



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

R117:1979

Tillförlitlighetsteknik hos solvärmecentraler

**Metodstudie av
Lambohovprojektet i
Linköping**

Jan R Schnittger

**TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET**

Byggforskningen

R117:1979

TILLFÖRLITLIGHETSTEKNIK HOS SOLVÄRMECENTRALER
Metodstudie av Lambohovprojektet i Linköping

Jan R Schnittger

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790277-5 från Statens råd för byggnadsforskning
till Dynalog AB, Saltsjöbaden.

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

R117:1979

ISBN 91-540-3106-0
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 957142

INNEHÅLL

1	SOLVÄRMECENTRALENS FUNKTIONSSÄKERHET . . .	7
1.1	Den svenska planen för solvärmecentraler .	7
1.2	Vilka ytterligare problem medför större solvärmecentraler	7
1.3	Valet av studieobjekt	9
2	TILLFÖRLITLIGHETSPROGRAM FÖR SYSTEM. TILLÄMPNING PÅ SOLVÄRMECENTRALER	11
2.1	Allmänna synpunkter på tillförlitlighetsprogram	11
2.2	Tillförlitlighetsprogram för ett system .	12
2.3	Allmänna riktlinjer för solvärmecentraler	14
2.3.1	Förutsättningar	14
2.3.2	Programmets huvuddelar	14
2.3.2.1	Administrativa/tekniska resurser	14
2.3.2.2	Planering av arbetet. Tidsscheman	15
2.3.2.3	Huvudmål	15
2.3.2.4	Funktionell tillförlitlighet för varje konsument	15
2.3.2.5	Systemfunktioner - Tillförlitlighet och ekonomi	16
2.3.2.6	Garantier	16
2.3.2.7	Demonstration av uppnådd tillförlitlighet	16
2.4	Tillförlitlighetsspecifikationer och garantier	17
2.4.1	Huvudmål	17
2.4.2	Funktionell tillförlitlighet för varje konsument	18
2.4.3	Systemfunktioner - Tillförlitlighet och ekonomi	19
2.4.4	Demonstration av uppnådd tillförlitlighet	22
2.5	Slutsatser	24
3	TILLFÖRLITLIGHETSMODELLER FÖR EN SOLVÄRMECENTRAL	25
3.1	Behovet av alternativa modeller	25
3.2	Systembeskrivning	27
3.2.1	Huvudsystem	27
3.2.2	Solvärmesystemet	29
3.2.2.1	Princip	29

3.2.2.2	Reglering av solvärmesystemet	30
3.2.3	Huvudsystem Bostadsuppvärmning	32
3.2.3.1	Princip	32
3.2.3.2	Reglering av bostadsuppvärmningssystemet	34
3.2.4	Varmvattenproduktion	35
3.2.4.1	Princip	35
3.2.4.2	Reglering av varmvattensystemet	35
3.2.5	Komponenter	38
3.2.6	Allmänna funktioner i Lambohov	39
3.3	Händelseträdanalys av solvärmecentralens huvudsystem	40
3.3.1	Solvärmeproduktion	40
3.3.2	Bostadsuppvärmning	40
3.3.3	Varmvattencirkulation	44
3.4	Felsätts- och Effektanalys (FMEA) Solvärmeproduktionens FMEA	44
3.5	Modellen som underlag för en kvantitativ analys	49
3.5.1	Funktionell tillförlitlighet för varje konsument	49
3.5.2	Solvärmesystemets tillgänglighet	52
3.6	Slutsatser	55
4	UTVECKLINGSPROBLEM VID SOLVÄRMECENTRALER	57
4.1	Allmänna systemsynpunkter	57
4.2	Nya komponenter	58
4.2.1	Solfångare	58
4.2.2	Värmemagasinet	64
4.2.3	Värmepumpar	67
4.3	Solvärmesystemets tillgänglighet och underhåll i ett längre tidsperspektiv	68
4.3.1	Solfångarens verkningsgrad	68
4.3.2	Solfångarens livslängd	69
4.3.3	En modell för prediktering och provning av solvärmesystemets effektivitet under längre tidsperioder	72
4.4	Slutsatser	77
5	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	79
5.1	Bättre anläggningsekonomi och fastare F&U-insats med ett program för tillförlitlighet	79
5.2	Rekommendationer	81

6	LITTERATUR	83
BILAGA 1	Utdrag ur Mekanresultat 76008	85
BILAGA 2	Test Methods and Minimum Standards for Solar Collectors, Florida Solar Energy Center, 1977	89

1 SOLVÄRMECENTRALENS FUNKTIONSSÄKERHET

1.1 Den svenska planen för solvärmecentraler

Denna avser att steg för steg utveckla ekonomiskt berättigade anläggningar för bostadsuppvärmning och varmvattenförsörjning.

Erfarenheterna inom landet med denna alternativa energikälla inskränker sig fortfarande till enfamiljshus och ett medelstort kontorshus. Ansträngningarna har helt naturligt koncentrerats på komponentutveckling och primära funktionsproblem.

En aktuell arbetshypotes för solvärmens tillvaratagande är att antalet anslutna lägenheter bör vara betydande därför att man därmed skulle få mindre värmeförluster från det termiska magasinet. Detta innehåller vatten eller eventuell annan vätska vars temperatur under eftersommaren kulminerar för att magasinet under höst och vinter skall kunna avge värme vid praktiskt användbara temperaturer.

Bostadsområdet Lambohov i Linköping utgör med sina 55 radhuslägenheter ett led i denna strävan mot solvärmecentraler av betydande storlek.

Installationen för en- eller tvåfamiljshus kan förefalla vara skäligen enkla och borde inte ge upphov till andra tillförlitlighetsproblem än ett eventuellt övermått av mulet väder. Det finns dock vissa hot mot funktionssäkerheten, särskilt i ett längre tidsperspektiv. Detta är i betydande grad förknippat med solfångaren, vilken på olika sätt genomgår en degradering på grund av solstrålning, korrosion etc. Den måste också skyddas mot frysning, kondens och temperaturdeformationer.

1.2 Vilka ytterligare problem medför större solvärmecentraler?

Kan ett tillförlitlighetstekniskt tänkande medverka till bättre tekniska lösningar?

Syftet med denna studie är att visa vad man kan göra med tillförlitlighetstekniska metoder på såväl komponent- som systemnivån.

Man kan med Lambohov som utgångspunkt urskilja föl-

jande källor till funktionsproblem när enfamiljsanläggningen av "ekonomiska motiv" utvidgas till en betydande solvärmecentral:

- Parallelldrift av ett större antal solfångare vilket innebär att man måste åstadkomma ett likformigt flöde trots lokala skiljaktigheter i rördragning, höjdlägen etc.
- Ett betydande dubblerat distributionsnät för såväl solvärmeproduktion som bostadsuppvärmning
- Övergång mellan olika driftsformer (t.ex. tömning och fyllning av solvärmesystemet med hänsyn till frysrisk) måste ta hänsyn till systemens tröghet och lokala fenomen såsom fördelning av värmemediet m.m. Regler- och kontrollutrustningen är också en viktig del i detta sammanhang.
- En större central medför nästan utan undantag en förhöjd ambitionsnivå med avseende på begärda prestanda. Så till exempel har man i ett visst projektskede avsett att i Lambohov kunna arbeta oberoende av annan yttre energitillförsel än viss elektrisk förvärmepumparna. Man kommer således att installera tre värmepumpar som tar grundvärmen från magasinet. Detta medför redan vissa drifttekniska problem. Bortsett från värmepumparna tillkommer nämligen en förhöjd termisk chock på solfångarna när magasinstemperaturen når låga värden under vinterhalvåret. I Lambohov tvingas man nog ändå att utöver värmepumparna ta i anspråk en oljeeldad mobil varmvattenpanna. Den större anläggningen ställer större krav på utrustning för start, driftomläggning, reglering, felindikation m.m. I Lambohov arbetar man såväl med ett datoriserat system (digitalt) som med ett autonomt analogt system. Komplexiteten växer och funktionssäkerheten blir svårare att överblicka och kontrollera. Med den förhöjda ambitionsnivån kan också följa en önskan att utveckla nya komponenter såsom solfångare. I Lambohov arbetar man på en solfångare med ovanligt stor längd för att den skall passa in i aktuell takkonstruktion. Man måste således delvis upprepa utvecklingen av solfångarens funktionssäkerhet.

-Den fundamentala strävan att förstora det termiska magasinet (i Lambohov rymmer detta 10000 m³) innebär vissa svårbedömbara risker som man kanske inte ännu uppmärksammat i full utsträckning.

1.3 Val av studieobjekt.

Det finns således både tekniska och ekonomiska skäl till att klarlägga i vilken mån erfarenheter och metoder från modern tillförlitlighetsteknik kan bidra till solvärmecentralernas driftssäkerhet.

I själva verket torde det vara angeläget att införa ett tillförlitlighetstekniskt tänkande redan på projekt och utvecklingsstadiet.

Man har inom processindustrin klart för sig behovet av att utsträcka denna insats också till detaljkonstruktion, tillverkning, provdrift, utvärdering och långtidsdrift.

Valet av Lambohov föll sig naturligt därför att projektet vid början av denna studie befann sig i ett intressant utvecklingsskede som uppvisade en provkarta över alla problemtyper, mekaniska, termiska, byggnadstekniska och administrativa.

För en så pass komplicerad anläggning som Lambohov hade det nog varit naturligt att redan från början avsätta vissa resurser för genomförandet av ett väl organiserat tillförlitlighetsprogram också inkluderande den avsevärda tid som åsyftas för garanti- och provdrift.

I april 1979 besöktes följande företag:

Östgötabyggen, huvudentreprenör

Ahlströms VVS-byrå, Systemkonsult

Ingenjörsmåttfirma Sjöblom & Karlsson, V-konstruktörer

Calor-Celsius, VVS entreprenör

Gränges, Aluminium, leverantör av absorbatorelement

STAL Refrigeration, leverantör värmepumpar

Studsvik Energiteknik, mätvärdesinstallation, reglerutrustning.

Vidare inspekterades byggplatsen den 25 april 1979.

Ingen väsentlig mekanisk utrustning fanns då installerad men ett flertal arrangemang och planer kunde klarläggas. Ett flertal hus var under uppförande och en solfångarmodul låg på plats.

I kapitel 2 redovisas allmänna synpunkter på systemtillförlitlighet och garantier vilka är kända sedan tidigare. Ett förslag till ett tillförlitlighetsprogram framföres vilket är direkt avpassat för solvärmecentraler. Kapitel 3 demonstrerar några delvis skilda modeller avseende tillförlitligheten hos en solvärmecentral med exempel från Lambohov.

Solvärmecentraler befinner sig i ett mycket aktivt utvecklingsskede och några aktuella problem och risker belyses i kapitel 4. Kapitel 5 sammanfattar synpunkter på hur arbetet på funktionssäkra solvärmecentraler skulle kunna läggas upp.

2 TILLFÖRLITLIGHETSPROGRAM FÖR SYSTEM TILLÄMPNING PÅ SOLVÄRMECENTRALER

2.1 Allmänna synpunkter på tillförlitlighetsprogram

Varje program för tillförlitlighet bör givetvis syfta till anläggningens optimala funktion under hela dess livstid.

Man måste dock samtidigt hålla i minnet att det kan komma att kosta alltför mycket att på en gång uppnå en mycket låg felfrekvens, obetydliga kostnader för underhåll och negligerbara "barnsjukdomar". Ett utökat behov av teknisk utveckling, dyrbarare konstruktioner och material, stora insatser för provning samt förlängd tid för den tekniska utvecklingen kan nämligen komma att överväga vid den ekonomiska värderingen. Vinsten med den "nästan perfekta anläggningen" i form av låga driftskostnader och hög behovstillfredsställelse för anläggningens kundkrets har då köpts till ett alltför högt pris. Man tvingas således till en avvägning.

Motsatsen gäller naturligtvis också, dvs ett försummat tillförlitlighetsprogram kan leda till höga drifts- och underhållskostnader och otillfredsställda konsumenter.

Det är därför på sin plats att konstatera följande:

- Ett väl avpassat tillförlitlighetsprogram är alltid ekonomiskt motiverat.
- Tillförlitlighetsteknisk aktivitet kostar, såsom alla andra resursinsatser, pengar och utgifterna måste ingå i kostnaderna för anläggningen. Det är närmast en fråga om bokföring och förhandlingsteknik hur dessa kostnader debiteras, separat, inbakade i huvudleverantörens offert eller betald av en tredje part såsom ett statligt forskningsråd.
- Oberoende av debiteringsprincipen är det nödvändigt att bestämma ansvarsfördelningen mellan beställare, huvudentreprenör och underleverantörer för de olika momenten i tillförlitlighetsarbetet.

2.2 Tillförlitlighetsprogram för ett system.

Någon allmänt accepterad svensk rekommendation existerar inte ännu beträffande uppläggning och genomförande av tillförlitlighetsarbetet vid en process- eller produktutveckling.

Sveriges Mekanförbund arbetar bl.a. med dessa frågor och har publicerat flera skrifter. "Tillförlitlighet-Riktlinjer för utformning av specifikationer och garantier", 1976, ref.1, berör delar av vår aktuella problemställning. Man framhåller vikten av att specificerade värden ingår i köpeavtalet för att få juridisk betydelse. Man ser tillförlitlighet såsom ett samlande begrepp för egenskaper som resulterar i att endast ett fåtal fel inträffar i en process, att fel lätt kan avhjälpas och att lämpliga hjälpmedel och personal finns tillgängliga.

Specifikationer bör innehålla numeriska krav på produktens eller processens tillförlitlighet, krav på aktiviteter, metoder, processer, material, och arbetsgrupper vid utveckling, tillverkning och kontroll samt krav på underhållsresurser. Såsom specifikationsparametrar framhåller man:

Livstidskostnad	Testeffektivitet
Tillförlitlighet	Underhållsmässighet
Inbyggd tillgänglighet	Underhållssäkerhet
Funktionssäkerhet	Kvalitetsklass

Försvarets Teletekniska Laboratorium, FTL, har givit ut en vägledning beträffande program för tillförlitlighetsprovning av apparater, ref.2. Den behandlar förslag till hur man skall beakta miljöfaktorer vid bestämning av provningscykler med varierande belastning av mekaniska spänningar, temperatur, klimatfaktorer m.m. Innehållet i FTL-rapporten ligger till grund för arbetet på en liknande internationell standard.

Man har ofta, inte minst för militära leveranser, fallit tillbaka på amerikanska normer såsom MIL-STD-785A, 1969, ref.3. Den beskriver hur ett tillförlitlighetsprogram för utveckling och produktion av system och utrustningar bör läggas upp.

En viktig målsättning är att integrera skilda tekniska och administrativa aktiviteter under systemets hela nyttiga livslängd. Man söker etablera enhetliga kriterier och riktlinjer för tillförlitlighetsprogrammet och behandlar också upphandlingen och fördelningen av ansvaret mellan beställare och leverantör.

MIL-STD-785A uttalar i ett avsnitt om allmänna villkor:

a) Tillförlitlighetsprogram

- ▣ Leverantören skall etablera och vidmakthålla ett effektivt tillförlitlighetsprogram som är planerat, integrerat och utvecklat i samband med andra funktioner för utveckling och tillverkning. Programmet skall syfta till det mest ekonomiska fullföljandet av projektets huvudmål.
- ▣ Programmet skall inkludera administrativa och tekniska resurser, planer, procedurer, tidscheman och kontroll med avseende på allt arbete som erfordras för att man skall nå uppsatta mål för tillförlitligheten.
- ▣ Programmet skall avpassas såväl till typen av produkt/process som till arbetsfasen (konstruktion, utveckling, tillverkning) för en given beställning.
- ▣ Programmet skall vidare vara adekvat med hänsyn till nivån för tillförlitlighetskraven, konstruktionens komplexitet, dess allmänna förekomst samt aktuell kvantitet och den tillverkningsteknik som erfordras.
- ▣ Programmet skall slutligen motsvara de krav på tillförlitlighet, som kontraktet stipulerar.

b) Kvantitativa villkor.

Tillförlitlighetskriterier, som tillförsäkrar att anläggningen kan uppfylla sina funktionella mål, skall specificeras i kontraktet.

Dessutom skall s.k. minimalt acceptabla tillförlitlighetskrav på maskinvaran (hardware) specificeras på samma sätt.

Kvantitativa tillförlitlighetskrav för alla väsentliga subsystem och utrustningar skall inkluderas i motsvarandedelar av system- och komponentspecifikationerna.

Sådana data, som ej kan fastställas av beställaren

vid kontraktets tecknande, skall anges av leverantören vid senare, ehuru i förväg fixerade tidpunkter.

c) Demonstration av uppnådd tillförlitlighet

Man skall med prov och analys i enlighet med kontraktets bestämmelser påvisa att minimalt acceptabla tillförlitlighetskrav har uppnåtts av maskinvaran.

d) Plan för tillförlitlighetsprogrammet.

Leverantören skall preparera en särskild genomförandeplan som visar hur han avser att integrera de delprogram som inrymmer under särskilda beskrivningar (detaljvillkor).

2.3 Allmänna riktlinjer för solvärmecentraler.

2.3.1 Förutsättningar.

Det måste åligga huvudentreprenören att utarbeta riktlinjerna för tillförlitlighetsprogrammet antingen med hjälp av egen eller inhyrd expertis.

Programmet bör självfallet ta hänsyn till existerande normer beträffande installationer, materialprovning, samt förberedelser och genomförande av provdrift. Byggnormerna (VA-normen) enligt Statens Planverk berör VVS-installationerna men de ger obetydliga anvisningar för det egentliga tillförlitlighetsarbetet. Man måste dessutom komma ihåg att solvärmecentraler medför nya systemlösningar och nya komponenter. Nuvarande normer syftar till personsäkerhet och anläggningens fortsatta existens men berör knappast funktions-säkerheten med avseende på driftstörningar eller olika former av nedsatta prestanda.

Huvudentreprenören har redan idag ansvaret för att integrera underleverantörernas leveranser och arbete. Ett aktivt tillförlitlighetsprogram innebär dock att huvudentreprenören med utgångspunkt från den accepterade specifikationen på motsvarande sätt också följer de faktorer som påverkar tillförlitligheten.

2.3.2 Programmets huvuddelar.

2.3.2.1 Administrativa/tekniska resurser

Budget och resurser i form av personal, lokaler, material m.m. som avdelats för att genomföra tillförlit-

lighetsprogrammet.

2.3.2.2 Planering av arbetet. Tidscheman

I detta avsnitt bör frågor av följande typ kunna besvaras:

- Vilka personer är ansvariga för tillförlitligheten på systemnivå?
- Hur sörjer man för tillförlitlighetsarbetet m.a.p. subsystem och komponenter?
- Vilken har ansvaret för materialval och bedömning av miljö- och stressfaktorer såsom inverkan av vatten- och luftkvalitet, översvämning, snö, regn, fukt, vibrationer etc?
- Vilken följer upp tillförlitlighet, specifikationer och kontroll av underleverantörernas system och tjänster?
- Hur integreras subsystemens leveranser vid respektive systemgränser med hänsyn till tillförlitlighetskraven?
- Hur bedömer och värderar man under arbetets gång tillförlitligheten m.a.p. montage och drifttagning?
- Vilken följer upp den predikterade tillförlitligheten under varje arbetsfas och ställer den i relation till de värden som kontraktet föreskriver?
- Vilket tidschema gäller för konstruktionsgranskningar (design review panel) av anläggningens olika delar?

2.3.2.3 Huvudmål

Beställare och huvudentreprenör måste här gemensamt fastställa vilka prestanda anläggningen skall ha och hur dessa påverkar leveransen till varje konsument inom bostadsområdet. Ifall man ej gör detta på ett entydigt sätt så kan man ej heller ange entydiga krav på tillförlitlighet.

2.3.2.4 Funktionell tillförlitlighet för varje konsument.

Beställare och leverantör måste gemensamt slå fast i vilken grad och på vilket sätt huvudmålen skall uppfyllas, dvs vilken minimal tillgänglighet som skall uppfyllas m.a.p. uppvärmning och varmvattentillgång.

2.3.2.5 Systemfunktioner-Tillförlitlighet och Ekonomi.

Solvärmecentraler i Sverige kommer att byggas för en större eller mindre täckningsgrad av det totala behovet av uppvärmning och/eller varmvatten.

Restbehovet måste då täckas med någon form av energi från annat håll, t.ex. från en oljeeldad panna eller med hjälp av en värmepump. Härigenom tillskapas vanligen en viss marginal för bortfall av primärenergien. Man får en viss REDUNDANS. Beroende på omständigheterna kan man då, även vid en viss nedsättning av primärsystemets prestanda, fullfölja funktionsgarantin för konsumenten rent tekniskt, men detta kan samtidigt innebära ökade driftkostnader och långsiktiga konsekvenser för tillförlitligheten.

Antag till exempel att solfångarna efter en tid ej längre ger den effekt som avsetts. Tillsatsenergin i form av olja eller elenergi belastar då driftkontot samtidigt som energileveranserna på lång sikt kan äventyras. Det blir därför nödvändigt att komplettera den funktionella tillförlitligheten såsom den specificeras för varje konsument med vissa kriterier för den globala systemtillförlitligheten. Dessa kriterier måste till en del uttryckas så att de ger upplysningar om de ekonomiska konsekvenserna.

2.3.2.6 Garantier.

Vissa kriterier och åtaganden, vilka inte låter sig naturligt infogas i de förgående två punkterna, bör behandlas här, om de har anknytning till anläggningens tillförlitlighet. Hit kan till exempel räknas garantier för livslängder hos vissa subsystem eller komponenter.

2.3.2.7 Demonstration av uppnådd tillförlitlighet.

Beställare och leverantör måste gemensamt komma överens om hur man skall påvisa att anläggningen verkligen uppfyller de stipulerade kraven på tillförlitlighet. Detta kan givetvis ske på en mångfald olika sätt. Omfattningen av denna bevisning är också en kostnadsfråga.

Såväl tekniska resonemang och analyser som prov eller provdrift av olika slag kan ingå i begreppet "demonstration av tillförlitlighet". Prov kan vara delprov m.a.p. materialprovning. Prov kan också vara ett typprov där en komponent från en viss serieproduktion genomgått en serie prov, varigenom komponenten anses ha avsedd tillförlitlighet.

Prov, särskilt vid nya eller okonventionella anläggningar, får naturligtvis ett större värde om de kan genomföras med hela anläggningen i aktuell drift.

Vad man än avser att göra är det av stor vikt att man verkligen kommit överens om och i förväg dokumenterat hur demonstrationen av uppnådd tillförlitlighet skall utföras.

2.4 Tillförlitlighetsspecifikationer och garantier.

I Bilaga 1 återges ett utdrag från ref.1, vilket kan ytterligare belysa nedanstående förslag, som direkt anknyter till situationen vid solvärmecentraler.

2.4.1 Huvudmål.

Anläggningen skall till i förväg specificerade konsumenter leverera såväl vatten för bostadsuppvärmning som varmvatten för motsvarande hushåll.

