt mäta vätskemängden i kärlet bör därför utvecklas. Detta bör helst göras med fast mätare så att det kan bli rutin för ägaren av solvärmesystemet att med jämna mellanrum kontrollera luftinnehållet i expansionskärlet. Detta kan i ett senare skede även kopplas till styrutrustningen som kan ge felindikering i ett tidigt skede till husägaren/drifningenjören.



*Partiell förångning i medstora system ( $\approx 100 \text{ m}^2$  solfångare).*

De undersökningar vi gjort hittills gäller små anläggningar i storleksordningen  $10 \text{ m}^2$ . Tekniken fungerar troligtvis även på medelstora anläggningar (storleksordningen  $100 \text{ m}^2$ ), t ex finns det en sådan anläggning som togs i drift i samband med Bo-mässan i Malmö för några år sedan. Det är dock inte självklart att de rekommendationer som görs för mindre anläggningar fullt ut även gäller för medelstora. Bland annat är relationen värmebärare i och utanför solfångare helt annorlunda. Likaså är höjdskillnaderna oftast större än i villor. Detta bör därför undersökas speciellt och driftserfarenheter från anläggningar av den typ som installerats i Malmö bör hämtas in. Även resurser att eventuellt komplettera en befintlig mellanstor anläggning fullt ut för partiell förångning inklusive speciellt forsknings-mätsystem bör reserveras i ett sådant projekt.

## **6. Referenser**

### Skrivna referenser:

Hausner, Robert och Fink, Christian. (2002). Stagnation behaviour of solar thermal systems. A report of IEA SHC – Task 26 Solar Combisystems..

Hausner, Robert och Fink, Christian. (2002). Stagnation behaviour of solar thermal systems. Proceednings Eurosun 2002, Bolonga 26-26 juni 2002 (CD-rom).

Hausner, Robert och Fink, Christian. (2003). Stagnation behaviour of solar thermal systems. Proceednings ISES Solar World Congress, Göteborg 14-19 juni 2003 (CD-rom).

Hillerns, Frank och Schimpf, Hans. (1999). Korrosionsschutz und Thermische Belastbarkeit, Sonnenenergie & Wärmetechnik 5/99, 25-27.

Tyfocor LS. (1999). Technical information. Tyforop Chemie GmbH, Hamburg.

Wedel, Signe och Bezzel, Eik. (2000). Heat transfer fluids for solar DWH Systems, Report SEC-R-8 från Solar Energy Centre Denmark, Danish Technological Institute.

### Personliga referenser:

Robert Hausner, Gleisdorf

Stefan Larsson, Vattenfall Utveckling AB

Ivan Falk, fd Studsvik

Peter Kovacs, SP (referenser, drifterfarenheter)

Gunnar Bröms VUAB parallellt FUD-projekt med laboratorietest av olika värmebärarens temperaturtålighet.)