Målet för uppvärmningsbehovet kan anges såsom E_u kWh per dygn per hushåll vid angivna framlednings- och returledningstemperaturer respektive t_f och t_r vid hushållens anslutningar till distributionsnätet. Det skulle kunna vara befogat att ytterligare precisera detta mål genom att ge gränsvärden som skall gälla för vissa basmånader under kalenderåret.

För konsumenten som köpt en färdig lägenhet skulle det naturligtvis vara fördelaktigare att få den egna bostadens system och väggisolering inkluderade i specifikationen. Det kan dock vara praktiskt att stanna vid anslutningen mellan distributionsnät och lägenhetens system, vilket är uppbyggt av kända komponenter, installerade i bostäder enligt accepterad byggnadsteknisk standard och det blir lättare att demonstrera uppnådd tillförlitlighet.

För bruksvarmvattnet torde motsvarande mål kunna ut-

tryckas såsom möjligheten att kunna ta ut minst X_b liter varmvatten per dygn, hushåll vid en tapptemperatur av t_b .

2.4.2 Funktionell tillförlitlighet för varje konsument.

Från konsumentens synpunkt är systemets prestation tillfredsställande om anläggningen vid anslutningsstället kontinuerligt uppfyller de angivna huvudmålen.

▲ En försämrad servis för konsumenten uppstår när energikvantitet för uppvärmning eller varmvatten ej kan levereras i full omfattning eller vid angivna temperaturer.

▲ En försämrad servis har också inträtt om prestanda minskat så långt att man har noll-effekt, m.a.o. ett avbrott i leveransen inträffar under någon del av dygnet.

▲ En minskad behovstillfredsställelse har också inträtt om systemet förutom avtalad periodisk översyn och inspektion kräver ingrepp endera i bostadens inre system för uppvärmning eller varmvatten eller i den till bostaden hörande delen av produktionssystemet, dvs solfångare med rör och reglersystem.

Eftersom en bostad har en viss egen värmekapacitet i kWh/°C så avtar temperaturen i densamma exponentiellt med tiden vid ett eventuellt leveransstopp för att således gradvis anta omgivningstemperaturen. För konsumentens del kan det därför finnas en viss, mindre temperaturtolerans, vilken skulle medge ett kort leveransavbrott. Motsvarande typ av tolerans skulle kunna gälla varmvatten mellan exempelvis kl. 2400 till 0400 under vissa dygn.

Den funktionella tillförlitligheten för en konsument skulle således kunna specificeras på följande sätt:

□ Ett fel har inträffat å uppvärmningssystemet då energikvantiteten för uppvärmning reducerats med mer än $x\%$ av det minimalt specificerade E_u -värdet under minst y minuter i en eller flera av till anläggningen anslutna bostäder eller om totalt leveransstopp inträffar under mer än z minuter.

▣ Ett fel har likaledes inträffat om man tvingas ingripa i en enskild bostad vid andra tillfällen än de avtalade för inspektion och översyn.

▣ Ett fel har inträffat för bruksvarmvattensystemet om det ej kan leverera minimalt specificerade x_b liter per dygn och hushåll under dygnets alla timmar med undantag av tiden mellan klockan K_1 och K_2 samt med undantag för överenskomna tider för inspektion och översyn.

▣ Tillgängligheten för respektive system definieras:

$$A = 1 - (T_{\text{ser}} + T_{\text{st}} + T_{\text{rep}})/T$$

T = total kalendertid

T_{ser} = avtalad tid för servis och underhåll

T_{st} = avtalad tid för systemets avställning (säsong)

T_{rep} = påtvingad tid för reparation

▣ Försämrade behovstillfredsställelse, fel, har inträtt vid följande omständigheter.... som berör ingrepp i bostadsmiljön. Detta kan till exempel bestå i ingrepp i trädgårdar och annan närmiljö utomhus för reparationer på solfångare, värmemagasin etc.

2.4.3 Systemfunktioner-Tillförlitlighet och ekonomi.

En central med fler än ett sätt att tillföra energi får med avseende på tillförlitlighet en viss redundans, dvs en viss valfrihet inom centralen för att fullfölja huvudmålet och därmed uppfylla den funktionella tillförlitligheten för konsumenten.

Lambohov har i projekteringsstadiet beräknats för en täckningsgrad av 89% dvs endast 11% av det totala behovet av uppvärmning och varmvatten avser man att täcka genom tillskott från värmepumpar (och i nödfall från en reservpanna). Värmepumparna arbetar mellan två temperaturnivåer, dvs vattenmagasinets (för ändamålet alltför låga) temperatur och den som råder i kondensatorerna (framledningstemperatur). Genom en viss överdimensionering av värmepumparna kan en täckningsgrad större än den projekterade erhållas under vissa villkor (temperaturen i vattenmagasinet får ej ge risk för

frysning). Vid en onormalt låg sommaruppladdning (dåligt solår, nedsatta prestanda hos solfångarna) kan man i god tid sätta in värmepumparna för att bättra på uppladdningen. Värmepumparna skall dock i första hand medge en viss marginal för säsong och årsvariationer. Sådana naturens avvikelser leder då till extra kostnader respektive vinster på liknande sätt som för hydroelektriska system.

Å andra sidan kan tydligen redundansen till en viss grad utnyttjas för att fullfölja anläggningens huvudmål (funktionell tillförlitlighet för varje konsument) även om solvärmecentralens egenproduktion av solenergi skulle reduceras till följd av brister i produktionssystemet, dvs solfångare, rörledningar, reglersystem, värmemagasin och centralbyggnadens maskinsystem.

Under förutsättning av redundans i form av värmepumparnas kapacitet och värmemagasinet momentana temperaturfördelning och naturligtvis storlek, så kan ett påtagligt produktionsbortfall kompenseras. Den funktionella tillförlitligheten behöver inte påverkas kortvarigt så länge som inte några åtgärder måste vidtas i bostadsmiljön.

För det globala systemet får emellertid produktionsbortfallet ett flertal följder. Den ökade energin utifrån ökar utgiften för inköpt energi. Åtgärder för att återställa produktionssystemet kostar pengar i form av arbete, reservdelar etc.

Ett långvarigare produktionsbortfall kan få allvarigare konsekvenser i solvärmecentraler avsedda för närmare 100% täckningsgrad. Det måste därför vara viktigt att specificera de villkor som skall gälla för solvärmecentralens egenproduktion av energi. Man inser att det i praktiken finns ett flertal nivåer för brister i produktionssystemet:

- Mindre bortfall av solvärme som utan svårighet kan kompenseras med tillskott från värmepumparna.
- Så stort bortfall av solvärme att marginalen för naturens egna säsong- och årsvariationer ej alltid kan garanteras med värmepumparna, dvs kritiskt bortfall.
- Så stort bortfall av solvärme att huvudmålen ej kan

garanteras ens vid normalår.

- Sådana störningar i det produktiva solvärmesystemet att konsumenternas behovstillfredsställelse i bostadsmiljön minskar till följd av reparationsarbeten och ingrepp i och utanför bostäderna.

Det är uppenbarligen nödvändigt att definiera arten av de fel man har i det produktiva systemet.

Man kan lämpligen dela upp felen i två grupper.

Till den första föres de fel som påverkar tillförlitligheten för konsumentens del.

Till de andra hör de, som visserligen medger fullföljandet av huvudmålen och således en acceptabel nivå hos konsumenten, men till priset av ökade kostnader för driftpersonal, reservdelar, komponentbyte, periodisk översyn, underhållsarbete samt elektrisk energi.

Konsumentens direkta problem har vi redan behandlat.

Den andra gruppen kan med ett visst berättigande betecknas såsom fel med verkan på systemets EKONOMISKA TILLFÖRLITLIGHET, eftersom de inte direkt påverkar konsumentens tekniska eller boendemässiga behov.

När säljarens garantitid utgår påverkar emellertid den ekonomiska tillförlitligheten direkt konsumenternas ekonomi (I Lambohov har Östgötabyggen bundet sig för en ekonomisk garanti under 5 år).

Osäkerheten beträffande anläggningens ekonomiska tillförlitlighet bottnar naturligtvis i att varje utvecklingssteg är förenat med vissa risker. Riskerna i detta fall sammanhänger med att man sätter in nya och oprovade komponenter, vars långtidsegenskaper är okända, bl.a. därför att miljö- och stressfaktorer är nya för de material man konstruerar med. Konstruktionslösningarna är delvis nya, såsom inklädnaden av en så stor vattentank vid förhöjd temperatur, som Lambohovs värmemagasin. Driftsättet med ständiga påfyllningar av ytterluft i produktionssystemets rörsystem är ännu rätt litet utprovat. Solfångarkonstruktionen är ny och inrymmer konstruktiva problem.

Det förefaller väsentligt i nuvarande utvecklingsskede av svenska solvärmecentraler att man gör klart för sig hur denna riskfördelning egentligen skall bäras i var-

je enskilt projekt. Detta klarläggande bör kunna ske inom ramen för de specifikations- och garantitexter som bör ingå i tillförlitlighetsprogrammet.

Det bör således framgå om det är det stödjande statliga organet, huvudentreprenören, underleverantörerna eller bostadsinnehavarna som i en viss situation skall vara risktagare.

Exempel på motsvarande åtaganden finns skisserade i Bilaga 1 i form av Underhållskostnadsgaranti och Livslängdsgaranti.

2.4.4 Demonstration av uppnådd tillförlitlighet

Innan man övergår till att utvärdera en hel solvärme-centrals tillförlitlighet globalt, så skall man givetvis utnyttja möjligheterna till komponentprov av olika slag för att demonstrera miljöfaktorernas betydelse för olika material, klarlägga funktionen för nykonstruerade komponenter etc.

I USA har man börjat publicera standards för typprovning av solfångare, såsom Floridas Test Methods and Minimum Standards for Solar Collectors, 1977, ref. 4. och Bilaga 2.

I denna typprovning ingår bl.a. ett 30 dars långtidsprov av accelererad typ med jämförelse av termiska verkningsgrader före och efter provet. För jämförelsen utgår man ifrån att solfångarens termiska verkningsgrad kan skrivas såsom:

$$\eta = a - bx - cx^2$$

där $x = (t_{\text{medel}} - t_{\text{luft}}) / I$

t_{medel} = vätskans medeltemperatur i solfångaren

t_{luft} = omgivande lufttemperatur

I = total solinstrålning mätt i solfångarens plan

Vid långtidprovets slut får verkningsgraden vid värdet $x = 0$ inte ha reducerats med mer än 10% och lutningen i η -planet inte ha ökat med mer än 10%.

En standard för provning av solfångare och värmemagasin har också utarbetats av Bureau of Standards, 1976,

Wash. USA, ref.5.

Samma instans har också preparerat en temporär standard för solvärmesystem, 1977, ref.13. och en standard för provning av gummimaterial i solfångare, 1978, ref.6. Denna referens innehåller också vissa provresultat.

Det förefaller vara värt att överväga om man inte borde låta svenska solfångarkonstruktioner genomgå ett anpassat typprov innan man påbörjar en serieproduktion såsom nu kan bli fallet i Lambohov.

Ett typprov kan naturligtvis ej helt garantera långtidsegenskaperna. Det bör dock väl motsvara det minimala tillförlitlighetskravet på maskinvaran som ingår i MIL-STD-785A.

Uppläggningsen av långtidsprovningen beror också av den aktuella överenskommelsen mellan beställare och leverantör.

Under förutsättning att långtidsprovningen verkligen syftar till att demonstrera nivån av uppnådd tillförlitlighet (vilket bl.a. visar sig på det sätt man avser att mäta, registrera och dokumentera), så måste provningen också bedrivas så att de i kontrakt bestämda specifikationerna studeras. Detta innebär att relevanta felhändelser uppmärksammas. Det innebär också att den statistiska informationen behandlas korrekt. Avser man till exempel att fastställa MTBF, medeltid mellan fel, så kräves vanligen ett minimum av ackumulerad drifttid som motsvarar mer än sex gånger det eftersträvade MTBF-värdet (MIL-STD-781B, 1967, ref.7 och ref.14). Det förväntade värdet för provtiden är omkring 26 gånger längre än det aktuella MTBF-värdet. Förhållandet varierar för övrigt med hänsyn till konfidensnivå och antagna beställare- respektive producent-risker.

Det är således viktigt att i kontrakt fastställa vilka tillförlitlighetskriterier man avser att mäta, vilka felhändelser som är relevanta och vilken grad av konfidens man är villig att acceptera.

2.5 Slutsatser.

Under efterkrigstiden har man gjort delvis dyrköpta erfarenheter med komplicerade tekniska system, inklusive den s.k. mänskliga faktorn.

Detta har medfört att man steg för steg tvingats göra insatser för att tillförsäkra systemens tillförlitlighet. Man har på så sätt nått fram till skilda slag av teknisk och administrativ aktivitet. Dessa erfarenheter är både av teoretisk och mera praktisk art.

Det är således närmast en akt av självbevarelsedrift att föreskriva ett minimalt tillförlitlighetsprogram när man bestämt sig för att starta en teknisk utveckling, som tar påtagliga resurser i anspråk.

Detta kapitel har framhåvt den fond av erfarenhet, vilken finnes samlad i redan tillgängliga standards och normförslag. Den största delen av dessa har ett allmänt innehåll, men pågående forskning har redan givit upphov till temporära standards med direkt tillämpning på solvärmesystem.

Med dessa utgångspunkter får man vara beredd att anpassa ett program som tar hänsyn till den aktuella anläggningstypen. Ett försök har i detta kapitel gjorts att formulera ett tillförlitlighetsprogram som helt eller delvis skall kunna tillämpas för solvärme-centraler.

3 TILLFÖRLITLIGHETSMODELLER FÖR EN SOLVÄRMECENTRAL

2.1 Behovet av alternativa modeller.

Konventionella tvådimensionella ritningar, flödessche-
man och kopplingsdiagram utgör rationella underlag
för konstruktion, installation, upphandling, projekte-
ring av reglerfunktioner m.m.

Dessa beskrivningar är också utmärkta utgångspunkter
för tillförlitlighetsarbetet. Man har emellertid be-
hov av "modeller" som på skilda sätt kan konkretisera
hur väl en process fungerar, vilka risker den inrymmer
hur stor tillgänglighet den har, vilka underhållskost-
nader den kan medföra och hur de skilda komponenterna
samverkar.

För att bättre kunna bearbeta dessa problem har man
under de sista tjugo åren utvecklat användbara model-
ler, vilka därför ges en kort beskrivning:

Seriemodellen.

I den enklaste modellen av ett system uppfattar vi al-
la komponenter såsom seriekopplade, vilket givetvis är
ett konservativt sätt, eftersom en del komponenter kan
dubblera en viss funktion, dvs bilda en viss redundans.
Antag t.ex. att man har tre komponenter A, B och C,
vilka samtliga måste fungera för att en viss funktion
skall vara möjlig. Funktionssannolikheterna antas
vara respektive R_A , R_B och R_C . Systemet ABC har då
i denna modell den globala funktionssannolikheten R:

$$R = R_A \cdot R_B \cdot R_C$$

Även tillgänglighetsvärdena A_A , A_B och A_C följer sam-
ma lag.

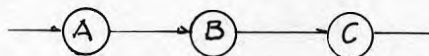


Fig.1 Seriekopplat system

Parts Count metoden.

Genom att räkna antalet komponenter av skilda slag,
vilka måste fungera i ett givet system, samt betrakta
dem som oberoende av varandra ehuru seriekopplade, så
kan man bilda sig en uppfattning om systemets tillför-

litlighet. En viktig förutsättning för att man verkligen skall lyckas är emellertid att man känner till de miljö- och stressfaktorer som komponenterna är utsatta för och att man vid den aktuella stressnivån har värden för varje komponenttyps MTBF.

Händelseträd, FTA (Fault Tree Analysis)

En fullständigare beskrivning av systemets funktion m.a.p. tillförlitlighet får man med en trädstruktur som visar antingen hur en positiv händelse kan uppnås eller hur topphändelsen är ett fel, vilket trots allt inträffar.

FTA metoden utgör en utmärkt arbetsmetod därför att man kan använda den redan från början för en rent kvalitativ beskrivning, en kartläggning av det aktuella systemet. I samma mån som man kan ange numeriska värden för primärhändelsernas sannolikheter, så kan denna beskrivning ges en alltmer kvantitativ karaktär.

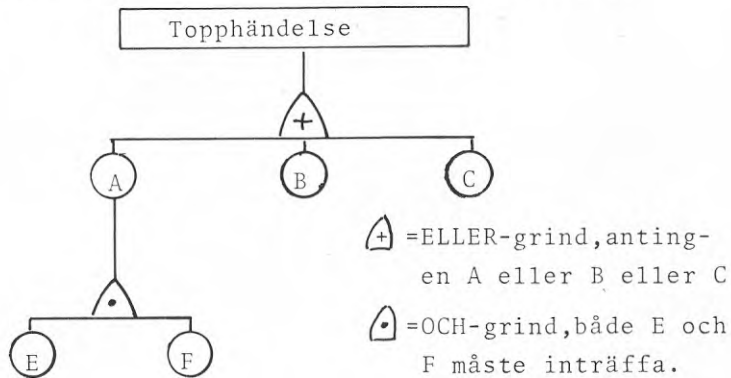


Fig. 2 Händelseträdsanalys, FTA

Felsätts och Effektanalys, FMEA.

Ett annorlunda sätt att nalkas problemet är att utgå ifrån ett komponentfel (även det till synes mest osannolika) och sedan följa upp vilka konsekvenser detta fel kan få i olika situationer. Metoden kan tillämpas på många olika problem, exempelvis vid tillverkning, montage, i en processindustri i drift, ref.9.

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) ger oss en möjlighet att systematiskt kontrollera en anläggnings logik. Om en komponent får ett fel eller ett haveri (normenlig konstruktion till trots) vad blir konsekvenserna för anläggningens tillgänglighet och underhåll?

Felen i dessa fall kan ha olika orsaker; Materielfel, tillverkningsfel, oförutsedda miljö- och stressfaktorer den mänskliga faktorn, icke förutsedda ändringar i anläggningens drifttillstånd, m.m.

Underhållsmodeller.

I alla system med krav på längre varaktighet (dvs sådana som ej har engångskaraktär) kommer komponentfel så småningom att inträffa, vilka kräver inspektion och reparation eller byte av detaljer. Man kan uttrycka saken så att systemet fordrar en viss underhållsprestation. I detta sammanhang har man således användning för modeller som beskriver underhållet. Det finns självfallet olika utgångspunkter. Man kan eftersträva en bedömning av sannolikheten för att en viss underhållsåtgärd kan utföras under givna betingelser. I många fall vill man ha ett värde för tillgängligheten hos systemet i ljuset av den nödvändiga underhållsprestationen. Då måste man känna till både MTBF och MTTR, medeltid för att återställa anläggningen efter det att ett komponentfel inträffat. Andra modeller avser erforderligt antal reservdelar i lager och optimering av drift- och underhållskostnader.

3.2 Systembeskrivning.

3.2.1 Huvudsystem.

Bostadsområdet Lambohov inkluderar en centralt placerad vattentank för magasinering av värmeenergin, Fig. 3 till vilken är ansluten ett maskinrum, en s.k. Centralbyggnad. Ett omfattande rörsystem förbinder centralbyggnad och värmemagasin med de 55 radhuslägenheterna.

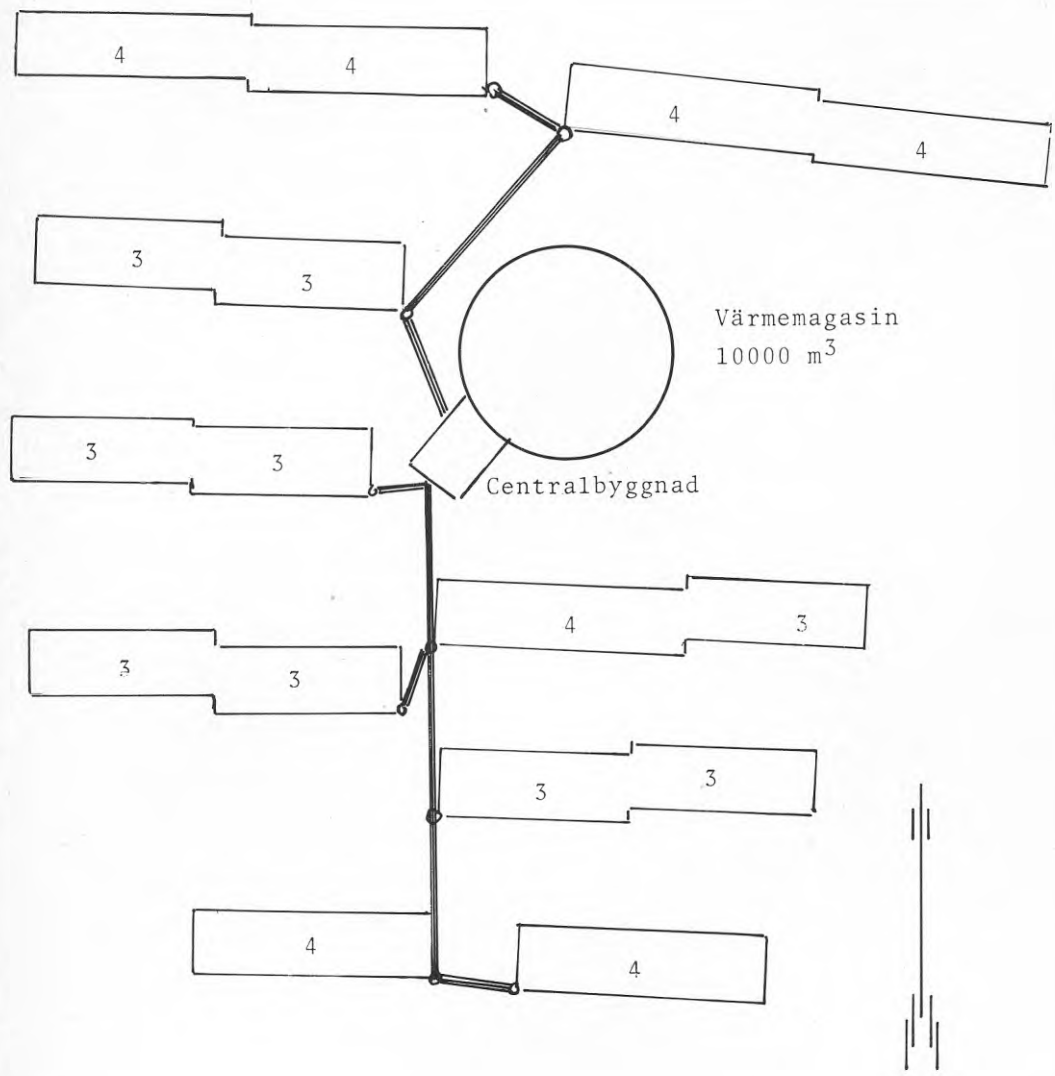


Fig13 Situationsplan för Lambohov

Det är logiskt att särskilja mellan fyra huvudsystem:

- Solvärmeproduktion
- Bostadsuppvärmning
- Varmvattenproduktion (primär & sekundärsida)
- Värmemagasinerings

Värmemagasinet är gemensamt för de tre övriga systemens funktioner. I varje lägenhet finns ett lokalt varmluftbatteri, som tar emot det varma vattnet från värmemagasinet och avger ett kallare till värmemagasinet via returledningen. I förhållande till en konventionell anläggning är det tre omständigheter som bör nämnas:

- Det primära energialstrande systemet, solfångarna, är geografiskt decentraliserat och integrerat med yttertaket på varje lägenhet.
- Värmemagasineringsringen är centraliserad, varigenom man får en dubblering av rörnäten, nämligen ett för solvärmeproduktionen och ett för bostadsuppvärmningen.
- Det primära energialstrande systemet fordrar sekundära kompletteringar för en säsongmässig insats. I Lambohov tre värmepumpar (freonkompressor) samt en reservpanna, oljeeldad.

3.2.2 Solvärmesystemet.

3.2.2.1 Princip.

I de nio huslängorna, Fig. 3, sitter sammanlagt 220 solfångarmoduler. Radhusen är inom detta system grupperade i två grupper med åtskilda cirkulationspumpar P1 och P2, såsom framgår av Fig. 4 (utförd av Ing. B. Fagerström, Studsvik Energiteknik).

Grundprincipen är att cirkulationspumparna P1 respektive P2 startar när temperaturerna vid solfångarna uppnår tillräckligt höga värden, T115 & T 113.

Magasinsvattnet drives då av pumptrycket genom samtliga parallellkopplade solfångare. Vätskeflödet för varje huslänga måste därvid anpassas med hänsyn till den lokala trycknivån och till solinstrålningseffekten så att utgående temperaturer från samtliga solfångare blir så lika som möjligt. Detta sistnämnda åstadkommes med hjälp av magnetventiler (M9 till M17 i Fig. 4.)

Dessa är manuellt ställda så att de aldrig kan helt blockera flödet.

Drain-down, eller tömning och fyllning av solfångarnas vatteninnehåll, är en viktig funktion. Den måste äga rum då frysrisk föreligger och kan villkorligt ske för att undvika perioder då solfångarna skulle kunna kyla magasinsvattnet (dvs man har ekonomiska motiv).

Tömning åstadkommes genom att magnetventilerna M9 till M17 öppnar mot yttre atmosfären då pumparna P1 och P2 stannar efter signal till följd av otillräcklig instrålning av solenergi. Denna tömning kommer att äga rum med en viss tidskillnad mellan de olika husen på grund av höjdskillnader, olika rörlängd etc. Vattnet från solfångarna rinner därefter tillbaka till värmemagasinet.

Vid en förnyad start stänger magnetventilerna M9 till M17 och närbelägna avluftningsventiler öppnar automatiskt och släpper ut den luft som vid tidigare tömning släppts in. Luften pressas gradvis ur systemet allteftersom vattennivån åter stiger.

Då frysrisk föreligger sker drain-down omgående efter pumpstopp, eljest är det meningen att magnetventilerna inte skall öppna för drain-down förrän mot kvällen, då istället en kyleffekt kan inträda. Under stillståndperioder vid potentiell solinstrålning förblir vattnet kvar i systemet, "hänger", trots att Pumparna P1 & P2 stoppats.

3.2.2.2 Reglering av solvärmesystemet.

Här kan för närvarande endast lämnas en översiktlig beskrivning då fullständigt underlag inte förelåg vid rapportens utarbetande.

Regleringen av de båda huvudkretsarna sker från en gemensam reglerutrustning PRU-1, enligt Fig.4. Denna består av en PI-regulator för vardera MV1 och MV4 samt ett fyrkanaligt gränsvärdesdon för bl.a. startlogik. PRU-1 är också kopplat till en reläenhet med viss förreglingslogik samt ett programmerbart kopplingsur med dygnsskiva.

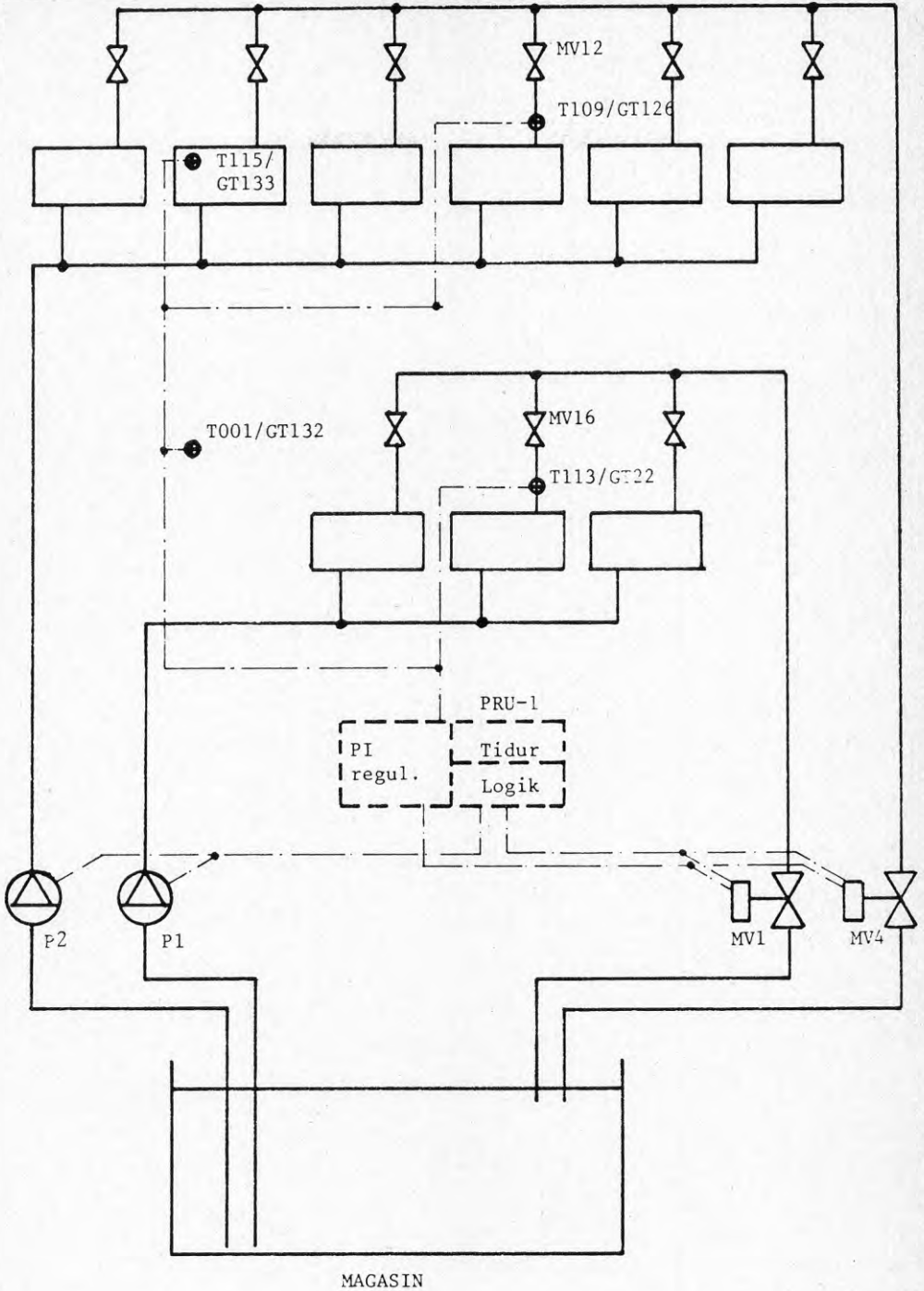


Fig. 4 Flödesschema för solvärmesystem

Principen för regleringen är att man endast direkt påverkar pumparna P1 & P2 samt ventilerna MV1 & MV4. Övriga magnetventiler, MV9 till MV17, inregleras manuellt för ett visst börvärde på respektive ventilservo, vilka samtliga är inkopplade till det digitala reglersystemet. Skulle datorsystemet (digitalt) upphöra att fungera på grund av en felfunktion eller helt enkelt efter ett avbrott i elströmförsörjningen, så inkopplas ett analogt reservreglersystem. Aktuella inställningar på MV9 till MV17 "fryses" tills dess man manuellt ändrar dem. Det kan således icke helt uteslutas att samtliga ventiler därvid står nästan helt stängda under en viss tid (med blockerad energiavgivning från solfångarna och potentiella temperaturer av 150 °C vid solfångarabsorbatorerna).

Solvärmesystemet aktiveras sedan en rad villkor uppfyllts:

- Temperaturen T115/GT133 måste under en viss tid uppnå ett inställt gränsvärde (detta beror av värmemagasinet vattentemperatur, årstid etc)

- För att förhindra marginell inkoppling morgon och kväll seriekopplas signalen för start med ett programmerbart kopplingsur.

Huvudventilerna MV1 & MV4 regleras så att den mätta temperaturen vid utloppet från solfångarna (T113/GT22) följer ett inställt börvärde. Man eftersträvar i första hand att framledningstemperaturen för bostadsuppvärmningen skall motsvara det för årstiden aktuella. Uppvärmningsvattnet tas nämligen från samma nivå i värmemagasinet, vilket tar emot det solvärmda vattnet från solfångarna.

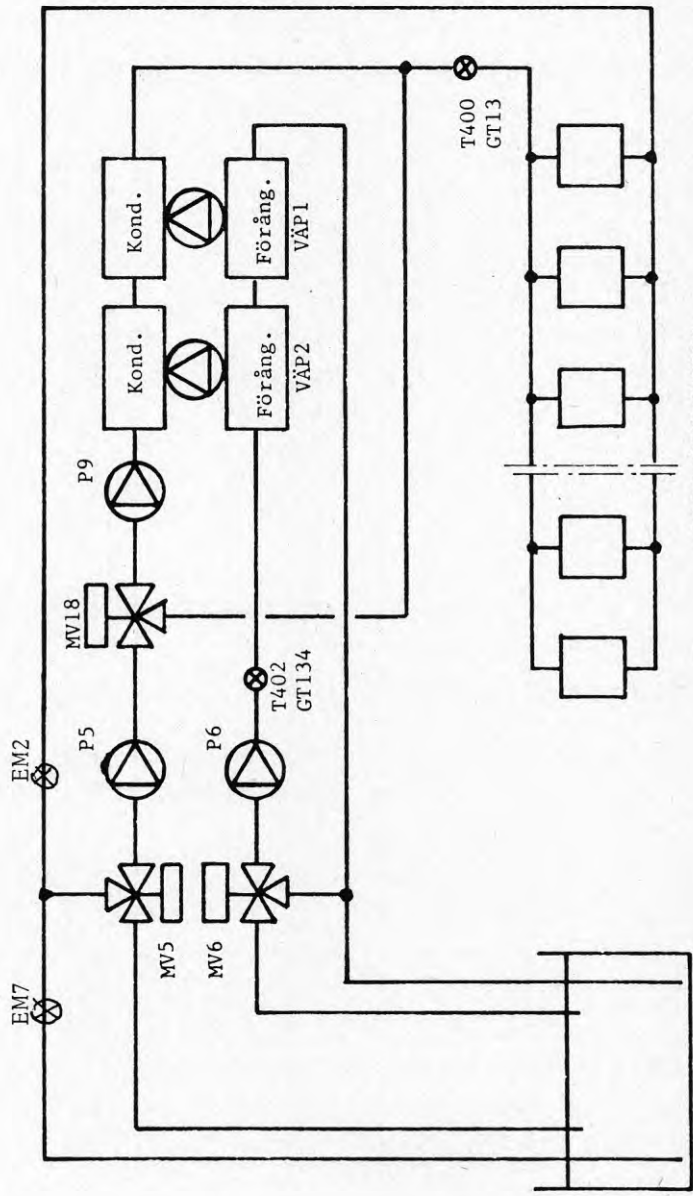
3.2.3 Huvudsystem Bostadsuppvärmning.

3.2.3.1 Princip.

Såsom framgår av Fig. 5 har man två cirkulationskretsar mellan detta system och värmemagasinet. Cirkulationspumpen P5 arbetar kontinuerligt under den tid på året då ett uppvärmningsbehov föreligger.

Då vattnet i magasinets översta skikt har en för behovet tillräckligt hög temperatur så cirkulerar P5 fram-

Ute temp.  T001/GT132



MAGASIN

VARMLUFTSBATTERI

Fig. 5 Flödeschema för bostadsuppvärmingen

ledningsvattnet via motorventilen MV5 och matar det till motorventilen MV18. Denna styr flödet sidledes för direkt transport till lägenheternas varmluftbatterier. Returvattnet passerar ett par energimätare EM2 och EM7 och återföres till värmemagasinet.

Vid säsong med alltför kallt magasinsvatten så tas värmepumparna VÄP2 & VÄP1 i bruk (freonkompressorer från STAL Refrigeration). Härvid startar man booster-pumpen P9 och motorventilen MV18 regleras så att en viss del av framledningsvattnet till lägenheterna passerar genom värmepumparnas kondensorer.

Värmepumparna fungerar emellertid med utgångspunkt från anläggningens värmemagasin såsom källa för den låggradiga värmeenergin och därför startas pumpen P6, vilken suger vatten från magasinets topp och matar det igenom de två freonförångarna i värmepumpaggregaten. Efter passagen genom förångarna är vattnet kallare och förs därför tillbaka till magasinets botten.

Under vinterhalvåret blir temperaturen även i magasinets toppskikt till slut så låg att returvattnet från lägenheterna har högre temperatur. Man får då ingen positiv effekt ur magasinet denna väg utan stänger MV5 mot magasinet. Härigenom rundpumpas returvattnet med P5 tillbaka till värmepumparna, vilka får svara för erforderlig tillskottsenergi.

Under en mellansäsong blandas det kylda vattnet från förångarna med en viss del magasinsvatten, så att temperaturen T402, GT134 om möjligt blir 30 °C.

Nerkylningen av magasinsvattnet fortskrider emellertid under vinterhalvåret. Då temperaturen nått ner till +5 °C föreligger frysrisk i magasinet och värmepumparna måste ställas av. I detta läge återstår endast att koppla in en reserv, en oljeeldad vattenpanna.

3.2.3.2 Reglering av uppvärmningssystemet.

Pumparna P5 & P9 samt motorventilen MV18 kopplas in manuellt. Reglersystemet påverkar pumpen P6, motorventilerna MV5 & MV6 samt värmepumparna VÄP2 & VÄP1. Reglerutrustningen består av en PI-regulator för var och en av MV5 och MV6, ett fyrkanaligt gränsvärdesdon

för logikvillkoren samt en funktionsgenerator för beräkning av önskad framledningstemperatur till varmluftbatterierna. Till reglerutrustningen hör också en reläkopplad logik för styrning av värmepumparna.

Regleringen för MV5 arbetar för att bringa temperaturen T400/GT13 i överensstämmelse med framräknat börvärde, vilket i sin tur beror av yttertemperaturen T400/GT132.

Boostern P6 startas då något av värmepumpaggregaten går igång. Regleringen för MV6 strävar att hålla T402/GT134 vid 30 °C men något skydd för alltför låg temperatur till förångarna finns inte i reservreglersystemet.

Värmepumparnas effekt kan regleras i steg medelst en reläkopplad logik med fixerad ordningsföljd. In- och urkoppling av effektsteg sker om kvarstående differenser mellan bör- och ärvärde uppträder vid T400. När ett nytt steg i en värmepump inkopplats blockeras inkopplingen av nästa steg under viss tid (10 till 60 minuter).

3.2.4 Varmvattenproduktion.

3.2.4.1 Princip

Detta huvudsystem ses lämpligen i två delar.

Primärsystemet, Fig. 6, omfattar pump P4, motorventil MV3, värmepumpen VÄP3 samt två hetvattenackumulatörer.

Sekundärsystemet, Fig. 7, har P8, MV8 en plattvärmväxlare och ett cirkulationssystem med pumpen P7.

Ackumulatörerna laddas med hjälp av primärsystemet under de tider då behovet av tappvarmvatten till hushållen är lågt. Ett tidur med dygnsprogrammerad skiva bestämmer tillåtna tider för ackumulatoruppladdning.

3.2.4.2 Reglering av varmvattensystemet.

Primärsystem.

Reglersystemet sköter in- och urkoppling av P3, P4 och styr ventilerna MV2, MV3 och MV7. MV2 och MV3 har var sin PI-regulator för att innehålla önskade värden på T314/GT136 vid förångaren och T310/GT15 efter kondensorn. MV7 är endast en avstängningsventil.

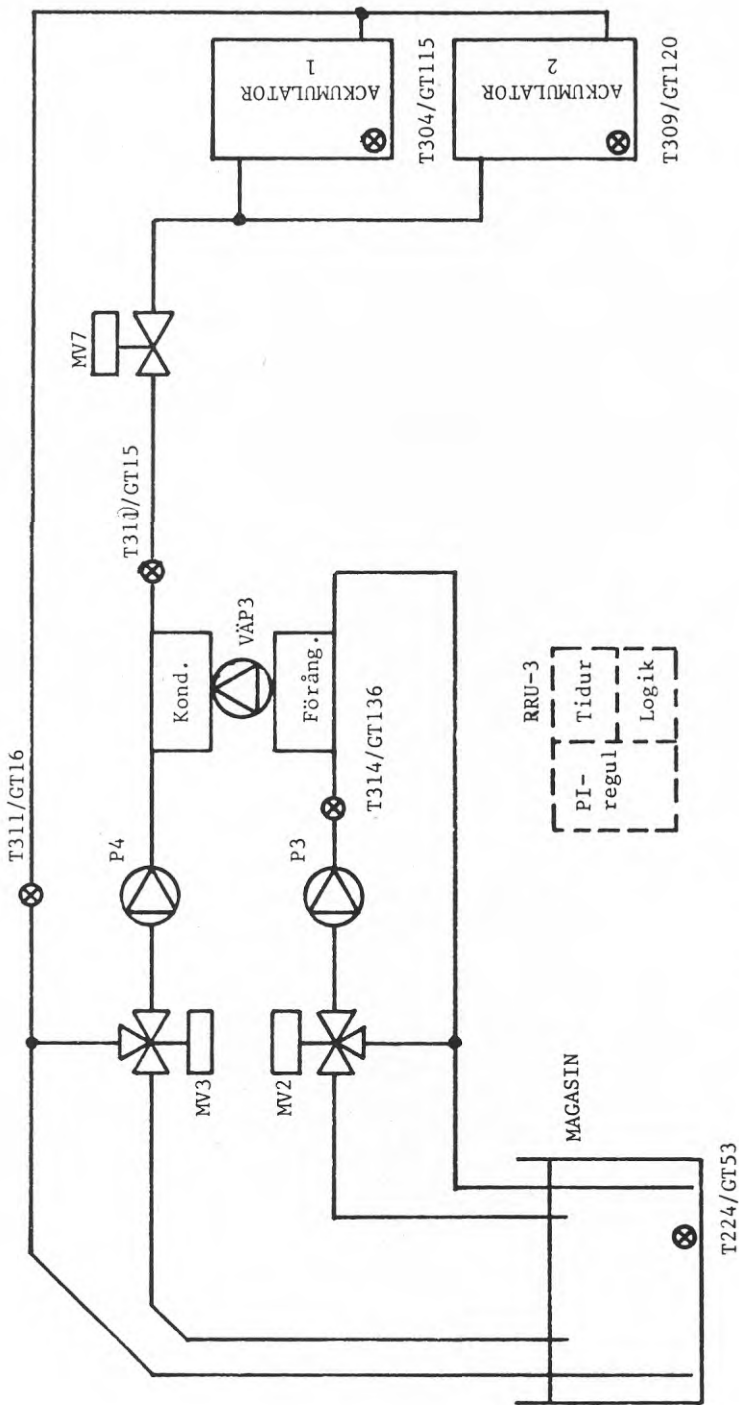


Fig. 6 Flödesschema för primärsystem. Varmvattenproduktion

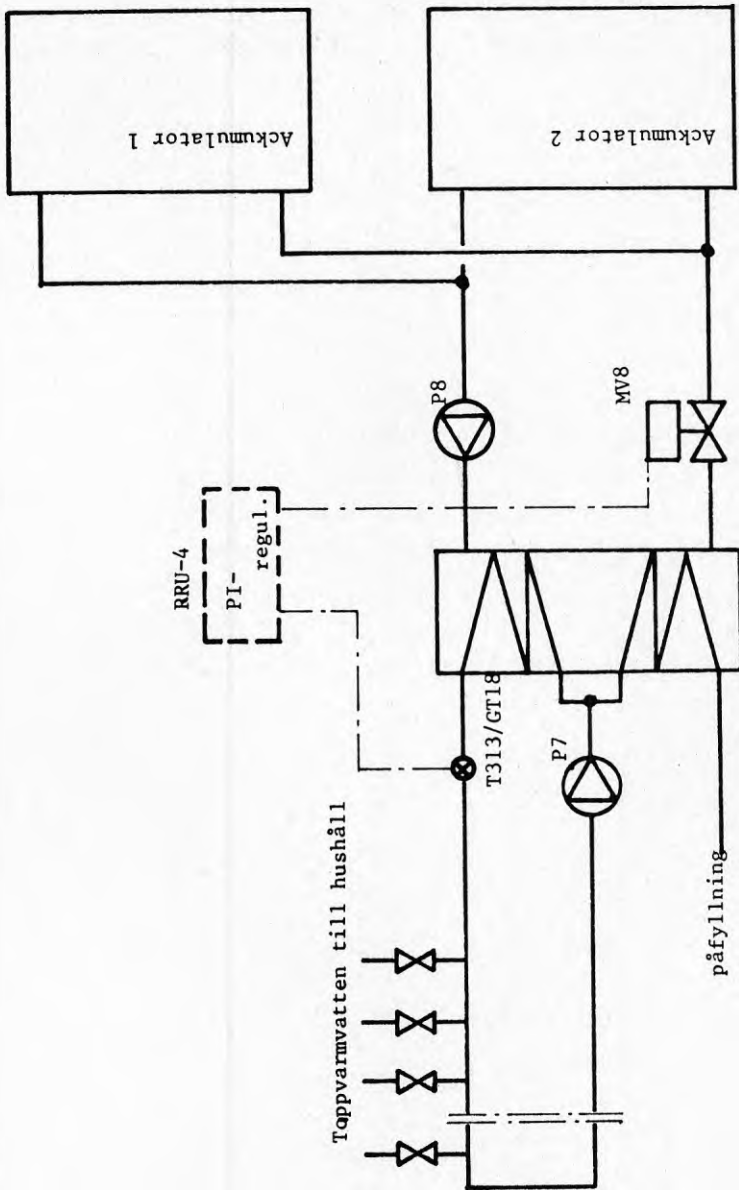


Fig. 7 Flödesschema för sekundärsystem. Varmvattenproduktion

Primärsystemets inkopplingsvillkor:

-Systemet skall vara kopplat för reservdrift (genom manuell åtgärd eller vid övergång till reservreglersystem om datorregleringen är ur funktion)

-Någon av temperaturerna T304, T309 vid ackumulatorerna underskrider inställt gränsvärde

-Tiduret ger körtillstånd

-Systemet inte nyligen varit i drift (0 till 3 hrs)

Vid uppfyllda villkor startar P4 och MV7 öppnar.