## **Appendix 1. Teoretisk analys och information från litteraturen om partiell förångning.**

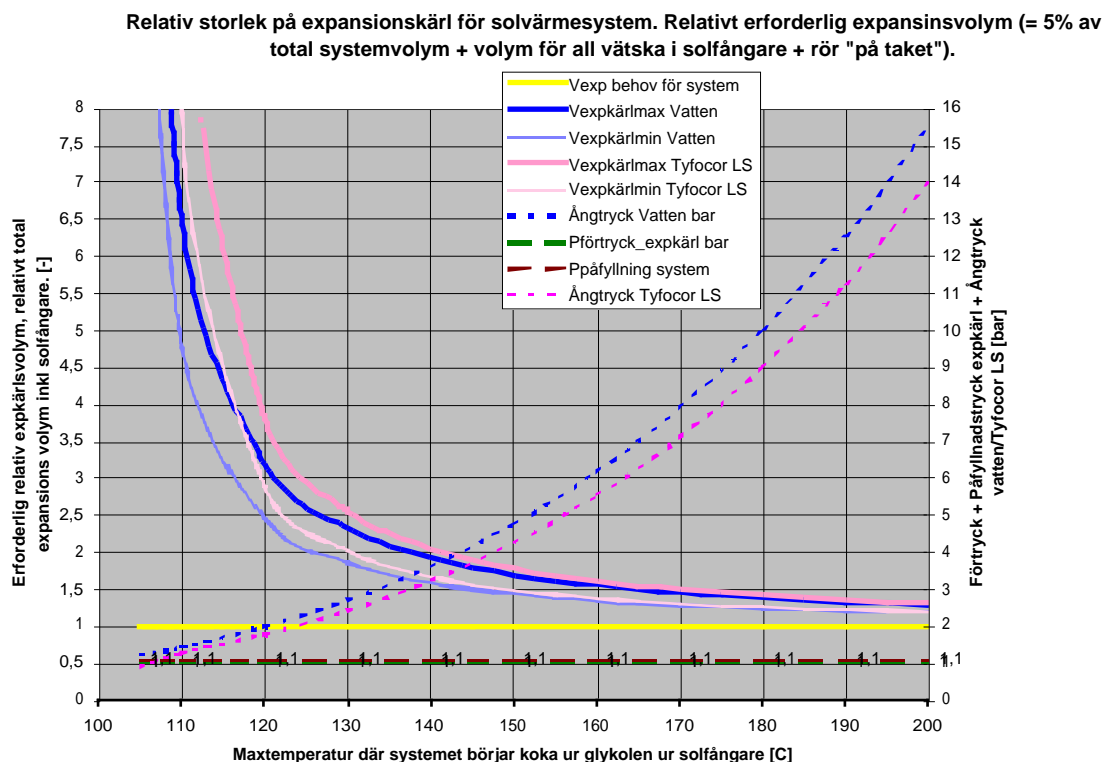
Sammanfattning ur tillgängliga referenser (se referenslista), våren 2003.

1. Vatten glykolblandningar tål inte stagnationstemperaturerna i moderna solfångare utan bryts på kort tids stagnation ner till sura och smetiga lösningar, som måste bytas med täta mellanrum, om systemet ska fungera driftsäkert och långsiktigt. Dvs. klara korrosionsangrepp och igensättningar av filter, ventiler, prestandareducerande beläggningar på rörväggar inuti absorbatoren m.m. t.ex. Även volymmetriska pumpar kan slitas ner på kort tid, om inhibitorerna bildar svårlösliga salter
2. Efter påbörjad nedbrytning av glykol-vattenblandningen är den troligen inte heller ogiftig, som för ren propylenglykol-vattenblandning. Detta är ett potentiellt miljöproblem.
3. Speciellt kombisystem med större solfångarytor i förhållande till sommarlasten, men även vanliga solvärmesystem för tappvarmvatten kommer att utsättas för stagnation i solfångaren åtskilliga gånger under sin livstid. delstagnation kan t. ex. bero på strömavbrott, pumphaverier, läckage, luft i systemet, som gör att pumpen blir luftfylld, kaviterar och inte orkar trycka ut luften eller helt enkelt på grund av för låg värmelast. Det senare ger till slut för dålig avkylning av solfångaren och medför att pumpen stoppas av reglerutrustningen för att undvika tvåfasströmning i systemet med extrema temperaturer nere i systemutrustningen och utblåsning av glykolvattenblandningen genom säkerhetsventilen som följd.
4. Det är av de referenser vi sett hittills helt entydigt att man för att skydda glykolen, i princip ska bygga ett perfekt självdränerande system, men i detta fall drivet av ångtrycket i absorbatoren vid överhettningen, fast med glykol i värmebäraren. Detta för att minimera den tid och mängd av glykolen som utsätts för riskabla övertemperaturer ur livslängdssynpunkt. Grundprincipen är att överallt ska rören luta kontinuerligt nedåt från en högsta punkt vid solfångarens utlopp (precis som i ett dränerande system utan glykol). (Vi har dock i våra egna försök upptäckt att det går att låta ledningarna luta uppför efter och före solfångaren, bara ledningarna i själva solfångarna lutar neråt.) Det är inte idealt, men kan förenkla övergången till partiell förångning från befintlig installationsteknik via taknock. Framöver borde man kunna ta fram speciella takgenomföringar som passar för denna systemprincip.
5. Expansionskärlet måste också förstoras markant, så att det kan rymma hela absorbatorns värmebärvolymer inklusive volym i anslutnings/fördelningsrör på taket plus den normala värmeutvidgningen av vätskan på ca 5 % av systemvolymen. För ett 7 m<sup>2</sup> villasystem blir det ca 1 liter för termisk expansion plus ca 3-4 liter för solfångarens tömning vid kokning. Dvs. 5 liter expansionsutrymme. OBS dock att detta kräver ett minst dubbelt helst tre gånger så stort slutet expansionskärl ca 10 liter för att kunna ta upp denna värmebärvolymer på 5 liter utan extrem tryckökning. Annars försenar denna tryckökning (mottryck) tömningen av solfångaren och ger högre termisk belastning av glykolen vid stagnation, plus att man då också riskerar att säkerhetsventilen löser ut med vätskeförlust som följd, om expansionskärlet är för litet.
6. Anslutningsrören till inlopp och utlopp på solfångaren måste även dessa luta kontinuerligt uppåt mot solfångaren så att inte svackor bildas som kan hindra eller försena dräneringen när ångtrycket stiger i absorbatoren vid begynnande stagnation. (detta är även viktigt för säker avluftning av systemet)