Logikgrindar m.a.p. ovanstående villkor öppnar reglering för MV2 & MV3 . Under förutsättning att man valt ett effektsteg över noll för VÄP3 så startar även P3 i förångarkretsen då inkopplingsvillkoren är uppfyllda. Regleringen av MV3 avser att blanda magasin-vatten och returvatten från ackumulatorerna på ett sådant sätt att man med beaktande av effekten från VÄP3 håller temperaturen T310/GT15 vid ett konstant värde, vilket förväljes på regulatorn för MV3.

Om vattnet från ackumulatorerna T311/GT16 har högre temperatur än vattenmagasinet T224/GT53, så skall man inte värma magasinet på detta sätt, utan MV3 stänges mot magasinet varigenom en rundpumpning åstadkommes. Regleringen av MV2 syftar till att hålla T314/GT136 vid + 30°C.

Sekundärsystem.

Se Fig.7. Regleringen avser att hålla T313/GT18 vid ett konstant värde.

3.2.5 Komponenter.

Bortsett från utrustningen för varje lägenhet rymmer anläggningen i Lambohov ett stort antal diskreta komponenter och subsystem. Här ingår bl.a.

Komponent	Antal
Värmemagasin med rörsystem	1
Solfångarmoduler	220
Värmepumpar	3
Pumpar i dubbelutförande	9
Motorventiler 2- och trevägs-	18

Komponent	Antal
Magnetventiler för 24 V	23
Automatiska urluftningsventiler	125
Temperaturgivare	60
Tryckmätare	16
Energimätare	55
Varmvattenackmulatorer	2
Plattvärmeväxlare	1
Reglerutrustning och automatik med ett okänt antal diskreta komponenter	1
Centraldator PDP11	1
Avstängningsventiler	127
Strypventiler	265
Ballofixventiler	110

De mest kritiska och oprövade av dessa torde vara solfångarmodulerna med anslutningsdetaljer. Såväl konstruktionsprinciper som miljö- och stressfaktorer är nya eller otillräckligt kända. Det går knappast att göra en bra prediktering av tillförlitligheten. För övriga komponenter och system har man troligen nästan utan undantag tillverknings- och drifterfarenheter. Mängden av vissa komponenter och osäkerheten om miljöfaktorerna indikerar ett behov av ökade kunskaper på komponentnivån.

3.2.6 Allmänna funktioner i Lambohov.

Anläggningen kommer att utrustas med två skilda regler-system, ett digitalt med en PDP11/03 och ett analogt, ASEA Combitrol vilket arbetar med 20 separata temperaturgivare. Omkopplingen mellan systemen är väsentligen manuell. Datorsystemet är också sammankopplat med ett betydande antal mätpunkter för datainsamling. Den överordnade funktionen för datorn är att optimera anläggningens energitransport mellan magasinet och de tre huvudsystemen .

Anläggningens skydd blir lokalt fördelade vid pumpar och värmepumpar.

Larmtablå kommer att indikera bortfall av pumpar och värmepumpar.

3.3 Händelseträdsanalys av solvärmecentralens huvudsystem.

Dokumentationen för systemuppbyggnaden har tyvärr varit otillräcklig för en mer genomträngande analys av systemens händelseträd. Det följande skall därför ses såsom ett resultat erhållet efter en första informationsgenomgång.

3.3.1 Solvärmeproduktion.

Trädstrukturen i Fig.8 belyser översiktligt villkoren för att solvärmeproduktionen verkligen fungerar med optimal effekt vid tillräcklig infallande solinstrålning. Händelseträdet är ett alternativt sätt att framställa samma system som återges i Fig.4.

Symbolen \triangleleft , en OCH-grind, innebär att alla element förenade under densamma samtidigt måste fungera för att en definierad verkan skall inträffa.

Symbolen \triangleplus , en ELLER-grind, innebär att positiv verkan inträffar om åtminstone ett av elementen under symbolen fungerar, man har med andra ord i detta fall en redundans.. Detta är fallet för samtliga cirkulationspumpar, vertikala dubbelpumpar från Vadstena Mek. Verksstad. Även temperaturgivaren GT133, vilken initierar pumpcirkulationen, borde ha redundans, men den torde vara mera tveksam.

Datorn PDP11/03 måste fungera för att reglerfunktionen skall flyta kontinuerligt. Ett strömvabrott synes kräva manuell återställning av datorn, eljest avses reservreglersystemet i begränsad omfattning hålla regleringen igång. Övergången mellan de olika reglersätten, dvs graden av manuella ingrepp, var inte helt klarlagd vid rapportens utarbetande. Den torde i fortsättningen kräva en viss uppmärksamhet!

Symbolen \triangle indikerar i händelseträdet att det kan finnas en fortsättning med ett mer detaljerat träd, exempelvis för solfångare och reglering.

3.3.2 Bostadsuppvärmning.

I Fig.9 ses händelseträdet för uppvärmningssystemet. Man lägger märke till hur subsystemet för tillsatsvärmens grenar ut sig trots att värmepumparna återges

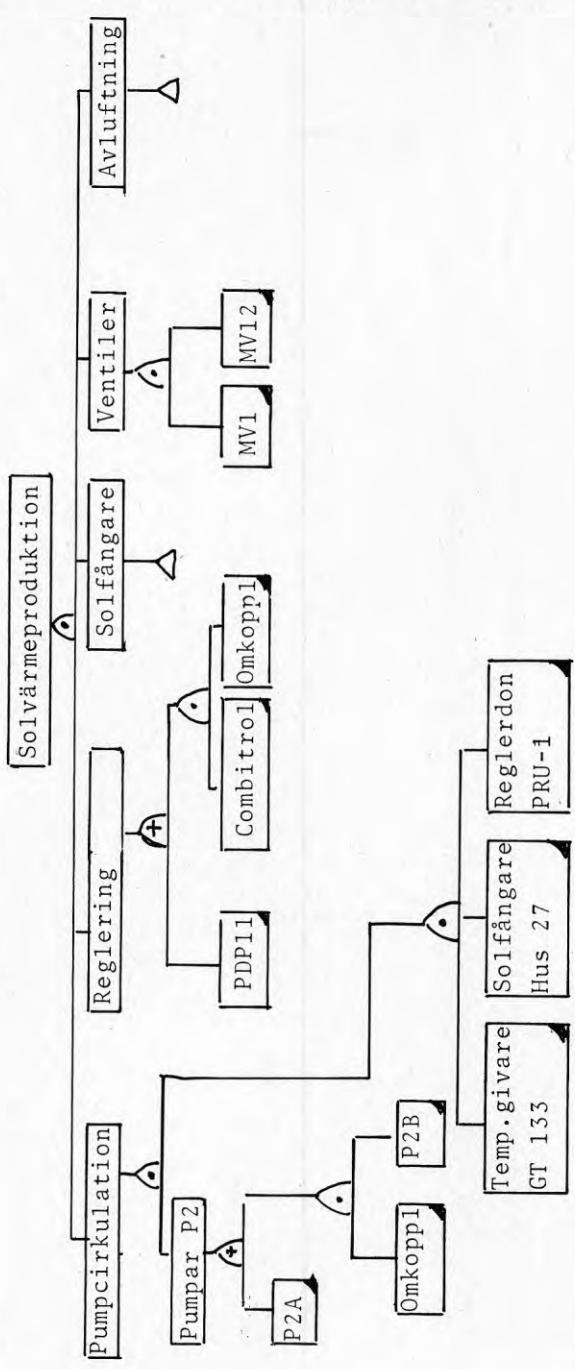



Fig. 8 Felträdsanalys, FTA, för solvärmesystemet

 Fel i dessa enheter representerar primärhändelser i detta händelseträäd.

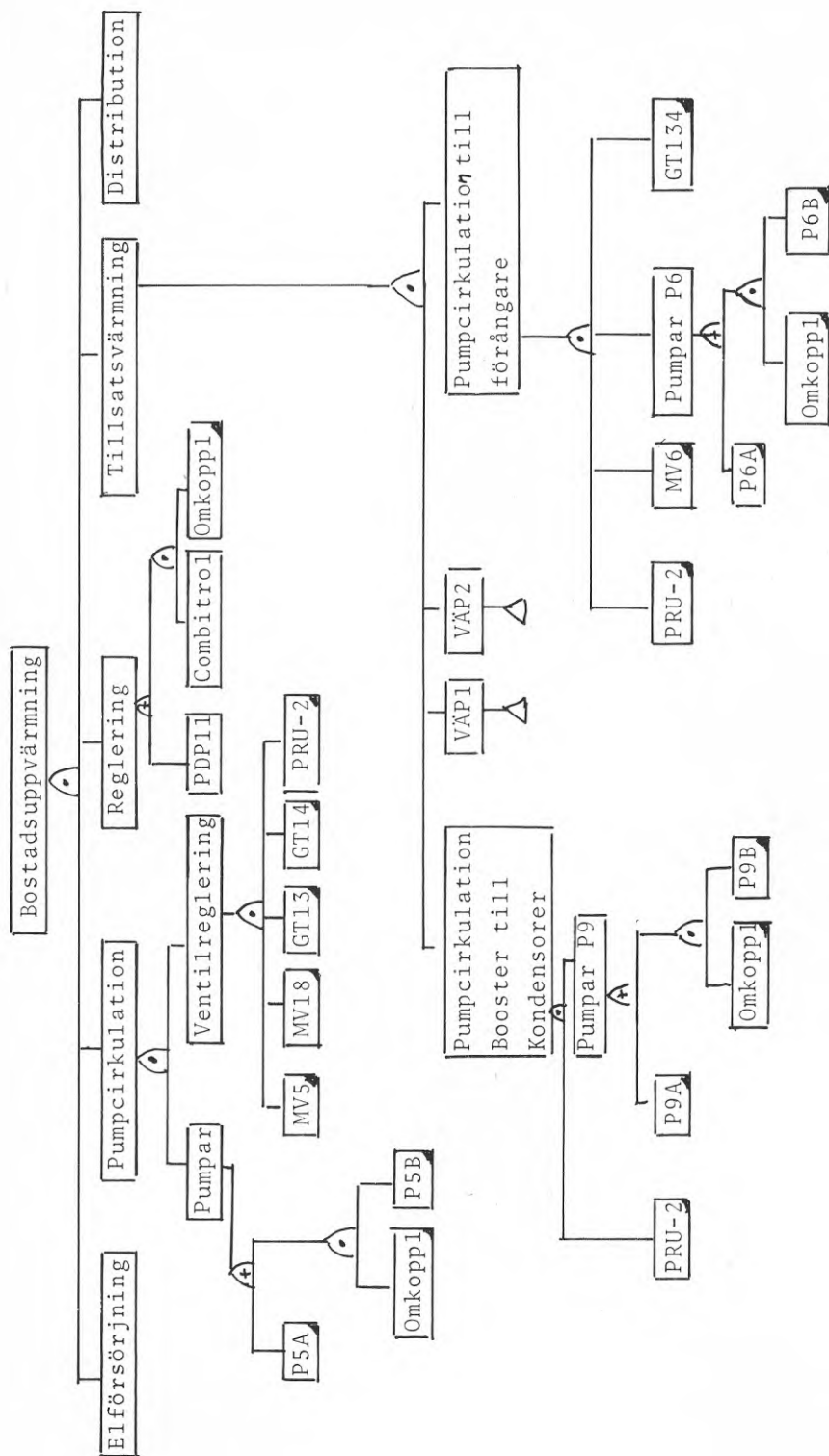


Fig. 9 Felträdsanalys, FTA, för bostadsuppvärmning

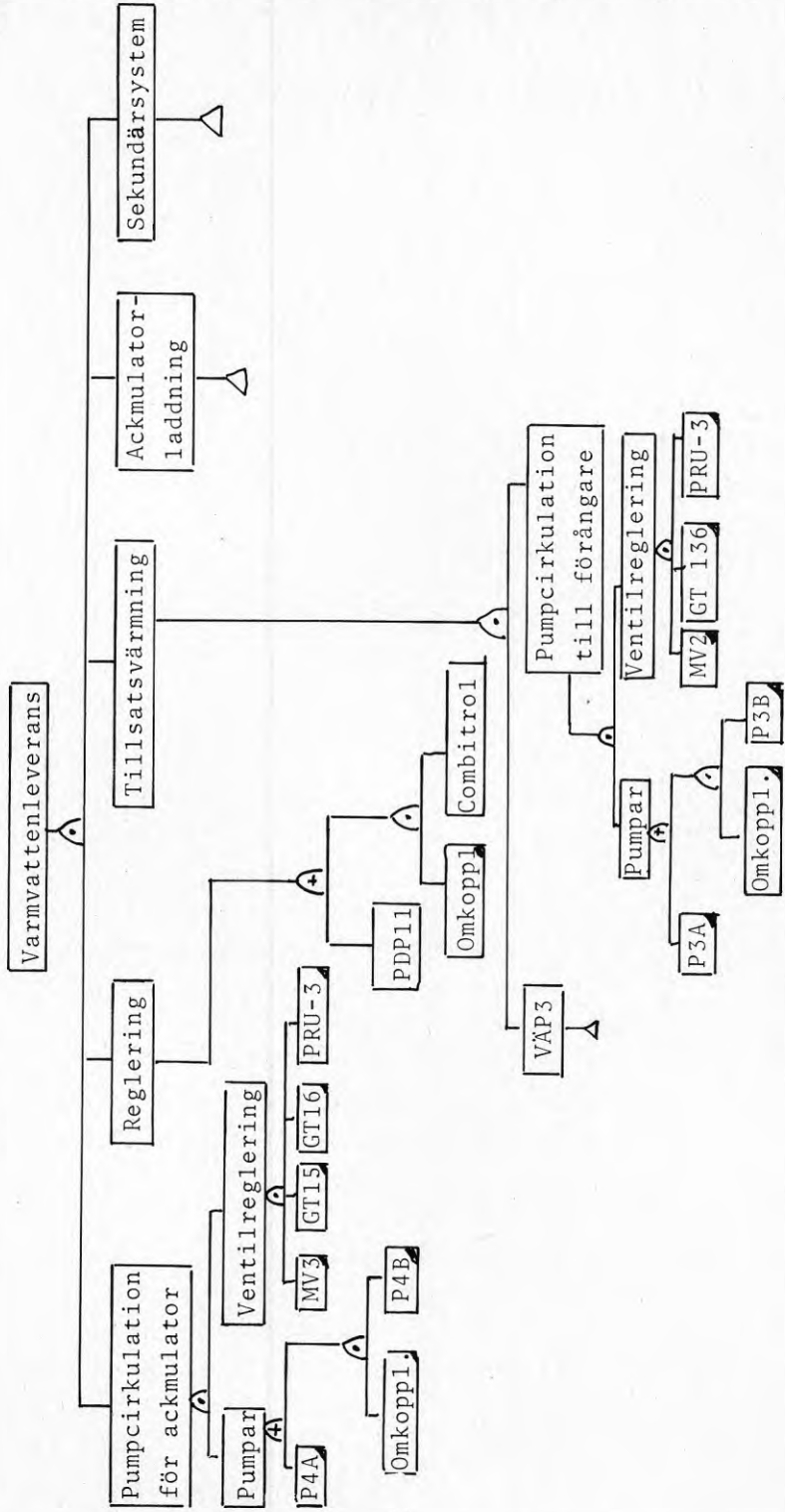


Fig.10 Felträdsanalys, FTA, för varmvattenproduktion

såsom enstaka komponenter, trots att de i sig själva är komplexa enheter med två multicylinder kompressorer arbetande mellan gemensamma förångar- och kondensorenheter.

3.3.3 Varmvattencirkulation.

Se Fig.10. Till skillnad från förgående fall har man inte någon booster för kondensorcirkulationen varför trädstrukturen för värmepumpens del blir något enklare.

Kommentar.

I samtliga system ligger reglersystemet på flera nivåer, dvs man har överordnade digitala funktioner med eller utan automatisk inkoppling samt lokalt fördelade ventilservon och relälogik. Det skulle behövas en betydligt bättre dokumentation än vad som stått till buds samt en större arbetsinsats för att konstruera en tillfredsställande FTA av reglersystemet.

3.4 Felsätt- och Effektanalys (FMEA).

Solvärmeproduktionens FMEA.

Uppbyggnad av en anläggning med delvis nya systemprinciper motiverar alltid en FMEA. Motivet för en dylik analys ökar dessutom om man avser att integrera nykonstruerade komponenter i detta system.

Vid en komplicerad anläggning som Lambohov bör man arbeta med hanterbara delar genom lämplig gruppindelning. På följande sidor redovisas en detaljerad FMEA med koncentration på solfångarnas funktion och skydd.

Sju olika felsätt har analyserats. Detta utesluter inte att ytterligare andra kan existera, varför en förnyad analys kan vara berättigad, när anläggningens konstruktion är slutgiltigt bestämd.

Uppställningen är gjord efter en modell enligt Ford Motor Company, ref.9.

En viktssiffra $V = U \cdot E \cdot F$ har beräknats för varje fall där

- U = svårighetsgrad att upptäcka felet (1 till 5)
- E = effektförsämringsgrad för produktion och livslängd (1 till 5)
- F = förekomstfrekvens (1 till 5)

Viktssiffran ger en möjlighet att prioritera det tillförlitlighetsarbete som kan bli följden av en FMEA. Bedömningen måste till en början bli ganska subjektiv, men efter upprepade försök uppnår man emellertid en alltmer informerad och systematisk beskrivning, med vars hjälp man kan etablera aktuellt tillförlitlighetsunderlag och fortlöpande förbättra detsamma.

I denna första FMEA för solfångarna har Fall 1, nedsatt cirkulation i enskilda rörslingor (absorbatorn) till följd av dålig urluftning och/eller ogynnsam tryckfördelning i fördelarrör, fått högsta angelägenhetsvärdet $V = 48$. Samma storleksordning, $V = 40$, har erhållits för två fall av läckage, där rörbrott eller slangläckage inträffar eller man fått frostangrepp vid ett felaktigt dränerat system. Man kan i denna första undersökning betrakta dessa tre fall som likvärdiga i angelägenhetsgrad. De motiverar alla åtgärder som upphäver dem eller påtagligt reducerar sannolikheten för att de inträffar.

Element	Felsätt	Effekt	Felorsak	U	E	F	V	Åtgärd
I. Solfångare absorbator	Nedsatt cirkulation i rörslinga	Övertemperatur i ett eller flera rör. Deformation- er. Termisk utmattning Rörbrott	1. Bristande urluft- ning vid återstart. 2. Klema rör, avlag- ringar. 3. Ogynnsam tryck- fördelning i för- delningsrör.	4	4	3	48	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrollera urluftningen • Såväl avluftningsventiler som konstruktion av solfångare och rördragn. till denna kan vara berörda.
II. Solfångare absorbator	Fläckvis förlust av selektivt yttskikt hos absorbator yta	Absorptions- och emissions- koefficient förändras i negativ rikt- ning. Verk- ningsgrad kan minska 40%	Korrosion av flera orsaker, främst: <ul style="list-style-type: none"> ▣ Fuktkondens till följd av bristande ventiler. ▣ Klor m. fl. ämnen från polymermaterial i solfångarens tätningar evaporerar ättiksyra! 	1	5	3	15	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilering måste tillföras säkras under samtliga driftförhållanden. Fläktar!? • Rätt val av tätningsmaterial med obetydlig degradering genom UV-strålning, extrem temperatur etc. • Inspektion, underhåll av tätningar.
III. Solfångare	Läckage	Vattenförlust från systemet Besvärliga fuktproblem i lägenheterna	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Rörbrott ▣ slangbrott 	5	4	2	40	<ul style="list-style-type: none"> • Metod att detektera läckage. kan bli nödvändig • Förhindra rörbrott. Verifiera slangar, kopplingar. • Underlätta inspektion.

Element	Felsätt	Effekt	Felorsak	U	E	F	V	Åtgärd
IV. Solvärme system. Magnet- ventil MV9 m.fl.	Läckage	Då pumpcirkulationen startas sättes systemet under tryck och returvattnet från husen sprutar ut i fria luften	Magnetventil som öppnar mot atmosfären vid drain-down stänger ej vid systemets återstart. Från USA erfarenheter med backventiler som ej fungerar vid för små tryckdifferenser	4	3	2	24	Verifiera att att dator respektive reservregler-system intakt och signaler når varje ventil. Ev. anordna redundans eller kvitteringssignal Verifiera ventilernas funktionssäkerhet Underlätta periodisk inspektion och underhåll
V. Solfångare Absorbator med anslutningar	Läckage	Vattenförlust från systemet Besvärliga fuktproblem i lägenheternas takpartier. Totalförlust av solfångarmoduler	Otillräcklig dränering i samband med frost till följd av att drain-down ej fungerar	4	5	2	40	undersöka tänkbara driftfall vid strömavbrott, bortfall av datorreglering, reservsystemets funktion m.h.t. drain-down, fel på temp.givar-signaler eller signal från tidur för att initiera drain-down. Kan MV9 förbli i stängt läge trots signal. Larmfunktion?

Element	Felsätt	Effekt	Felorsak	U	E	F	V	Åtgärd
VI. Solfångare	Täckglas har för- sämrad genomsläpp- lighet	Nedsatt ter- misk verk- ningsgrad	Beläggning på täck- glas invändigt till följd av kondens och etsning genom korrosion samt damm in- och utvändigt	1	3	3	9	Underlätta periodisk inspektion och under- håll
VII. Solfångare	Deformati- oner av ter- misk belast- ning. Utmat- ningspric- kor på absor- bator och in- fästningar	Förkortad livs- längd. Rörbrott med läckage. Solvärmeenergi till magasinet upphör	Kokning! Överhett- ning. Stagnerande cirkulation till följd av pumpstopp eller ventilfel i solvärmesystemet Utebliven signal till pumpar	1	4	2	8	Undersöka tänkbara fall av driftstopp vid ström- avbrott, bortfall av reg- lerapparat. Givarsig- naler för temperaturer Larmfunktion?

3.5 Modellen som underlag för en kvantitativ analys.

3.5.1 Funktionell tillförlitlighet för varje konsument
Händelseträdet för bostadsuppvärmning, Fig.9 ger oss en möjlighet att beskriva systemets tillgänglighet för varje konsument, förutsatt att dennes egen installation är intakt.

Tillgängligheten A är ett mått på hur stor andel av en given tidsperiod som ett system varit driftsdugligt jämför formeln i avsnitt 2.4.2. Om vi förutsätter att varje delsystem för bostadsuppvärmningen har ett oberoende felmönster så kan vi formulera tillgängligheten A_{boup} till exempel under tiden 15 september till 15 maj (ref.10, sid 192-194) på följande sätt:

$$A_{boup} = A_{cirk} \cdot A_{regl} \cdot A_{heat} \cdot A_{dist} \cdot A_{el} \quad (3.1)$$

Tabell 3.1

System	MTBF	MTTR	A
Cirkulation	1000	5	0.995
Reglering	50	4	0.9259
Heating, värmepump	200	3	0.985
Distributionsnät	500	8	0.984
Elförsörjning	1000	1	0.999

$$A_{boup} = 0.995 \cdot 0.9259 \cdot 0.985 \cdot 0.984 \cdot 0.999 = \underline{0.8920}$$

Här är MTBF=medeltid till fel och MTTR=medeltid för reparation. Värdena i Tabell 3.1 är exempel och utgör icke mätta eller analytiskt beräknade värden för Lambohov, även om de förmodligen är tämligen representativa. Antag för ett ögonblick att man verkligen mätt de angivna värdena. I så fall måste man ändå bestämma om de indikerade medeltiderna för reparation kan accepteras utifrån givna specifikationer. MTTR = 8 betyder att det förväntade medelvärdet är 8 hrs, det kan alltså bli betydligt längre (37% av alla reparationer vid komponenter med konstant felfrekvens får längre tid än 8 hrs). Kan man inte acceptera detta så får det uppskattade värdet A_{boup} reduceras neråt.

Tillgänglighetsvärdena A_{cirk} , A_{regl} osv i ovanstående exempel skulle i ett första konstruktionsutkast kunna grunda sig på erfarenheter från tidigare anläggningar, i bästa fall komma från statistik över inträffade fel och reparationstider.

Vi skall härnäst visa hur analysen av ett delsystem kan leda till delsystemets A-värde. Vi tar cirkulationssystemet som exempel.

Parts Count metoden tillämpad på cirkulationssystemet för uppvärmning.

Tabell 3.2

Komponent	antal	λ_i	$\sum \lambda_i$
Dubbelpump P5	1	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Ventiler MV5, MV18	2	$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Temperaturgivare GT13, 14, & 132	3	$4 \cdot 10^{-4}$	$12 \cdot 10^{-4}$
Reglersubsystem PRU-2	1	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$

Summa: $\sum \lambda_i$; $22 \cdot 10^{-4}$

Med totala felfrekvensen $\lambda = \sum \lambda_i = 22 \cdot 10^{-4}$ får man med ett antagande om oberoende komponenter med exponentiell felfördelning helt enkelt att:

$$\text{MTBF} = 1/\lambda = 10^4/22 = 455 \text{ hrs.}$$

Om vi håller fast vid vårt tidigare värde med

$$\text{MTTR} = 5 \text{ hrs så får vi för } A_{\text{cirk}} = 455/(455+5) = 0.98913$$

$$\underline{A_{\text{cirk}} = 0.98913.}$$

Felträdet som underlag för en beräkning av cirkulationssystemets tillgänglighet, Fig.9.

Pumpcirkulationen förutsätter enligt Fig.9 att pumpar och ventiler fungerar, således:

$$A_{\text{cirk}} = A_{\text{P5}} \cdot A_{\text{vent}}$$

För pumpsystemet gäller:

$$A_{\text{P5}} = 1 - (1 - A_{\text{P}})(L - A_{\text{P}} \cdot A_{\text{omk}})$$

För ventilregleringen gäller:

$$A_{\text{vent}} = A_{\text{PRU2}} \cdot A_{\text{MV5}} \cdot A_{\text{MV8}} \cdot A_{\text{GT}}^3$$

Antag i enlighet med exemplet från Parts Count metoden att:

$\lambda_p = 0.5 \cdot 10^{-4}$	således	$\mu = 20000 \text{ hrs}$
$\lambda_{\text{omk}} = 0.5 \cdot 10^{-4}$		$\mu = 20000$
$\lambda_{\text{PRU2}} = 5 \cdot 10^{-4}$		$\mu = 2000$
$\lambda_{\text{MV}} = 2 \cdot 10^{-4}$		$\mu = 5000$
$\lambda_{\text{GT}} = 4 \cdot 10^{-4}$		$\mu = 2500$

Reparationstider

$$\begin{aligned} \nu_p &= 4 \\ \nu_{\text{omk}} &= 1 \\ \nu_{\text{PRU2}} &= 2 \\ \nu_{\text{MV}} &= 2 \\ \nu_{\text{GT}} &= 1 \end{aligned}$$

Härav

$$\begin{aligned} A_p &= 20000/20004 = 0.9998 \\ A_{\text{omk}} &= 20000/20001 = 0.99995 \\ A_{\text{PRU2}} &= 2000/2002 = 0.999 \\ A_{\text{MV}} &= 5000/5002 = 0.9996 \\ A_{\text{GT}} &= 2500/2501 = 0.9996 \end{aligned}$$

Vi har nu sifferunderlaget klart för A_{p5} och A_{vent}

$$A_{p5} = 1 - (1 - 0.9998)(1 - 0.9998 \cdot 0.99995)$$

$$A_{p5} = 0.9^{75} \quad (\text{utskrivet} = 0.99999995)$$

$$A_{\text{vent}} = 0.999 \cdot 0.9996^2 \cdot 0.9996^3 = 0.997$$

Således får vi:

$$A_{\text{cirk}} = A_{p5} \cdot A_{\text{vent}} = 0.9^{75} \cdot 0.997 = 0.997$$

$$\underline{A_{\text{cirk}} = 0.997}$$

Bestämningar av tillgängligheten hos ett givet system kan således utföras under olika arbetsfaser och precisionen förbättras alltefter som kännedomen ökas beträffande systemets struktur, komponenternas art och erfarenheterna från system i drift.

3.5.2 Solvärmesystemets tillgänglighet.

Vi har i föregående avsnitt demonstrerat hur de olika tillförlitlighetsmodellerna kan utnyttjas för en kvantitativ analys av tillgängligheten för att fastställa den enskilda konsumentens grad av behovstillfredsställelse. Tidigare har visats att parallellt med detta det är av stort intresse att etablera solvärmesystemets tillgänglighet även om konsumentens omedelbara behov av värme och varmvatten inte skulle påverkas.

I solvärmesystemet är det naturligtvis solfångarens funktion som är särskilt intressant.

I händelseträdet, Fig. 8, angavs solfångaren endast som en komponent, vars trädstruktur ej detaljerades närmare.

Den i avsnitt 3.4 genomförda FMEA för solfångarsystemet är ett exempel på en insats av tillförlitlighetsteknik på ett tidigt konstruktionsstadium.

Man kan fortsätta från denna FMEA och börja bygga upp en FTA, Fig. 11. Fall I & VII resulterar i felträdet i Fig. 11. Kunde vi bestämma sannolikheterna för primärhändelserna i detta diagram så kunde vi också få en uppskattning av tillgängligheten.

Den tillgänglighet som vi därvid får förutsätter dock att man har en larm eller utlösningssfunktion som sätter systemet ur drift när topphändelsen överhettning och termisk utmattning inträffar. I motsatt fall representerar det erhållna A-värdet den tid som systemet inte är utsatt för termisk utmattning och $(1 - A)$ den andel av drifttiden då solfångarna verkligen kan förväntas undergå termisk utmattning med rörbrott som slutgiltig följd. Tänkbara åtgärder i detta fall kan således vara att studera graden av möjlig utmattning, undersöka om den kan reduceras och om någon form av larm eller utlösning är motiverad.

Solvärmesystemets tekniska prestanda beror ej blott av tillgängligheten utan också av verkningsgraden. Systemets effektavgivning kan beskrivas med hjälp av en termisk verkningsgrad η så att värmeenergin q_u :

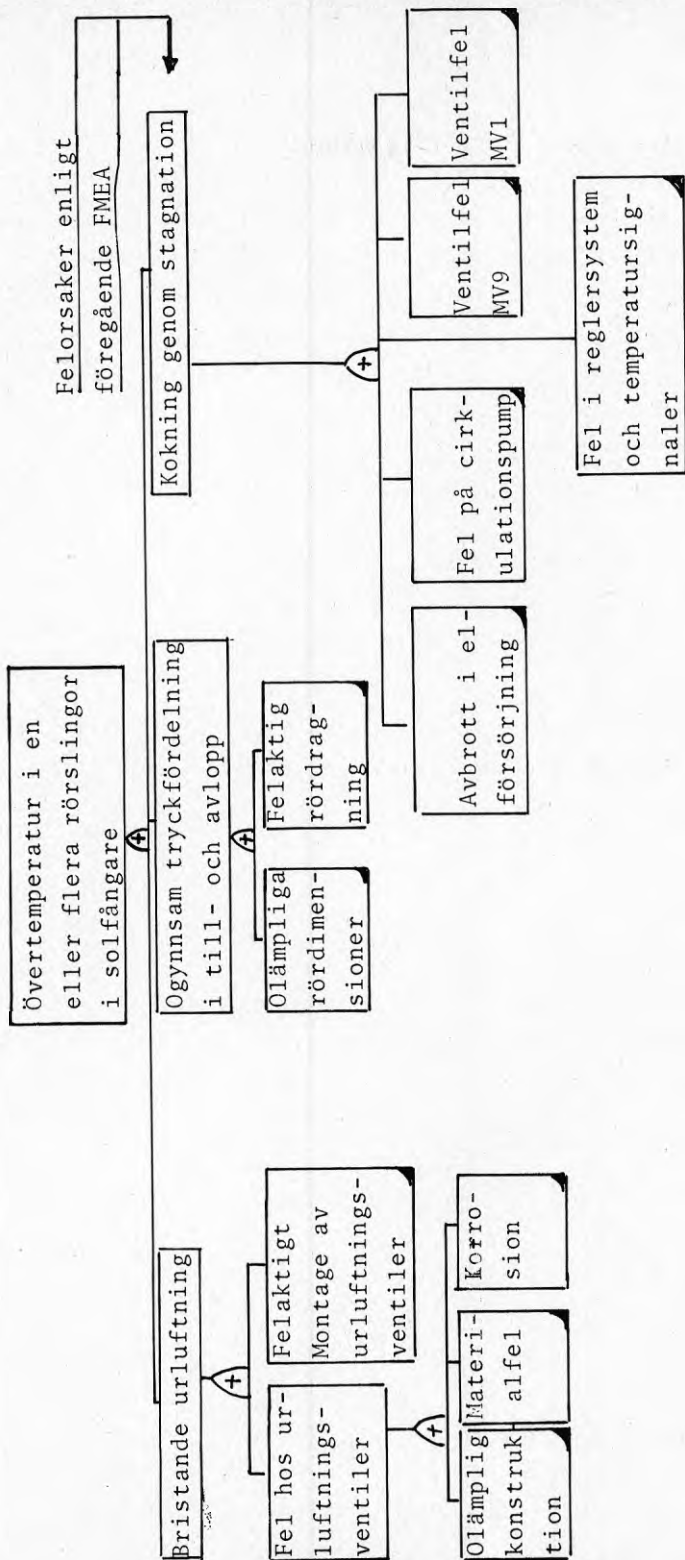



Fig.11 Felträdsanalys för solfångare för fallen I och VII enligt FMEA sid 44,45 & 46.
Tänkbara konsekvenser: 1.Kontroll av att konstruktiva åtgärder vidtagits för att undvika övertemperatur. 2. Undersöka om man skall anordna någon larmfunktion.

 = Primärhändelse i denna struktur.

$$q_u = \eta \cdot I \text{ W/m}^2 \text{ absorbatoryta}$$

I = solradiansen vid givna förhållanden av solhöjd, solfångarvinkel, molnighet,

η = funktion av solfångarens konstruktion, luft- och vätsketemperaturer,

Verkningsgraden η har således en för varje solfångare given karaktär, men kan vanligen för plana termiska typer beskrivas med uttrycket i avsnitt 2.4.4.

I flera testnormer, exempelvis, Floridas, Bilaga 2, anges ett specifikt mått på acceptabel försämring av verkningsgraden efter långtidsprovet. Avsikten med detta är givetvis att söka simulera den försämring som kan inträffa under längre drifttider med mindre pressade förhållanden.

Vi är närmast intresserade av den energimängd som solfångaren under en längre driftperiod kan avge.

Under T hrs fås energimängden:

$$E = \int_0^T q_u dt = \int_0^T \eta \cdot I dt$$

Den ideella energiproduktionen vid 100% verkningsgrad är på samma sätt:

$$E_{id} = \int_0^T I dt$$

Solradiansens I variation under en säsong kan vi belägga statistiskt. Vid kända värden på luft- och vätsketemperatur i solfångaren kan man då bilda en förväntad energiverkningsgrad, som utgör medelvärdet under perioden T :

$$\eta_M = E/E_{id} = \frac{\int_0^T \eta \cdot I dt}{\int_0^T I dt}$$

$$\lim_{T \rightarrow 0} \eta_M = \eta_0 = \text{"nyverkningsgraden"}$$

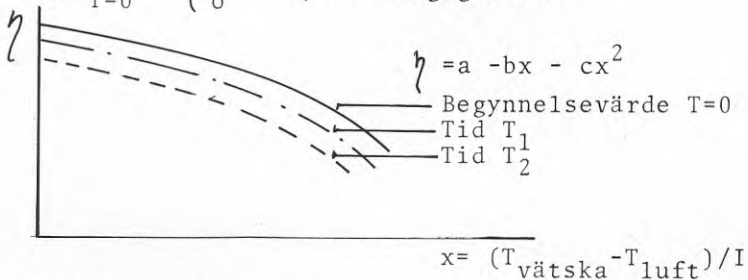


Fig.12 Utveckling av solfångarens verkningsgrad

Praktiskt taget alla system kan genom periodiskt underhåll bringas tillbaka till ursprungliga prestanda ifall man är villig att genomföra underhållet med tillräcklig frekvens och med utbyte av detaljer i erforderlig utsträckning. Exempel på komplicerade system med bibehållna MTBF och verkningsgrader är flygplan med kropp, motorer och hjälpsystem.

I nuvarande utvecklingskede av solvärmecentraler och solfångare går det inte att prediktera vilken underhållsprestation som erfordras för att innehålla maximalt 10% försämring av λ_0 . Underhållet kan avse:

- ▲periodisk inspektion (kontroll av tätningar, kopplingar, etc, absorbatorns utseende med ev. korrosion)
- ▲servis, såsom renhållning av täckglas, utbyte av spräckta glas, rensning av luftfilter för ventilation)
- ▲utbyte av detaljer såsom tätningar, kopplingar, hela absorbatorelement, m.m.)

3.6 Slutsatser

Man har inom tillförlitlighetstekniken utvecklat olika metoder för att prediktera och förbättra funktions sannolikhet och tillgänglighet för ett system.

Det aktuella utvecklingsläget för solvärmecentraler i Sverige är sådant att tillförlitlighetsmetoderna blir övervägande kvalitativa.

Tillvägagångssättet blir därför att man utgår från konventionella underlag för uppbyggnad och funktioner av anläggningen för att finna former som bättre visar hur komponenter och struktur vid skilda driftfall påverkar tillförlitligheten.

Även om det kan vara omöjligt att finna mer precisa uttryck för funktionssannolikhet och tillgänglighet, så kan en relativ fördelning av dessa variabler på komponenter och subsystem göra det möjligt att spåra många av anläggningens svagheter.

4 UTVECKLINGSPROBLEM VID SOLVÄRMECENTRALER.

4.1 Allmänna systemsynpunkter.

Större solvärmecentraler företer ytligt sett vissa likheter med fjärrvärmeanläggningar och innehåller förvisso delvis samma komponenter såsom distributionsledningar, pumpar, ventiler, reläautomatik, värmeväxlare och hetvattenackumulatorer.

Med en teknisk ambitionsnivå, som kännetecknar Lamboghovanläggningen, kan emellertid vissa utvecklingsproblem uppstå på grund av:

- Nya komponenter, utsatta för delvis nya stress- och miljöfaktorer med okända effekter vad gäller långtidegenskaperna för solfångare och värmemagasin.
- Systemstruktur av delvis nytt slag där driften i högre grad än tidigare beror av en serie klimatfaktorer (luftkvalitet, fukt och dagg, solinstrålning, lufttemperatur, vattenkvalitet i relation till luftsyresättning)
- Behov av att sätta in parallella energisystem
- Ökat antal driftfall och driftövergångar genom dubbleringen av system och klimatstyrningen
- Solvärmesystemets låga effekttäthet och lokala utbredning. Av alternativa metoder att placera solfångarna utgör den man valt med placering av 220 moduler såsom integrerade delar av radhuslägenheternas takkonstruktion den mest kritiska man kunnat välja med hänsyn till tillgänglighet, inspektion och underhåll. Tillförlitlighetsproblemet försvåras i detta fall av att man arbetar med en helt ny och oprövad konstruktion och av att man inte har någon erfarenhet av samkörning med ett så stort antal parallella moduler. De upprepade insläppen av luft i solfångarsystemets rörsystem utgör en annan osäkerhetsfaktor.

Solvärmecentralerna kräver av nämnda skäl en egen utvecklingsstrategi. För att ge ytterligare bakgrund till en diskussion av denna skall här sammanfattas några fakta och synpunkter beträffande solfångare, värmemagasin och värmepumpar.

4.2 Nya komponenter

4.2.1 Solfångare

Termiska solfångare utvecklas i enlighet med två något skilda principer. Det finns sådana med fokusering av solstrålningen för ändamål, där man har krav på mycket hög temperatur. Vanligast är emellertid plana konstruktioner, där värmebärarens kontaktyta mot den infallande strålningen ökas med någon form av flänsar. Vi intresserar oss här endast för dessa PLANA, TERMISKA SOLFÅNGARE.

En intressant konstruktion för uppbyggnad av absorbatörer till solfångare har tagits fram av Gränges-Aluminium, Fig. 13. Företaget har också medverkat vid utformningen av solfångarkonstruktionen för Lambohov. Konstruktionsarbetet utföres av konsulten Jan Svensson för Östgötabyggens räkning.

Absorbatorn från Gränges-Aluminium är uppbyggd av parallella bandelement i aluminium med invändiga vätskekanaler i koppar. Kopparn är metalliskt förbunden med aluminiumpartiet för att ge minimalt värmemotstånd och för att undvika kapillärsug mellan koppar och aluminium. Aluminiumpartierna är belagda med ett svart SELEKTIVT SKIKT, som har en absorptionskoefficient

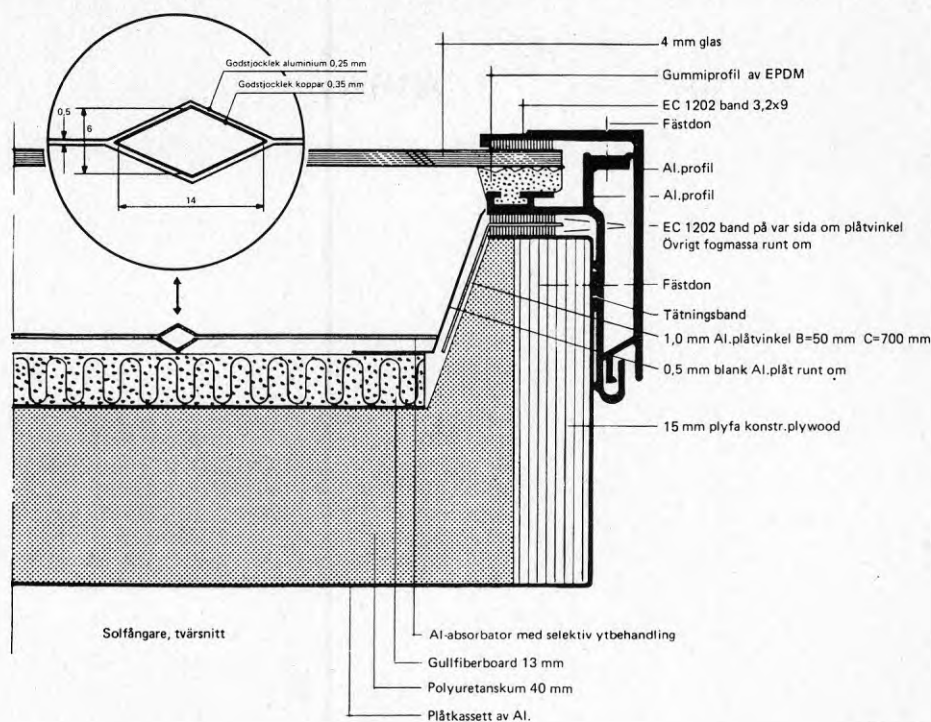
$$\alpha = 0.95 \text{ och en emissionskoefficient } \epsilon = 0.15.$$

Konstruktionen ger låg materialvikt och utnyttjar koppars goda korrosionsmotstånd och aluminiums höga ledningsförmåga, låga vikt och låga pris. Kanske får man vara uppmärksam på hur denna modul klarar flödesfördelningen om avlagringar uppstår till följd av reaktioner i vattnet genom solfångarna!

Den aktuella solfångaren innehåller följande väsentliga komponenter:

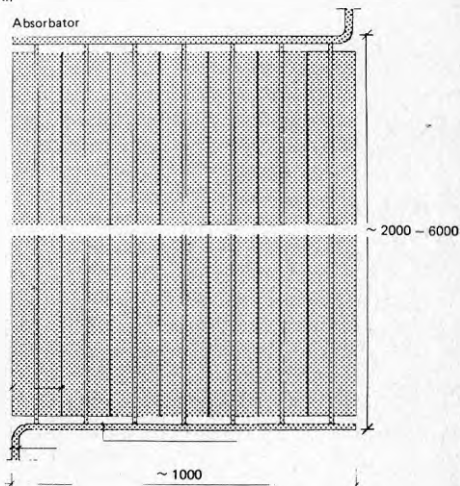
- ▲absorbatör (vätskebärande, med utbredd strålyta)
- ▲täckskena (här ett lager järnfritt glas, två lager ger delvis förändrad η -funktion)
- ▲ram (aluminiumprofiler)
- ▲isolering (här 50 mm isolerskena, klass A)
- ▲röranslutningar (kopparrör, resp. silikongummislang)
- ▲avtätningar (silikongummilist, silikonfogmassa, beständighet god, ej fullt diffusionstäta)

Plan solfångare för vätskeburen värme



Denna konstruktion består av en tät låda i aluminium med botten- och sidoisolering av hård polyuretancellplast, vilket förutom högvärdig värmeisolering ger en mycket styv konstruktion. Täckningen utgörs av glas. Absorbatorn är uppbyggd av parallella bandelement i aluminium med invändiga vätskekanaler i koppar. Koppars är metallurgiskt förbundna med aluminiumet för att ge minimalt värmemotstånd och för att undvika kapillarsug mellan koppar och aluminium. Banden ansluts till ett övre resp undre samlingsrör på sådant sätt att alla vätskeberörda ytor utgörs av enbart koppar. Aluminiumelementen är belagda med ett svart selektivt skikt ($\alpha \sim 0,95$ och $\epsilon \sim 0,10-0,15$). Konstruktionen ger låg materialvikt, god funktion och god beständighet samtidigt som den utnyttjar de två metallernas bästa egenskaper: koppars goda korrosionsmotstånd och aluminiums höga ledningsförmåga, låga vikt och låga pris.

Fig. 13 Absorbatorelement.