7. Denna lösning ger snabb dränering av glykolen från solfångarens varmaste delar och förhindrar också kraftiga oljud i systemet vid tömningen pga. tryckslag vid implosioner när ånga möter kallare delar av systemet. (vid rätt konstruktion stannar ångan uppe i solfångarens absorbator).
8. Dessutom ger denna lösning minimal temperaturlastning på systemdelar under solfångarens inlopp, som annars kommer att utsättas för extremt höga temperaturer under stagnationsförloppet om kokningen pågår under längre tid som vid felaktig utformning (främst fel lutning och svackor eller u-rör som ger fickor av vätska som helt måste förångas bort istället för att tryckas ner direkt ur solfångaren vid första kokningsförloppet) av solfångarens absorbatorrör och anslutande ledningar.
9. Ett ytterligare fenomen som är mindre undersökt är att vattnet har en tendens att separera från glykolen vid kokningen (precis som vid frysning av värmebärare). Detta ökar kokpunkten för den glykol som ev. blir kvar i u-rör och svackor i absorbatorerna. Detta förlänger därmed ytterligare den tid som glykolen utsätts för stagnationstemperaturer markant om inte systemet har konstruerats med "fall" eller lutning, hela vägen i absorbator och anslutningsrör. *Detta separationsfenomen är alltså bara av betydelse i felaktigt utformade system.* En ångvolym på ca 4 liter mättad vattenånga i absorbatoren vid 200°C motsvarar maximalt ca 32gram eller ca 32 ml vatten eller ca 2 matskedar. Det fyller teoretiskt ca 0.6m av ett 10mm kopparrör vid återkondensationen när solfångaren svalnar. Egentligen blir det troligen överhettad ånga i absorbatoren, som har mindre vatteninnehåll. Inga problem pga. detta har observerats.

## Appendix 1: Excel-beräkningar av expansionskärls funktion och dimensionering:

Solvärmekretsen i systemet har modellerats i Excel för att bedöma vilken volym som krävs av expansionskärl vid överhettningsskydd med partiell förångning. Resultatet är att volymbehovet är större än vad som är gängse på många håll i branschen, om man verkligen vill skydda glykolen från höga temperaturer.



För att kontrollera inverkan av tryckfall i systemet och val av lämplig rördimension har även systemet modellerats med avseende på tryckfall. Det ser ut som att man kan gå ner i rördimension kraftigt mot vad som är gängse i branschen. Ända ner mot 10 mm rör (ytterdiameter) är möjligt i ett kombisystem, men kan då kräva ny pump med mer marginal i tryckhöjd än dagens standard cirkulationspumpar, om systemet inte görs med noggrant fall så att avluftningen blir "idiotsäker". En ganska säker slutsats av denna undersökning är också att de grova rör som i dag används kommer av att man haft problem med höga tryckfall pga. dålig avluftning och seriekopplade vertikala u-rör i absorbatör och dragning av inloppsrör över nock.