För ytterligare upplysningar om aluminiummaterialens användning i solfångarkonstruktioner hänvisar vi till

GRÄNGES ALUMINIUM

612 21 Finspång
Tel. 0122/80000/119

721 88 Västerås
Tel. 021/137120/647

4bottenskivor (plåt, resp. träfiber!)

Praktiskt alla detaljer i solfångarna utom ramen genomgår i praktiken nerbrytningsförlopp, ref. 11, vilket också framgått av FMEA, avsnitt 3.4.

De främsta orsakerna till denna nerbrytningsprocess bl.a. med enförsämring av verkningsgraden som resultat är:

- 4Kondensering inuti solfångaren av inträngande fuktig luft.
- 4Materialnerbrytning av polymerer, ofta accelererad av UV-strålning och hög temperatur
- 4Korrosion av absorbator och etsning av täckskivor även om de är av glas till följd av luftföroreningar, smutspartiklar som binder korrosiva ämnen, kondens och avgasning av tätnings- och isolermaterial. Såsom exempel kan nämnas att silikongummi som tätningsmaterial har god resistens mot nerbrytning men det avgervid. initiell härdning och även därefter viss ättiksyra i gasform.
- 4Inre korrosion i absorbatorns rörsystem kan uppträda under vissa förhållanden
- 4Hög temperatur och snabba temperaturväxlingar kan ge upphov till inre mekaniska spänningar och elasto-plastiska deformationer koncentrerade till krökar, och lödfogar vilket kan minska livslängden hos absorbatorn

Kondenseringsproblemet.

Man har att välja mellan att söka konstruera en diffusionstät och tryckbeständig låda (dyrbar, krav på diffusionstäta fogar, åtgärder för att förhindra termiska spänningar).

I öppna konstruktioner söker man ordna viss kontrollerad urluftning. Den måste balanseras så att man inte får för stora värmeförluster. Nattetid, då absorbatorytan genom utstrålning är kallare än luften i omgivningen, så kan för liten luftgenomströmning å andra sidan leda till att solfångaren förblir kallare än luften och därför enligt "lagen om kalla väggen" verkar som en fuktavskiljare.

I Lambohov har man för avsikt att åstadkomma en kontrollerad ,påtvungad genomströmning av smutsfiltrerad luft medelst ett fläktsystem. I ref.11 uppges att av nio studerade anläggningar så uppvisade åtta kondensproblem. Kondens kan även så småningom nersätta isoleringsmaterialets effektivitet.

Numera är man dock klar över svårigheterna och inriktad på att undvika kondensproblemet.

Ett helt annat kondensproblem bör dock nämnas i samband med inbyggnaden av solfångarna i takkonstruktionen, där de kan komma att fungera som diffusions-täta fuktighetsspärrar, belägna närmare ytterluften än vid gängse huskonstruktioner. Resultatet skulle i olyckliga fall kunna bli fuktighetsnerslag på solfångarnas inåtvända sidor.

Materialnerbrytning av polymerer (UV-strålning, hög temperatur)

I den aktuella konstruktionen har man undvikit att göra täckskivorna av plast så i detta fall är avtätningar och isolering berörda.

National Bureau of Standards, Washington, USA, har i två rapporter, ref.6 & 13, ställt upp provningsstandards för tätningslistor av olika material. Ref.13 omnämner också avgasning: "Outgassing from components inside the collector could lead to condensation on the underside of the collector cover plate which may reduce the transmittance of the cover plate".

Korrosion.

Det selektiva ,svarta skiktet på absorbtorytorna, är på Gränges modulen anodisk eloxidering med nickel endast någon mikrometer tjockt. Det borde vara 10 mikrometer för att kunna erbjuda något egentligt korrosionsskydd, vilket dock inte är vad som avses (man vill påverka absorbtion och emission). Bland typskador kan enligt ref.11 nämnas:

⁴Absorbatorns ytskikt angripes, bleknar, vita prickar uppträder (Gränges-Aluminium uppger att deras nickel-skikt har ett betydligt bättre korrosionsmotstånd än det mera kända "black chrome").

I system där värmepump kombinerats med solfångare tycks fukten relativt snabbt orsaka betydande korrosion på absorptionsytan. Orsaken är att värmepumpen under en del av året sänker magasinstemperaturen (passagen genom förångaren, se avsnitt 3.2.3.1, kyler magasinsvattnet). Solfångaren kommer att arbeta vid en extra låg temperatur som kommer ytterligare fukt att kondensera på absorbatorn, ref. 11. Detta är just den driftsform som är aktuell för Lambohov.

⁴Korrosion på lödställen mellan samlingsrör och absorbatorkanaler och inre rörvägar. Fyra av nio undersökta anläggningar hade enligt ref. 11 korrosionsskador, varav en redan efter fyra månader.

Högtemperatur och stora temperaturväxlingar.

De temperaturer som solfångaren utsättes för beror bl. a. av solstrålningens intensitet och driftsätt. I samband med Lambohov förtjänar följande att nämnas:

Solfångarna måste tömmas på vatten, när frostrisk föreligger. Denna tömning kan antingen så att luft eller t.ex. kväve från ett slutet system införes i solfångarrören. I Lambohov överväger man att i energibesparingssyfte tömma systemet när solstrålningen är så liten att solfångarna i stället verkar som kyl-element för vattnet (tömning också när frostrisk inte föreligger). Vilka eventuella nackdelar kan en dylik ökad frekvens av tömnings/fyllningscykler medföra? För det första får man i 220 solfångarmoduler en stegrad sannolikhet för dålig urluftning (den vanligaste orsaken till driftstörning i danska anläggningar, ref. 8.).

För det andra stegras ytterligare antalet temperaturchocker enligt följande sekvens:

⁴Solen går i moln, absorbatorytan kyles, avsvälningen påskyndas dessutom när vattnets värmekapacitet försvinner genom tömningen.

✓Solstrålningen återkommer. Trögheten i systemfyllningen, kanske ytterligare tillbakahållen genom lokal förekomst av dålig urluftning, gör att absorbatormaterialet hinner uppnå temperaturer närmare 150°C.

✓Cirkulationen påbörjas när pumparna startar. Vatten, i extremfall med värmepumpkyllt värmemagasin endast 7 à 8 grader varmt, kyler den 6 meter långa absorbatorkonstruktionen med 20 mm stora längdförändringar som följd. Termisk utmattning kan därvid uppträda på flera sätt:

▫Inre mekaniska spänningar uppstår då absorbatorkanaler lerna "störtkyles" och flänsarna fortfarande är varma

▫stum infästning (undantagsvis om absorbatoren blir låst till den kallare aluminiumramen)

▫deformationer ger upphov till böj- och påkänningar t.ex. i infästningar mellan absorbatorkanal och samlingsrör.

Vid mitt besök hos Gränges-Aluminium i Finspång bevittnade jag krökning av en absorbatorkanal så pass kraftigt att denna berörde täckglasets. Orsaken var, såsom i efterhand kunde konstateras, beroende av ett tillverkningsfel. Ett övermått av lödtenn hade täppt igen den aktuella rörförbindelsen och förhindrat genomflödet av vatten, varigenom denna kanal blev varmare än sidokanalerna.

Vid Gränges-Aluminium har man utsatt hela absorbatorelement omväxlande för ugnsvärme och vattenbegjutning 60000 cykler utan negativa effekter, men belastningsfallet avviker ifrån det ovan beskrivna. I avsnitt 4.3 redovisas en kvantitativ utredning av termisk töjningsutmattning.

Smuts och avlagringar.

Dessa kan vara utvärdiga och spolats vanligen bort av regn. Smuts från atmosfären på absorbatoren och täckglasets insida är svårare att komma åt. I Lambhov är avsikten att filtrera ventilationsluften. Ett speciellt problem kan uppstå genom avlagringar av kalk m.fl.

ämnen i absorbatorkanalerna. I USA har man ställt sig skeptisk till Gränges 8 mm kanaler och där menar man

att 12.7 mm vore det minimalt tillrådliga för öppna system, slutna är icke lika utsatta. Problemet är då hur man definierar ett öppet respektive slutet system. Ref.13, Intermediate Standards for Solar Domestic Hot Water Systems, Nat. Bureau of Stand. Wash, 1977, skulle nog klassa Lambohov som ett öppet system på grund av avluftningscyklingen.

4.2.2 Värmemagasinet.

Detta erbjuder genom sin storlek, 10000 m³, och varmhållning åtskilliga intressanta utvecklingsproblem. Vid Studsviks solvärmecentral har man nyligen fått uppleva hur ett parti av butylgummiinklädningen gett vika till följd av en svaghet i underlaget, så att hela vattenmagasinet tömts på sitt innehåll på några timmar. Detta har givetvis skärpt vaksamheten när det gäller inklädningen med butylgummiduk, 1.5 mm tjock, vilken levereras i ett enda sammanhängande paket om 5 ton. Risken för oavsiktliga skador genom nerfallande verktyg eller andra föremål kan inte uteslutas. Någon metod att säkert mäta läckage från magasinet har man ej hittills bearbetat.

En annan problemställning erbjuder materialvalet för de totalt grova rör som förbinder vattenmagasinet med centralbyggnaden. Dessa rör skall utföras i rostfritt stål 2333, medan pumparna tillverkas i rödgods och resten av distributionen har rör i koppar med silverlödning. Materiale experter förefaller inte fullt eniga om att valet av rostfritt för magasinet är helt riskfritt, och ref.13 diskuterar också detta utan dock att direkt varna för det.

Erfarenheterna beträffande vattenmagasinet kommer att vara betydelsefulla för projektering av framtida större anläggningar.

Värmemagasinets storlek är en betydelsefull faktor i planeringen av svenska solvärmecentraler, eftersom man synes utgå ifrån att god anläggningsekonomi skulle kräva mycket stora magasin. Resonemanget grundar sig då väsentligen på det faktum att ytan Y av en kropp (och därmed dess värmeförluster) växer långsammare med

storleken än dess volym V (för en sfär är t.ex. förhållandet $Y/V = 6/D \text{ m}^2/\text{m}^3$).

Följande statistiskt grundade riskanalys kan måhända något dämpa en okritisk utveckling mot alltför stora magasin.

- Antag att risken för fel på magasinets väggar inklusive inklädnad kan anses proportionell mot väggytans storlek Ym^2 och att risken motsvarar en konstant fel-frekvens per timme och m^2 .
- Antag att magasinet har cylinderform med en höjd H m som får anses konstant säg $H = 12$ m såsom i Lambohov.
- Antag vidare att ett fel på beklädnadsmaterialen kräver totalt utbyte av ytbeklädnaden, dvs leder till en kostnad som är proportionell mot ytan Y (Lambohovs beklädnad är hopfogad i ett enda stycke som placeras på magasinets botten och vecklas ut så att det täcker botten och hänger ner längs de vertikala väggarna) Ett alternativt antagande vore att reparation kräver tömning av värmemagasinet i vilket fall kostnaden blir proportionell mot volymen och således skulle komma att växa ännu snabbare med storleken än med det första antagandet om en kostnad proportionell mot ytan. Vi håller fast vid antagandet om kostnaden proportionell mot ytan och finner med detta att:

$$\chi = (Y/V) \cdot H = 1 + 4(H/D)$$

Här är χ således ett dimensionslöst förhållande mellan yta och volym för cylindriska magasin.

Den förväntade kostnaden E (expected value) är lika med kostnaden för en reparation K gånger sannolikheten p för att reparation (utbyte) blir nödvändig. Således:

$$E = p \cdot K$$

Vi söker således uttryck för p och K . och sätter:

$$p = p_0 \cdot Y = p_0 \cdot (Y/V) \cdot V = \bar{p}_0 \cdot \chi \cdot V$$

$$\text{med } \bar{p}_0 = p_0/H$$

Kostnaden K antas enligt förutsättningarna också proportionell mot ytan:

Man får lätt på samma sätt:

$$K = k \cdot \mathcal{H} \cdot V$$

Vi får:

$$E = p \cdot K = \bar{p}_0 \cdot \mathcal{H} \cdot V \cdot k \cdot \mathcal{H} \cdot V = \bar{p}_0 \cdot k \cdot \mathcal{H}^2 \cdot V^2$$

Väljer vi ett magasin med $H = 12$ m och diameter $D = 12$ så kan vi utgå från dess förväntade reparationskostnad E_0 och erhåller för andra storlekar en relativ, förväntad reparationskostnad:

$$E/E_0 = \mathcal{H}^2 \cdot V^2 / (25 \cdot 1244^2)$$

På motsvarande vis får vi kostnaden per hushåll e som är proportionell mot E/V . Den relativa kostnaden för hushållet vid delning på reparationskostnaden för magasinet solidariskt inom bostadsområdet:

$$e/e_0 = \mathcal{H}^2 \cdot V / 25 \cdot 1244$$

Tabell 4.1

$H = 12$ m

H/D	1	1/3	1/5
\mathcal{H}	5	2.333	1.800
\mathcal{H}^2	25	5.444	3.240
V	1244	11196	31101
E/E_0	1	17.64	81.00
e/e_0	1	1.96	3.24

Från Tabell 4.1 ser vi att de förväntade kostnaderna för reparationen av värmemagasinet under givna betingelser, E/E_0 , stiger betydligt snabbare än värmeförlusterna per m^3 , dvs \mathcal{H} , avtar. Således ökar E/E_0 från 1 till 81.00 när magasinvolymen växer från $1244 m^3$ till $31101 m^3$ medan värmeförlusten avtar i proportionen 5 till 1.8, vilket måste betraktas som ett faktum som stämmer till eftertanke. Slår man ut kostnaden på de anslutna hushållen så blir det i alla fall dyrare trots det ökade antalet kostnadsbärare. i relation 1 till 3.24

Vår analys utgår från vissa förenklade antaganden. Att kostnaden är "förväntad" innebär att kostnaden inte alltid kommer att inträffa utan drabbar slumpartat. Den är av samma art som de utbetalningar ett försäkringsbolag måste göra för saksador. Slutsatsen synes vara att man bör mera detaljerat analysera arten av värmemagasinet underhållskostnader.

4.2.3 Värmepumpar.

Dessa är beställda från STAL-Refrigeration, 2 st VMV16 och en VMV6, dvs cirka 400 och 150 kW kyleffekt.

Dessa aggregat har tillverkats i en mängd olika utföranden, sammanlagt cirka 250 stycken, varav 30 för värmepumpändamål. Det rör sig i princip om två parallellkopplade 6 eller 8 cylindriska freonkompressorer, vilka arbetar mellan en förångare och två kondensorer, konstruerade och utförda enligt svenska kyl- och tryckkärlsnormer.

Värmepumpar arbetar vid relativt sett förhöjda förångare- och kondensortemperaturer, varför man har ett förhöjt massflöde genom bl.a. kompressor-plattventilerna, som behöver kontrolleras efter 5000 hrs och bytas efter 10000 hrs.

Den samlade erfarenheten från värmepumpapplikationen uttrycker STAL i form av en underhållskostnad i procent av kostnaden för elenergiförbrukningen. Den ligger mellan 10% till 15% av elkostnaden och beräknas bli omkring 12% för de aktuella enheterna.

Låg- och högtrycksvakter på freonsidan bryter vid extremvärden, liksom en oljetryckvakt. Smörjoljan från bottenumpen passerar runt med freonflödet.

STAL har servismotor stationerad i Linköping.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att dessa aggregat utgör väl utvecklade enheter med en lång, ackumulerad drifttid och väl utvecklad servis.

De enda väsentliga driftproblemen vore om överordnade styrsystem skulle misslyckas med att disponera dem på ett önskvärt sätt.

4.3 Solvärmesystemets tillgänglighet och underhåll i ett längre tidsperspektiv.

Det amerikanska normförslaget, ref.13, säger i detta avseende bl.a. :

"The prediction of system performance should reflect the cumulative degradation in components resulting from environmental or system wear and deterioration"

4.3.1 Solfångarens verkningsgrad.

Denna diskuteras i ref.11 med utgångspunkt från:

$$\eta = F' ((\alpha \tau)_e - k_e \Delta t / I)$$

F' = faktor som tar hänsyn till att absorbatorns ytemperatur är större än vattentemperaturen i rörkanal vid drift.

α = absorptionskoefficient

k_e = solfångarens effektiva värmeöverföringskoefficient

t = temperaturdifferens mellan vatten och luft

I = solradians

Det kan konstateras att:

- korrosion och blekning av absorbatorytan försämrar
- försmutning och åldring av täckglas sänker τ
- försämrad isolering ökar k_e
- deformationer och försämrad mekanisk integrering av absorbator minskar F'

Inflytandet av dessa faktorer beror också av värdet av Δt .

Med utgångspunkt från ref.4, som föreskriver att verkningsgraden efter ett accelererat 30 dars långtidsprov skall vara 90% av den ursprungliga så har ett studiefall bearbetats, vilket antar att $\eta/\eta_0 = 0.80$ efter 4 års drift. Med en linjär försämring under drifttiden:

$$\eta/\eta_0 = 1 - a t$$

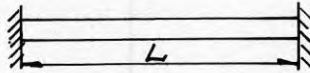
$$a = 0.0042$$

$$t = \text{månader kalendertid}$$

4.3.2 Solfångarens livslängd.

Denna bestäms såväl av tekniska som ekonomiska faktorer, de sistnämnda också inkluderande underhållskostnaden. Medan verkningsgraden kan förutsättas bero av en fortlöpande degradering utan att solfångaren upphör att fungera så kan termisk töjningsutmattning leda till sådana skador att absorbatorelementen helt eller delvis måste bytas ut.

För att belysa uppkomsten av termisk töjningsutmattning har följande modell bearbetats.



Töjningsamplituden vid ett element som är helt inspant under en temperaturändring blir

$$\Delta \varepsilon = \gamma L / L = \gamma \Delta t$$

Töjningen dvs den relativa längdändringen, fås alltså som produkten av en längdutvidningskoefficient och temperaturdifferensen som det inspända elementet utsättes för. Graden av inspänning varierar givetvis i en konstruktions olika delar. Fenomenet uppstår i synnerhet när en begränsad del, såsom absorbatorkanalen, snabbt avkyles medan omgivande material är utsatt för intensiv solbestralning, eller vid infästningar, så att man får cykliska utböjningar av den art som iaktogs vid Gränges provkörning, se avsnitt 4.2.1.

Upprepas en dylik töjning tillräckligt många gånger uppstår sprickbildningar, dvs utmattning. Modern utmattningsforskning, ref. 12, har lett fram till en formulering enligt vilken töjningsutmattning består av en del töjning inom det elastiska området (långtidseffekt) och en del plastisk (low cycle fatigue, duktilitetsutmattning). Enligt detta synsätt skrives:

$$\varepsilon_a = \left(\frac{\sigma_f'}{E} \right) \cdot (2N_f)^b + \varepsilon_f' (2N_f)^c$$

Den första termen motsvarar elastisk töjning:

$$\varepsilon_{\text{elas}} = \sigma_f' / E$$

och den andra plastisk utmattning, ϵ'_f .

Den totala töjningen ϵ_a bestäms vid givet antal cykler N_f av fem materialkonstanter:

σ'_f = verklig brottgräns med hänsyn til tvärkontraktion

ϵ'_f = utmattningsduktilitet

b = utmattningshållfasthet, exponent

c = utmattningsduktilitet, exponent

E = elasticitetsmodul

Materialdata och erfarenheter med denna metod föreligger för flera stålsorter, SAE-program i USA 1975.

Utan att negligera de påtagliga felmöjligheterna vid överförandet av metoden till andra materialtyper har det i alla fall sitt intresse att söka uppskatta hur sambandet mellan antalet cykler till utmattning, N_f , beror av temperaturchockens, Δt , styrka. Vi kan erhålla en uppfattning om relationen genom att antaga att den totala töjningsamplituden ϵ_a motsvarar värmetöjningen $\Delta \epsilon = \gamma \cdot \Delta t$.

Följande materialdata har tillämpats för kalldragen koppar enligt Handbook of Tables for Applied Engineering Sciences, Cleveland, USA, 1970:

$$\sigma'_f = 300 \text{ n/mm}^2$$

$$R_a = 15\% \text{ brotttöjning}$$

$$\epsilon'_f = \ln(1/(1 - R_a)) = 0.16$$

$$E = 127500 \text{ n/mm}^2$$

$$c = -0.6$$

$$b = -0.085$$

$$\gamma = 16.6 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

Beräkningarna ger följande resultat; se Tabell 4.2

I Fig. 16 återges också det sökta sambandet $N_f = f(t)$. Det måste än en gång understrykas att den absoluta temperaturnivån kan vara behäftad med en betydande osäkerhet. Det intressanta med denna enkla modell av termisk töjningsutmattning är i stället den uppfatt-

ning den förmedlar av temperaturchocken.

Under en viss temperaturdifferens (i det studerade fallet omkring 60 °C) så är risken för termisk utmattning obefintlig. För en ytterligare måttlig ökning av temperaturdifferensen stegras risken drastiskt beroende på den tilltagande plastiska komponenten i töjningsförloppet.

Den för Lambohov övervägda driften med återkommande tömning/fyllning av solfångarna, då solstrålningen momentant avtar, innebär i princip en ökning både av antalet temperaturcykler och av styrkan hos de därmed förbundna temperaturchockerna med delåga temperaturerna i det värmepumpkylda värmemagasinet.

Tabell 4.2

Temperaturdifferens Δt	Töjningsamplitud ϵ_a	Antal cykler N_f till utmattning
	0.008254	100
	0.002983	1000
100 -----	0.001603	----- 7500
75 -----	0.001245	----- 24300
	0.001100	50000
62.3 -----	0.001033	----- 75000
59.7	0.000990	100000

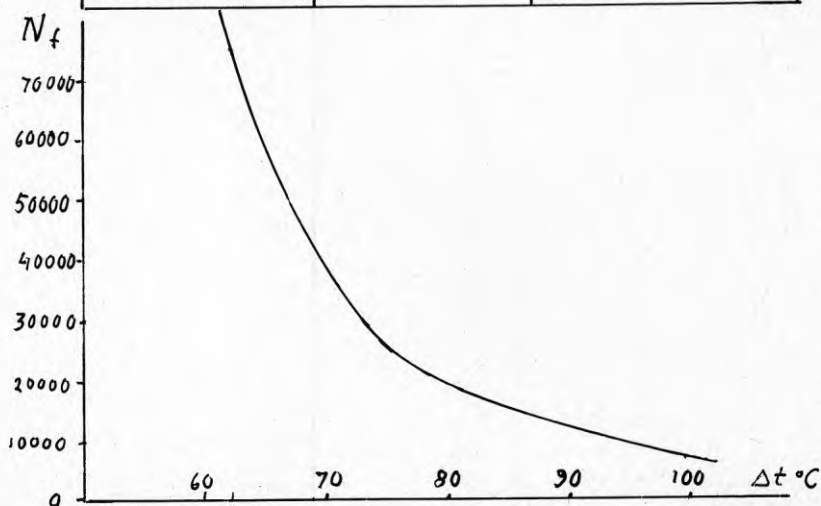


Fig.16 Antalet cykler till utmattning N_f s.f.a. temperaturdifferensen Δt vid cykling mellan varma och kalla perioder vid solfångarna

4.3.3 En modell för prediktering och provning av solvärmsystemets systemeffektivitet under längre tidsperioder.

Under det praktiska utvecklingsarbetet ställes man inför följande situation:

Anläggningen tas gradvis idrift. Avbrotten blir täta för att rätta till upptäckta fel och orsaker till avbrott. Studerar vi t.ex. solvärmsystemet så gäller fel, reparationer och underhåll naturligtvis inte enbart solfångarna utan också övriga komponenter i systemet.

Det momentana värdet för MTBF, medeltid mellan fel, förändras hela tiden och därmed tillgängligheten A hos systemet.

Parallellt med denna positiva utveckling är systemet, framför allt dock solfångarna, utsatt för en gradvis degradering med en försämring av verkningsgraden som följd. Vad kan man under dessa omständigheter vänta beträffande solvärmsystemets prestanda?

Följande predikteringsmodell utgår ifrån en kombination av fyra koncept nämligen:

(a) En empiriskt belagd modell för tillförlitlighetens tillväxt enligt Duane General Electric USA, ref. 14, vilken utnyttjar empiriska data för ackmulerat antal inträffade fel som funktion av ackmulerad utprovningstid. Dessa data tjänar som underlag för en bestämning av MTBF, både vid den aktuella tidpunkten och framtida tidpunkter.

(b) Verkningsgradens utveckling med tiden

$$\eta/\eta_0 = 1 - a \cdot t$$

(c) Tillgängligheten som är:

$$A = \frac{\mu}{\mu + \nu}$$

μ = MTBF, medeltid mellan fel

ν = MTTR, medeltid för reparation av fel

(d) Systemets verkliga effekt W vore vid ideella förhållanden $W_0 = \eta_0 \cdot I$

Till följd av verkningsgradsförsämringen blir effekten i stället:

$$W = (\eta/\eta_0) \cdot \eta_0 \cdot I = (\eta/\eta_0) \cdot W_0$$

Eftersom systemet emellertid endast kan utnyttjas med tillgängligheten A så blir effekten:

$$W_{\text{eff}} = (\eta/\eta_0) \cdot W_0 \cdot A$$

Vi kan således definiera en systemeffektivitet

$$A_{\text{eff}} = W_{\text{eff}}/W_0 = (\eta/\eta_0) \cdot A$$

Med hänsyn till definitionen av A således:

$$A_{\text{eff}} = \frac{\eta}{\eta_0} \cdot \frac{\mu}{\mu + \nu}$$

I vår aktuella modell är då:

- μ = MTBF en funktion av löpande empiriska data enligt Duanes tillväxtmodell
- ν = aktuell (möjligen uppmätt) medeltid för reparation av fel
- η/η_0 = verkningsgradsförsämring (här antagen, men efterhand enligt uppmätta värden)

Duane's tillväxtmodell för MTBF.

Duane, General Electric, IEEE 1964, utvecklade en deterministisk tillväxtmodell på grundval av erfarenheter från många system vid G.E. och hans metod har sedan tillämpats med framgång av andra, se ref. 14 för litteratur. Duane eftersträvade att klarlägga om det finns systematiska förbättringar i systemens MTBF under utvecklingsfasen. Hans analys visade att kumulativa MTBF-värden låg på en rät linje när de inprickades på loglogpapper mot kumulativa drifttider T för systemet. Han kunde således ansätta:

$$m = k T^a$$

m = kumulativ MTBF

T = kumulativ drifttid

a = inlärningsfaktor, karakteristisk för en viss systemtyp och en viss utvecklingsavdelning, erhålles från de löpande data

k = konstant som också bestäms från data

Ovanstående samband kan lätt skrivas om:

$$\log m = \log k + a \cdot \log T$$

Man kan lätt visa (ref.14) att för det momentana MTBF gäller:

$$\mu = M = [m_0 / (1 - a)] T^a$$

här är m_0 = extrapolerad MTBF efter den första drift-timmens slut. m_0 och a kan bestämmas medelst en metod för regressionsanalys enligt Hewlett & Packard, instruktionshäfte för HP 25. Ett litet kalkylatorprogram enligt ref.14 kan användas för bestämning av m_0 , a och korrelationskoefficienten r (i programmet r^2)

Tillämpningsexempel.

Vi förutsätter att anläggningen tagits i drift och att man därvid fört anteckningar över det ackmulerade antalet fel som inträffat vid skilda tidpunkter T för den ackmulerade drifttiden T .

Antag alltså att följande föreligger:

Tabell 4.3

Ackmulerad tid T	100	225	350	675	850	1150
Ackmulerat antal fel F	6	10	13	16	19	23

Kalkylatorprogrammet ger följande resultat av regressionsanalysen:

$$m_0 = 1.78918$$

$$a = 0.47488 \text{ (normalt ligger } 0.4 \text{ a } 0.6 \\ 0.4 \text{ långsam inläring} \\ 0.6 \text{ snabb inläring)}$$

$$r^2 = 0.98594 \text{ (alltså hög grad av korre-} \\ \text{lation mellan data och fram-} \\ \text{räknad regressionslinje)}$$

Vår beräkning ger därför följande formel för det momentana MTBF-värdet:

$$\mu = \text{MTBF} = M = (m_0 / (1 - a)) T^a = \frac{1.78918}{1 - 0.47488} T^{0.47488}$$

$$\underline{\mu = 3.40718 T^{0.47488}}$$

Lägg märke till att resultatet av modellen kan erhållas med tilltagande konfidens alltseftersom drifttiden ökar. En tidig prediktering kan förbättras och ofta har man anledning att avstå från de allra första (F,T)-värdena som kan representera "insvängningsförlopp" i utvecklingsarbetet.

Med hjälp av de tidigare uppräknade koncepten för vår modell kan vi nu prediktera systemeffektiviteten över en längre tidperiod. I det studerade fallet har vi således hunnit samla drifterfarenhet under 1150 timmar.

Från konsultbeskrivningen (Ahlström) kan man dra slutsatsen att systemet samlar drifttid under cirka 6500 timmar per varje 12 månader kalendertid. Denna uppgift utnyttjar vi i nedanstående exempel som genomförts med två värden för MTTR, nämligen $\nu=15$ och $\nu=30$ hrs.se Tabell 4.4.

Tabell 4.4

t mån	T hrs	γ/γ_0	μ	A $\nu = 15$ A_{eff}		A $\nu = 30$ A_{eff}	
6	3250	0.9748	158.5	0.91354	0.89052	0.8409	0.81966
12	6500	0.9496	220.3	0.93625	0.88906	0.8801	0.83578
18	9750	0.9244	267.1	0.94683	0.87525	0.8990	0.83105
24	13000	0.8992	306.2	0.9533	0.85721	0.9108	0.8190
30	16250	0.8740	340.4	0.9578	0.8371	0.9190	0.8032
36	19500	0.8488	371.2	0.9612	0.8158	0.9252	0.7853
42	22750	0.8236	399.4	0.9638	0.7938	0.9301	0.7661
48	26000	0.7984	425.6	0.9660	0.7712	0.9342	0.7324

Den viktigaste iakttagelsen är naturligtvis att den förbättrade tillgängligheten A till att börja med ökar systemeffektiviteten A_{eff} . Så småningom gör sig den försämrade verkningsgraden gällande och systemeffektiviteten dalar. Denna försämring kommer till och med tidigare ju mer man har lyckats hålla nere reparations-tiderna (dvs fortare vid $\nu=15$ än vid $\nu=30$).

Återställandet av verkningsgraden genom reovering är en fråga av ekonomisk art. I det studerade fallet skulle en sådan reovering höja systemeffektiviteten från 77% till 96.6% respektive 73.2% till 93.4%.

Vår tillväxtmodell förutsatte att vi hade vissa tidiga feldata från anläggningen. Parallellt kunde vi kanske försökt att utnyttja solvärmesystemets felträdsanalys. Ur denna, Fig. 8, kan vi härleda följande uttryck för systemets tillgänglighet:

$$A_{\text{sol}} = A_{\text{circ}} \cdot A_{\text{regl}} \cdot A_{\text{vent}} \cdot A_{\text{avlft}} \cdot A_{\text{solfång}}$$

Tabell 4.5

Subsystem	MTBF = μ	MTTR = ν	A
cirkulation	1000	5	0.9950
reglering	50	4	0.9259
ventiler	1000	5	0.9950
solfångare	500	5	0.9901
avlftning	1000	5	0.9950

$$A_{\text{sol}} = 0.9950 \cdot 0.9259 \cdot 0.9950 \cdot 0.9901 \cdot 0.9950 = 0.9031$$

$$A_{\text{sol}} = \underline{0.9031}$$

Skillnaden mellan siffervärdena för våra två metoder är givetvis betydelslös eftersom vi utgått ifrån skilda set av antagna värden, dvs i Duane-metoden förutsatte vi existensen av en serie empiriska data, medan vi för felträdet närmast har demonstrerat en situation med prediktering innan anläggningen tagits i drift.

Demonstration av uppnådd tillförlitlighet vid en "färdigutvecklad anläggning!"

En statistiskt säkrad MTBF, när anläggningen nått ett stabilt moget stadium, måste bygga på en provningsplan sådan som MIL-STD-781B, ref. 7, Fig. 17. Denna figur visar provningsvillkoren för att med 90% konfidensnivå för korrekta beslut kunna avgöra om eftersträvat MTBF uppnåtts. Man specificerar alltså ett MTBF = θ_0 . Det minsta MTBF som kan godkännas är $\theta = (2/3)\theta_0$. Beställaren riskerar enligt denna provningsplan i 10% av alla fall få ett för lågt MTBF och lika stor är risken för att leverantören får en tillfredsställande anläggning refuserad. Innebörden av denna provningsplan må illustreras med ett kort exempel. Antag att $\theta_0 = 1500$ hrs och

$\theta = 1000$ hrs.

Under förutsättning att icke ett enda fel inträffar under provningsperioden så fordrar planen likväl att man ackmulerar en drifttid = 4.4 gånger θ_0 -värdet, dvs i detta fall $4.4 \cdot 1500 = 6600$ hrs. Men detta vore en "onormal" tur. Det förväntade värdet för nödvändig provtid är $17.3 \cdot 1500 = 2595$ hrs. Provet har således lyckats om "spåret" lämnar det inramade området på acceptsidan och misslyckats på rejectsidan.

4.4 Slutsatser.

Utvecklingen av en ny teknologi och en ny anläggningstyp karakteriseras av en dynamik, där många ting är föremål för ändringar, såväl komponenter, system och styrfunktioner. I praktiken innebär detta bl.a. följande:

▲ Anläggningens utseende och funktion.

Det är svårt att vid en given tidpunkt få en precis bild av en anläggningens utseende och sätt att fungera.

▲ Enskilda systems statistiska tillförlitlighetsvärden såsom MTBF, genomgår hela tiden förändringar.

Anläggningens tillförlitlighetsvariabler har alltså inte uppnått s.k. stationär jämvikt.

▲ Intresset är påtagligt inriktat på tillförlitlighetens tillväxt (reliability growth). Denna kan studeras med något olika metoder, vilka karakteriseras av någon deterministisk hypotes beträffande den "förbättringsmekanism" som präglar det tekniska arbetet.

Statistiska metoder kommer dock till användning för regressionsanalys redan i detta skede och är oundgängliga när man i ett moget skede skall etablera tillförlitlighetsvariablerna.

▲ Dynamiken i utvecklingsskedet för solvärmecentraler kompliceras ytterligare av de degraderingsmekanismer som verkar på solfångarna. Detta sker på ett sätt som avviker exempelvis från fallen med förbränningsmotorer av olika slag.

Med en provdrift som måste utsträckas för att fånga upp skilda klimat och påfrestningar så kan detta ge upphov till svårtolkade balanser mellan tillväxt i tillgänglighet och avtagande verkningsgrad hos solfångarna.

▲ Det är angeläget att man under provdriften verkligen bemödar sig om att ta fram en så fullständig felstatistik som möjligt. Denna tjänar sedan till att:

- prediktera sannolika framtida MTBF
- förbättra kritiska komponenter
- definiera kritiska driftfall
- klarlägga svårigheter vid övergång mellan olika säsongtyper av drift

▲ Underhållsproblemen är av flera slag

Det stora antalet lokalt utspridda solfångarna kräver uppmärksamhet bl.a. därför att åtkomligheten för utbyte och servis då måste vara god. I Lambohov kanske man måste ta sig igenom trädgårdsplanteringar m.m. för att verkligen renovera solfångarna.

En mycket speciell frågeställning utgör underhåll och servis och därmed sammanhängande ekonomiska risker med mycket stora värmemagasin. Här krävs mera arbete och undersökningar.

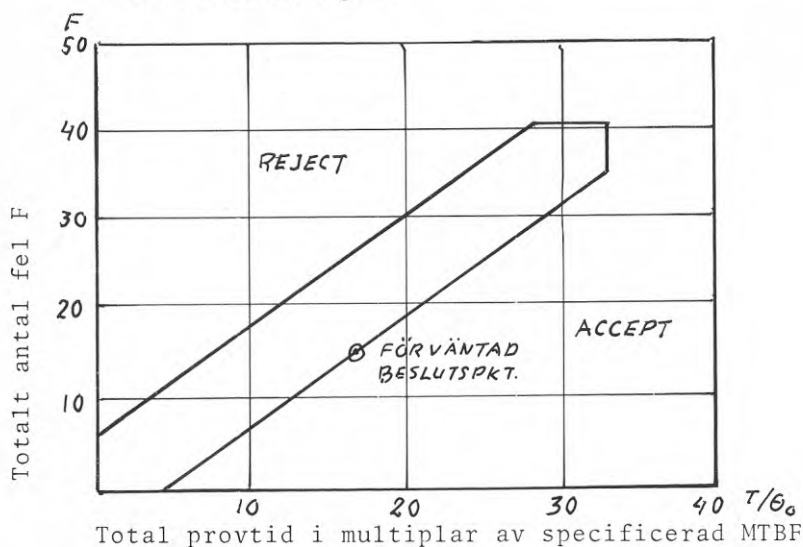


Fig.17 Provningsplan enligt MIL-STD 781B för demonstration av uppnådd MTBF

5 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER.

5.1 Bättre anläggningsekonomi och en fastare F&U-insats med ett program för tillförlitlighet.

Det finns flera skäl som talar för värdet av en tillförlitlighetsteknisk insats vid en så pass stor anläggning som Lambohov, där merkostnaden för den alternativa energikällan solvärme utgör mer än 10 milj.kr. Det existerar också flera orsaker till att en dylik integrerad insats ännu inte kommit igång.

Skälen för ett tillförlitlighetsprogram är följande:

- ▣ Anläggningens ekonomiska omfattning och vikten av att så långt som möjligt undvika funktionsfel och dyrbara misstag.
- ▣ Nya, oprövade komponenter
- ▣ Nytt system av tidigare oprövad storleksordning med delvis nya sätt att fungera
- ▣ Förhållandevis komplicerade system med stort behov av klara systemgränser och otvetydig ansvarsfördelning så att systemen också fungerar tvärs över dessa gränser.
- ▣ Många berörda leverantörer av både maskin- och programvara
- ▣ Vikten av att drifterfarenheterna blir dokumenterade på ett sådant sätt att de verkligen kan utnyttjas för att förbättra driftsäkerheten i kommande anläggningar.

Orsakerna till att man inte ännu kommit igång med ett markerat tillförlitlighetsprogram för Lambohov (eller förmånga andra anläggningar och processindustrier med för den delen) är naturligtvis många. De vanligaste brukar vara:

- ▣ Man är inte medveten om existensen av en systematisk metodik för tillförlitlighet
- ▣ Man tycker att man redan gjort alla nödvändiga kontrollberäkningar och bedömningar
- ▣ Man vill inte ha mer arbete och utgifter. Projektet har redan kostat för mycket pengar.

Någon budget för ett tillförlitlighetsprogram existerar ej.

- ²Man vill helst inte lägga sig i andras problem
- ⁴Man ser inte att det finns några ekonomiska risker för egen part
- ⁴Man är rädd för att "kväva" utvecklingen genom att samtidigt med ett mödosamt utvecklingsarbete pågår ställa krav på hög tillförlitlighet och dess dokumentation
- ⁴Man har pionjäranda och älskar att ta risker
- ⁴Man tycker att det är så långt kvar innan provtiden är över att det är för tidigt att oroa sig
- ⁴Man räknar med att eldningsoljan snart blir så dyr att varje anläggning för alternativ energi kommer att löna sig oberoende av dess tillgänglighetsnivå och underhållskostnad

Avsikten med föreliggande arbete har varit att söka visa värdet av ett tillförlitlighetsprogram.

Genom att påvisa konkreta skäl för ett dylikt så bör också intresset kunna väckas för ett rationellt utnyttjande av redan existerande tillförlitlighetsteknik.

För solvärmecentraler har man påbörjat standardiseringen av provningsmetoder och kvalitetskrav, främst i USA. Dessa insatser har refererats i denna rapport.

Utifrån kända riktlinjer för tillförlitlighetsprogram från USA har rapporten granskat de specifika problemen i solvärmecentraler. Särskilt har vi uppehållit oss vid definitionen av aktuella feltyper. Tillämpningen av många kända metoder inom tillförlitlighetstekniken har konkretiserats genom exempel.

Utvecklingsproblemen har ägnats särskild uppmärksamhet. Rapporten återger således relevant teknisk information som rör tillförlitligheten i solvärmecentraler.

Ett försök har gjorts att åskådliggöra hur solvärmeproduktionen kan komma att fungera under ett fyraårigt utvecklingsskede.

Skillnaden mellan utvecklingsfas och den mogna perio-

den har betonats beträffande tillståndsvariabler som MTBF. Denna kan predikteras med deterministiska metoder under utvecklingskedet men måste bestämmas statistiskt med en given konfidensnivå för den mogna perioden med stationära variabler.

5.2 o Rekommendationer.

Då det synes sannolikt att man under de närmaste åren kommer att satsa mycket pengar för att utveckla svensk solvärmeproduktion, så bör detta vara motiv nog för att ta upp en diskussion om hithörande tillförlitlighetsfrågor.

Man borde då först och främst ta principiell ställning till hur man ser på behovet av insatser av tillförlitlighetsteknik. Man måste formulera åsikter om vilket tillförlitlighetsprogram man vill se genomfört under den fortsatta utvecklingen. Detta måste gälla både mer generella insatser och de som skall gälla vid uppbyggnad av beslutade nya anläggningar i likhet med Lambohov.

Generella åtgärder

- ✓Anta riktlinjer för tillförlitlighetsprogram vid projektering och uppförande av solvärmearläggningar
- ✓Fastställa temporära standards för provning av solfångare, värmemagasin och andra kritiska komponenter
- ✓Utarbeta förslag till långtidsprovning och felrapportsystem vid drift av solvärmecentraler
- ✓Ta initiativ till en central informationsbehandling av tekniska uppgifter och en databank för tillförlitlighetsdata från solcentraler i drift
- ✓Stödja svenska företag som kan och vill utveckla komponenter för solvärmecentraler
- ✓Främja en måttlig insats av arbete för att ställa tillrättalagda metoder för tillförlitlighet till förfogande vid fortsatt utveckling av solvärmetekniken

Särskilda åtgärder

- ▲ Överväga hur man skall leda arbetet med utnyttjandet av solvärmen och analysera hur synpunkter på tillgänglighet, underhåll och underhållskostnader påverkar anläggningarnas utformning. Särskild uppmärksamhet bör ägnas åt storlekens (skalans) betydelse.
- ▲ Initiera erforderlig teknisk utveckling av komponenter och konstruktionsmaterial. Såsom exempel torde materialfrågor för närvarande begränsa den maximala vattentemperaturen i värmemagasinet, och därmed den ekonomiska effekt som man kan uppnå med en viss anläggning.
- ▲ Utveckla ekonomiska metoder för att upptäcka läckage från solfångare och värmemagasin
- ▲ Överväga att följa upp utveckling i USA m.fl. länder av normer, provningsmetoder och metoder relaterade till tillförlitligheten vid solvärmecentraler

6 LITTERATUR.

1. Mekanresultat 76008 September 1976, Tillförlitlighet-riktlinjer för utformning av specifikationer och garantier, (Sveriges Mekanförbund) Stockholm.
2. Björklund, O. & Spång, K, Mars 1976, Vägledning för utformning av program för tillförlitlighetsprovning av apparater (Försvarets Teletekniska Laboratorium A16:64, Stockholm)
3. MIL-STD 785A, March 1969, Reliability Programs for Systems and Equipment Development and Production, U.S. Government, Washington, D.C. (Tri-Service Docu)
4. FSEC-77-5, Nov. 1977, Test Methods and Minimum Standards for Solar Collectors (Florida Solar Energy Center) Cape Canaveral, Florida 32920.
5. Hill, J.E. et al, Feb. 1976, Development of Proposed Standards for Testing Solar Collectors and Thermal Storage Devices (National Bureau of Standards for ERDA) NBS Tech Note 899.
6. Stiehler, R., Hockman A, Embree E & Masters L, March 1978, Solar Energy Systems-Standards for Rubber Seals (Structures and Materials Division Center for Building Technology, National Engineering Lab. Nat. Bur. of Stan.), NB 77-1437, Wash. D.C.
7. MIL-STD 781B, Sequential Testing for Reliability Qualification (Demonstration). Reliability Production Acceptance and Longevity Tests, Nov. 1967, U.S. Government Wash. D.C.
8. Solvarme, Teknologisk Institut, Varmeteknik, Köpenhamn 1978.
9. Failure Mode and Effect Analysis for Processes, Reliability Office, North American Automotive Operations, Ford Motor Company, Module XIV-A, January 1972.

10. Barlow R & Proschan F, Statistical Theory of Reliability and Life Testing, Probability Models, Holt, Rinehart & Winston INC, New York, 1975.
11. Wennerholm H & Lagerkvist K.O. "Åldrings- och korrosionsproblem hos plana termiska solfångare. En studie baserad på litteratur och erfarenhetsutbyte (Statens Provningsanstalt) Tekn. Rapp. Sp-RAPP 1979:4, Borås.
12. Socie D.F. Fatigue Life Estimation Techniques, 1979 (Electro General Corporation, Minnetonka, Minn. 55343, USA) Tech report 145)
13. Intermediate Standards for Solar Domestic Hot Water Systems /HUD Initiative (Nat. Bur. of Stan. prep. for HUD, Energy, Build. Technology and Standards Division) NBSIR 77-1272, Wash. D.C.
14. Schnittger J.R, Reliability for Mechanical Engineers, 1978, Inst. för Maskinelement, KTH, Stockholm

4.2.1 Standardgaranti

Ett exempel på en såväl nationellt som internationellt vanligt förekommande garantimodell återfinns i garantiavsnittet i de nordiska allmänna bestämmelserna för leverans av maskiner samt annan mekanisk och elektrisk utrustning, NL 70 (se bilaga 3). Motsvarande internationella exempel på en sådan "standardgaranti" utgörs av de inom FN:s ekonomiska kommission för Europa i Genève utarbetade "General Conditions for the Supply of Plant and Machinery for Export", ECE 188.