Exempel på excelark med tryckfallsberäkning visas nedan. Här kan också utläsas de enormt små pumpeffekter (ca 2 watt netto) som skulle krävas med en speciell solpump dimensionerad för rätt flöden och tryckfall. I dag används mycket kraftigt överdimensionerade pumpar vad gäller flödet. Detta är dock enda alternativet som finns på marknaden i dag med rätt kostnad, driftsäkerhet och tillräckligt låg ljudnivå.

## Rörberäkning solvärme Bengt Perers SERC EMB Högskolan Dalarna FEB 2003

Ljuskult är indata tryckfall

Ljusrosa är indata Värmeteknikt

### Rördiameter från vattenhastighet och flöde

Vattenhastighet	m/s	0,03
Volymflöde	l/min	1
Rördiameter inner	mm	26,6

### Vattenhastighet från flöde och innerdiameter

Volymflöde	l/min	10
Rördiameter inner	mm	10
Vattenhastighet	m/s	2,12

### Tryckfall ur flöde och innerdiameter rörlängd densitet o viskositet

Volymflöde i rörsystemet	l/min	3	(Normalt flöde är 0,2-1,0 l/min per m2 solfångare)
Rördiameter ytter	mm	10	
Rördiameter inner	mm	8,3	
Isolertjocklek utanpå rören	mm	15	
Lamda isolering rör	W/m/K	0,04	
Lamda rörvägg	W/m/K	400	400 koppar 0,15 plast
Inloppstemperatur till rörsystemet	C	50	
Omgivningstemperatur rörsystem	C	20	
Rörlängd totalt "dubbel väg"	m	25	Vatten 20C 1,00E-06
Densitet vätska	kg/m3	1000	Vatten 50C 6,00E-07
Värmekapacitet vätska	J/kg/K	4190	Tyfocor LS -20C 50mm2/s =5*10^-6 m2/s 5,00E-06
Viskositet (kinematisk "ny")	m2/s	7,00E-07	Tyfocor LS 50C 2mm2/s =2*10^-6 m2/s 2,00E-05
Vattenhastighet	m/s	0,92	(Bör vara mellan 0,4 och 1,0 m/s i kopparrör max 2m/s i stålrör)
Reynolds tal	[ - ]	10963	(Re > 2320 är troligt turbulent flöde)
Tryckfall rörlängder om turbulent	Pa	39537	
Tryckfall rörlängder om laminärt	Pa	7516	
Strömningstyp turbulent/laminärt flöde		Turbulent	
Tryckfall rörlängd	Pa	39537	
Summa ksi=Antal tvära krökar och ventiler (ksi: st		10	
Engångstryckfall	Pa	4274	
Tryckfall tot. [Pa]	Pa	43811	
Tryckfall tot. [mVp]	mVp	4,0	
Tryckfall tot. [bar]	bar	0,4	

### Pumpeffektbehov

Hydraulisk effekt	W (hydr.)	2,2
Verkningsgrad		0,10
Eleffekt Pump	W (elektr)	21,9
Energier per år	kWh/år	33

### Rörförluster Materialmängder Temperaturfall

Vätskevolym i rör	liter	1,4	
Materialvikt i köjdensitet 8,93kg/dm3	kg	5	
Isoleringsvolym	Liter	29	
Rörförluster lamda rör/isol 400/0,04	W	120	(Förenklad beräkning i längdriktningen)
Rörförluster per år	kWh/år	180	
Temperaturfall utmed rörlängden	C	0,6	(Förenklad beräkning i längdriktningen)
Total värmekapacitet rörsystem	J/K	13231	
Energiförlust DeltaT 60 C per dag	kWh/dag	0,2	
Energiförlust DeltaT 60 C per år	kWh/år	44	
Värmeöverföringstal inne i rören	W/m2/K	4113	Ska var högt inne i solfångare
Upphållstid/Genomströmningstid rör	Minuter	0,5	