De garantiregler som ingår i dessa bestämmelser kan vara en lämplig grund för säljarens totala ansvar för olika slag av fel eller avvikelser från vad som har avtalats beträffande godset. Standardgarantin kan sedan kompletteras med särskilda garantier avseende olika tillförlitlighetsegenskaper, såsom den levererade produktens funktion, tillgänglighet och underhållskostnad, se avsnitt 5.2.

En standardgaranti av här nämnt slag har sammanfattningsvis följande uppbyggnad och innehåll. Sammanfattningen bygger på NL 70, som återfinns och närmare kommenteras i bilagorna 2 och 3.

Garantins huvudbestämmelser är att säljaren ska avhjälpa alla fel som under garantitiden uppkommer genom bristfälligheter i konstruktion, material eller tillverkning. Har felet orsakats av köparen, exempelvis genom bristande underhåll, eller av normal förslitning omfattas felet inte av garantiåtagandet. Även delar som ersätts eller repareras enligt garantin garanteras på samma villkor som gäller enligt den ursprungliga garantin. Efter viss maximitid upphör dock säljarens garantiansvar i sin helhet. Säljaren kan fullgöra sitt avhjälpningsåtagande genom att vid enkla "normala" fel tillhandahålla köparen en ny eller reparerad del. Är felet av mer kvalificerad art, ansvarar dock säljaren även för andra åtgärder, som föranleds av felet. Om säljaren inte fullgör sin skyldighet att avhjälpa ett garantifel, har köparen rätt att låta göra detta på säljarens bekostnad. Om felet är av väsentlig betydelse för köparen, har han som en yttersta påföljd rätt att helt eller delvis häva avtalet. Säljarens ansvar för fel är i övrigt begränsat på så sätt att han inte annat än vid fall av grov vårdslöshet är skyldig att ersätta skadorna, dvs skador på annan egendom än den levererade, produktionsbortfall, utebliven vinst etc.

4.3 Specifikationer

Som framgår av det föregående kan en garanti innebära en mer eller mindre långtgående ansvarsbegränsning i förhållande till KöpLs regler om hävning, skadestånd etc.

Av avgörande betydelse för bedömningen av vad som ska anses som "fel" i levererad produkt är de specifikationer av olika slag som parterna kommer överens om ska gälla för produkten i frågan.

BILAGA 1

Specifikationerna har naturligtvis härutöver även det värdet att de tvingar parterna att göra klart för varandra vad säljaren önskar av produkten respektive vad köparen anser att produkten kan prestera etc.

Specifikationer utgör ett hjälpmedel att uppnå såväl juridisk som kommersiell-teknisk tydlighet.

5 Förslag till utformning av specifikations- och garantitexter

5.1 Allmänt

Föregående beskrivning av innehållet i KöpLs olika felregler har gjorts för att ge en allmän juridisk bakgrund till vad som gäller om parterna i sitt avtal inte kommit överens om vad som ska gälla om produkten inte är i "avtalsenligt skick".

I det helt dominerande antalet fall avtalar parterna om en annan reglering än den som förekommer i KöpL. Detta innebär som bekant att såväl i särskilt upprättade kontrakt som i olika allmänna leverans- och inköpsbestämmelser återfinns särskilda garantiavsnitt som i väsentliga avseenden innehåller en annan reglering än KöpLs.

De speciella garantier som avser olika tillförlitlighets-egenskaper blir närmast en preciserad utvidgning av säljarens ansvar enligt den s k standardgarantin. Innebörden och bedömningen av dessa speciella garantier grundar sig på den specifikation av respektive tillförlitlighetsegenskap som skall ingå som en del av avtalet.

En garantitext avseende viss specificerad egenskap kan i avtalet tas in i anslutning till det "allmänna" garantiavsnittet så att samtliga garantiregler återfinns på samma plats. Detta innebär att de egentliga garanti-villkoren skiljs från själva specifikationen. En annan lösning är att hålla samman specifikations- och garantitexter i ett särskilt avsnitt i avtalet eller i en särskild bilaga till detta.

5.2 Tillförlitlighetsgarantier

I det följande ges några exempel på garantitexter vilka efter anpassning till förhållandena i det enskilda fallet kan tas in i avtalet som ett tillägg till den standardgaranti som i övrigt ska gälla för leveransen.

5.2.1 Tillgänglighetsgaranti

I här givna exempel på garantitexter avseende tillgänglighet ställs krav på att stilleståndstiden ska vara kort. Stilleståndstiden kan utgöras av

- felsökning, reparation samt kontroll av att felet är avhjälpt
- planerat (förebyggande) underhåll
- tid för att erhålla resurser i form av reservdelar, personal och hjälpmedel för att utföra reparation, felsökning och kontroll av att felet är avhjälpt.

De två första typerna av stillestånd täcks av punkterna 1 och 2 nedan. Den tredje typen kan täckas med serviceavtal eller reservdelsgaranti.

- 1 Säljaren garanterar att stilleståndstiden på grund av fel i godset (eller till denna hörande utrustning som levererats av säljaren) under en tid av driftstimmar, dock ej längre än år, ej ska överstiga x% av summan av total drifttid och stilleståndstiden vid avtalad (normal) användning av godset.
- 2 Säljaren garanterar att stilleståndstiden med hänsyn enbart till överenskommet planerat underhåll under i punkt 1 angiven garantitid ej ska överstiga y% av den totala drifttiden vid avtalad (normal) användning av godset.

Kommentar:

Orsaken till att stilleståndstiden är uppdelad enligt punkterna 1 och 2 ovan är att användaren kan lägga planerat underhåll vid tider då godset ändå inte avses vara i bruk.

Drifttid och stilleståndtid ska uttryckas i timmar. Då stillestånd kan befaras bli orsakat av fel i exempelvis programvara bör även detta förhållande uttryckligen beaktas vid utformning av dessa klausuler.

- 3 Denna tillgänglighetsgaranti förutsätter att godset används, underhålls och repareras på sådant sätt och i en miljö (klimatisk, mekanisk och elektrisk) som överensstämmer med av säljaren angivna och i avtalet intagna förutsättningar. Det åligger köparen att i förekommande fall upplysa säljaren om de särskilda förhållanden som kan antas vara av betydelse i detta avseende.
- 4 Denna tillgänglighetsgaranti gäller under förutsättning att köparen fortlöpande lämnar säljaren uppgift om följande förhållanden:
 - a) utfört, planerat underhåll enligt säljarens instruktioner samt den tid som använts härför och under vilken godset inte kunnat användas med avtalade prestanda
 - b) vidtagna åtgärder för att avhjälpa fel samt den tid under vilken godset inte kunnat användas med avtalade prestanda
 - c) det antal driftstimmar och den kalendertid som förflutit av i punkt 1 angiven garantitid.
- 5 Stilleståndstiden ska beräknas från och med månader efter leverans och omfatta de följande månaderna.

Kommentar:

Ovanstående regler ska kompletteras med bestämmelser om påföljd då garantin ej innehålls. Se vidare avsnitt 5.2.6.

Om tillgängligheten till största delen är beroende av godsets funktionssäkerhet kan i stället för den ovan beskrivna garantin, en funktionssäkerhetsgaranti enligt avsnitt 5.2.3 användas.

Om tillgängligheten till största delen är beroende av godsets underhållsmässighet kan i stället för den här beskrivna garantin, en underhållsmässighetsgaranti enligt avsnitt 5.2.4 användas.

5.2.2 Underhållskostnadsgaranti

Ett serviceavtal kan vara ett lämpligt alternativ till denna underhållskostnadsgaranti.

- 1) Säljaren garanterar enligt nedan angivna förutsättningar att underhållskostnaden för godset inte ska överstiga öre per driftstimme.
- 2) Säljarens åtagande enligt punkt 1 gäller under en tid av år räknat från leveransdagen alternativt: från den dag godset övertagits av köparen.
- 3) Underhållskostnad per driftstimme ska beräknas på följande underlag:
 - a) kostnaden för av köparen utfört underhåll inklusive reparationer ska grundas på en arbetskostnad av . . . kr/timme och effektiv tid. Här angivet grundbelopp ska (årigen) justeras enligt vad som särskilt överenskommits i avtalet mellan parterna
 - b) kostnaden för köparen tillhöriga reservdelar, som utnyttjas vid underhåll och reparationer, ska grundas på det pris som gällde vid avtalets ingående
 - c) kostnaden för av säljaren utfört underhåll inklusive reparationer ska motsvara den faktiska ersättningen som köparen erlägger för detta.
- 4) I punkt 1 angiven garanti förutsätter att godset används, underhålls och repareras på sådant sätt och i en miljö (klimatisk, mekanisk och elektrisk) som överensstämmer med av säljaren angivna och i avtalet intagna förutsättningar. Det åligger köparen att i förekommande fall upplysa säljaren om de särskilda förhållanden som kan antas vara av betydelse i detta avseende.

Kommentar:

Parterna bör även komma överens om den tid som normalt ska beräknas åtgå för underhålls- och reparationsåtgärder av visst angivet slag.

Påföljden för säljaren om underhållskostnaden per driftstimme överstiger i punkt 1 angivet belopp räknat som medelvärde per kalenderår kan vara att säljaren till köparen erlägger överstigande belopp. Se även avsnitt 5.2.6.

5.2.3. Funktionssäkerhetsgaranti

- 1) Säljaren garanterar att medeltiden mellan fel (MTBF) för godset är större än timmar vid avtalad (normal) användning.
- 2) Denna garanti gäller under en tid av mån (år) räknat från leveransdagen/alternativt: från den dag godset övertagits av köparen.
- 3) Medeltiden mellan fel (MTBF) utgörs av godsets totala drifttid dividerad med antalet relevanta fel. Medeltid mellan fel (MTBF) ska beräknas från och med månader efter leverans och omfatta de följande månaderna. Godsets totala drifttid ska beräknas enligt särskild överenskommelse mellan parterna.
- 4) Denna garanti förutsätter att godset används, underhålls och repareras på sådant sätt och i en miljö (klimatisk, mekanisk och elektrisk) som överensstämmer med av säljaren angivna och i avtalet intagna förutsättningar. Det åligger köparen att i förekommande fall upplysa säljaren om de särskilda förhållanden som kan antas vara av betydelse i detta avseende.
- 5) Denna garanti gäller under förutsättning att köparen fortlöpande lämnar säljaren uppgift om följande:
 - a) utfört planerat underhåll enligt säljarens instruktioner
 - b) vidtagna åtgärder för att upptäcka och avhjälpa fel samt beskrivning av felet med uppgift om huruvida köparen anser felet relevant eller ej
 - c) den drifttid och den kalendertid som förflutit av i punkt 2 angiven garantitid.
- 6) Med relevanta fel avses sådana fel som köparen i skriftligt meddelande till säljaren angivit som relevanta och som säljaren ej inom veckor/månad(-er) skriftligen tillbakavisat.
- 7) Icke relevanta fel är
 - a) fel som orsakats av yttre omständigheter, såsom oriktig kraftförsörjning, otillräcklig kylning, oriktig omgivningstemperatur som ej enligt avtalade specifikationer angivits vara omfattade av säljarens garantiåtagande
 - b) sekundärfel, dvs fel som orsakas av annat fel i godset samt
 - c) fel som enligt övriga i avtalet ingående bestämmelser ej omfattas av säljarens garanti-ansvar.

Kommentar:

Ovanstående regler ska kompletteras med bestämmelser om påföljd då garantin ej innehålls. Se vidare avsnitt 5.2.6.

Som alternativ till i denna garanti beskriven metodik att visa att garanterad funktionssäkerhet innehålls, kan även speciell provning vara lämplig. Exempel på detta är metoder beskrivna i IEC publikationen "Equipment Reliability verification" (ref 2) och den amerikanska militära standarden MIL-STD-781 (ref 3).

5.2.4 Underhållsmässighetsgaranti

- 1) Säljaren garanterar att medelreparationstiden (MTTR) för godset är mindre än timmar och att 90 % av reparationstiderna är mindre än x timmar vid avtalad eller normal användning.
- 2) Denna garanti gäller under en tid av mån (år) räknat från leveransdagen/alternativt: från den dag godset övertagits av köparen.
- 3) Reparationstid är den tid som efter det att ett fel har anmälts, åtgär för felsökning, reparation och kontroll av att felet är avhjälpt. I reparationstid ska ej väntetid för reparation, reservdelar, provutrustning etc inräknas.
Medelreparationstiden (MTTR) utgörs av summan av reparationstiderna dividerad med antal feltillfällen.
- 4) Medelreparationstiden (MTTR) och procenttalet reparationstillfällen med reparationstider mindre än x timmar ska beräknas från och med månader efter leverans och omfatta de följande månaderna.
- 5) Denna garanti förutsätter att godset används, underhålls och repareras på sådant sätt och i en miljö (klimatisk, mekanisk och elektrisk) som överensstämmer med av säljaren angivna och i avtalet intagna förutsättningar. Det åligger köparen att i förekommande fall upplysa säljaren om de särskilda förhållanden som kan antas vara av betydelse i detta avseende.
- 6) Denna underhållsmässighetsgaranti gäller under förutsättning att köparen fortlöpande lämnar säljaren uppgift om:
 - a) utfört planerat underhåll enligt säljarens instruktioner
 - b) vidtagna åtgärder för att lokalisera och avhjälpa fel samt beskrivning av felet med uppgift om huruvida köparen anser felet vara orsakat av att godset ej använts, underhållits eller reparerats enligt i punkt 5 angivna förutsättningar
 - c) den drifttid och den kalendertid, som förflutit av i punkt 2 angiven garantitid.

Kommentar:

Ovanstående regler ska kompletteras med bestämmelser om påföljd då garantin ej innehålls. Se vidare under avsnitt 5.2.6.

Som alternativ till i denna garanti beskriven metodik att visa att garanterad underhållsmässighet innehålls, kan även speciell provning vara lämplig. Exempel på detta är metoder beskrivna i den amerikanska militära standarden MIL-STD-471 (ref 4).

5.2.5 Livslängdgaranti

Undantagsvis kan det vara aktuellt att garantera (respektive kräva garanti) att godset ska ha en viss fysisk livslängd. En bestämmelse som reglerar detta förhållande kan utformas exempelvis på följande sätt:

- 1) Säljaren garanterar att godset har en fysisk livslängd av arbetstimmar.
- 2) Denna garanti gäller under en tid av år räknat från leveransdagen/alternativt: från den dag godset övertagits av köparen.
- 3) Denna garanti förutsätter att godset används, underhålls och repareras på sådant sätt och i en miljö (klimatisk, mekanisk och elektrisk) som överensstämmer med av säljaren angivna och i avtalet intagna förutsättningar. Det åligger köparen att i förekommande fall upplysa säljaren om de särskilda förhållanden som kan antas vara av betydelse i detta avseende.
- 4) Denna garanti gäller under förutsättning att köparen enligt drifts- och underhållsjournaler kan visa
 - a) ackumulerad drifttid och
 - b) att förutsättningarna enligt punkt 3 är uppfyllda.
- 5) Med fysisk livslängd menas här total drifttid (och/eller kalendertid) från det att maskinen övertogs av köparen till uppkomsten av sådant fel som inte lämpligen avhjälpas genom reparation.

Kommentar:

Det är av största vikt att dessa regler kompletteras med bestämmelser som reglerar vad som ska gälla i det fall att den angivna fysiska livslängden inte kan uppfyllas. Bl a bör beaktas hur övriga produkter i aktuell serie ska påverkas.

Feltyper enligt punkt 5 ska anges i en särskild överenskommelse som ska ingå i avtalet mellan parterna.

5.2.6 Påföljder när garantin ej innehålls

I NL 70 punkterna 27 och 30 (se bilaga 2 och 3) regleras de påföljder som säljaren kan drabbas av om han inte lyckas avhjälpa garantifel och således inte fullgjort sina garantiförpliktelser. Motsvarande regler kan också tillämpas för de ovan beskrivna tillförlitlighetsgarantierna. För dessa garantier kan det dock vara aktuellt att i avtalet komma överens om att garantitiden först

ska förlängas med viss tid innan ytterligare påföljder tillgrips.

Som ett alternativ till ovan angivna påföljdsregler kan en bonus/vitesmodell enligt bild 6 tillämpas.

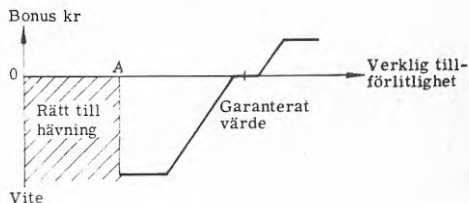


Bild 6. Bonus/vites-modell.

Fig. 6. Bonus/penalty model.

Denna modell innebär att säljaren erhåller en bonus om produkten är bättre än vad som garanterats. Om produkten är sämre får säljaren betala ett vite. Storleken på bonus- och vitesbeloppen beror på hur mycket den verkliga tillförlitligheten skiljer sig från garanti-värdet. Om köparen anses ska ha rätt att häva avtalet kan anges, att denna rätt inträder om den verkliga tillförlitligheten är sämre än ett visst överenskommet värde (A).

5.2.7 Tid för provdrift, inkörning

Med inkörningstid, provdriftstid och liknande begrepp avses i allmänhet den tid som är avsedd för att påvisa att maskinen uppfyller avtalade prestanda.

Den tid som ska användas för inkörning provdrift ska överenskommas särskilt mellan parterna.

I avtal om leverans av mer avancerade maskiner och anläggningar blir bestämmelserna om leveransprov, provdrift, intrimning, inkörning etc av stor betydelse. Genom dessa provåtgärder vill man främst fastställa om säljaren fullgjort sina avtalsenliga åtaganden avseende maskinens eller anläggningens utförande och prestanda. Avtalade garantitider börjar vanligtvis att löpa från den tidpunkt, då proven slutförts och maskinen/anläggningen kan övertas av köparen.

För enklare maskiner är däremot i allmänhet provdrifts- och inkörningstid inte intressant.

Kontroll av garanterade tillförlitlighetssegenskaper enligt avsnitt 5.2.1 - 5.2.5 kan lämpligen ske efter det att maskinen övertagits av kunden och används på överenskommet sätt. Detta är lämpligt därför att kontrollen tar relativt lång kalendertid i anspråk och maskinen under kontrolltiden kan användas i produktionen. Kalendertiden för kontrollen kan i vissa fall förkortas genom att den utförs på ett stort antal maskiner samtidigt eller genom att maskinen används med större driftidsuttag per kalendertid än normalt.

FLORIDA SOLAR ENERGY CENTER

300 State Road 401 □ Cape Canaveral, Florida 32920
305-783-0300 □ November, 1977 □ FSEC-77-5
State University System



TEST METHODS AND MINIMUM STANDARDS FOR SOLAR COLLECTORS

1.0 INTRODUCTION AND PURPOSE

1.1 Legislative Background

In 1976 the Florida Legislature enacted the Solar Energy Standards Act of 1976, Section 377.705, Florida Statutes. This law, effective October 1, 1976, directs the Florida Solar Energy Center (FSEC) to develop standards for solar energy equipment sold or manufactured in the state, establish criteria for determining the performance of solar energy equipment and maintain a testing facility for evaluating solar energy equipment performance. It provides for the Center to charge a fee to cover costs of testing and allows the acceptance of test results from other testing organizations. Results of performance tests may be displayed in an approved manner on equipment that meets minimum standards.

1.2 Responsibility

The first step in implementing the legislation involves the development of standards and test methods pertaining to solar collectors. In developing standards and testing methods, every effort has been made to make them compatible with the standards and test methods developed by recognized national technical organizations and participating government agencies.

1.3 Purpose

This document contains the minimum standards of the FSEC for solar collectors and describes the methods used to determine the thermal performance and quality of materials and construction for solar collectors which heat liquids and are used in systems providing thermal requirements for swimming pool heating, space heating, cooling, and the generation of domestic hot water.

2.0 SCOPE

The criteria presented in this document are intended to:

- a. Establish minimum levels of collector quality for safety.
- b. Provide a means for evaluating the maintainability and structural integrity of solar collectors.
- c. Provide a method for determining a thermal performance rating for solar collectors.
- d. Provide for the acceptance of test results obtained by testing organizations other than FSEC.

2.1 Eligibility for Certification

These standards will apply only to collector models presented to the Florida Solar Energy Center for certification. Only collector models meeting these standards will be eligible for the FSEC label of certification.

2.2 Collectors Manufactured by Licensee

A collector already certified by one manufacturer but fabricated and sold by another manufacturer, who is a licensee of the first, will be certified for the licensee upon verification by the FSEC that the collector is identical in materials and construction to the model already certified. Labels of certification will be supplied to the licensee upon signing the labeling agreement and paying the specified fee. See FSEC-77-6.

3.0 APPLICABLE DOCUMENTS

- 3.1 Duffie, J. A., and W. A. Beckman, *Solar Energy Thermal Processes*, John Wiley and Sons, 1974.
- 3.2 Hill, J.E., and T. Kusuda, *Method of Testing for Rating Solar Collectors Based on Thermal Performance*, NBSIR 74-635, National Bureau of Standards, Washington, D.C. (Dec., 1974). Available NTIS Springfield, Virginia 22151.
- 3.3 *Standard Building Code: 1976 Edition*, Southern Building Code Congress International, Inc., 3617 Eighth Avenue, South, Birmingham, Alabama 35222.
- 3.4 Standards Committee, ASHRAE, *Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors*, Standard 93-77, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 345 East 47th Street, New York, New York 10017.

- 3.5 *Standard Plumbing Code: 1976 Edition*, Southern Building Code Congress International, Inc., 3617 Eighth Avenue, South, Birmingham, Alabama 35222.
- 3.6 *HUD Intermediate Minimum Property Standards Supplement, 1977 Edition, Solar Heating and Domestic Hot Water Systems*, Document 4930.2, U.S. Department of Housing and Urban Development, Washington, D.C.
- 3.7 ANSI Z97-1 (1972) Performance Specifications and Methods of Test for Safety Glazing Material Used in Buildings, American National Standards Institute, 1430 Broadway, New York, New York 10018.

4.0 DEFINITIONS

4.1 Ambient Air

Ambient air is the outdoor air in the vicinity of the solar collector being tested.

4.2 Absorber

The absorber is that part of the solar collector that receives the incident solar radiation and transforms it into thermal energy. It usually is a solid surface through which energy is transmitted to the transfer fluid; however, the transfer fluid itself could be the absorber in certain configurations.

4.3 Absorber Cover

The material or materials around or in front of the absorber and through which the solar radiation must pass before striking the absorber.

4.4 Aperture

The aperture is the clear or projected area of the solar collector through which the unconcentrated solar energy is admitted and directed to the absorber.

4.5 Concentrating Collector

A solar collector which uses reflectors, lenses or other optical elements to concentrate the radiant energy passing through the aperture onto an absorber which has a surface area smaller than the aperture. Some collectors using concentrating elements also fit the definition of a flat-plate collector, 4.10. Thus, this document treats non-concentrating flat-plate collectors, concentrating flat-plate collectors, and concentrating tracking collectors.

4.6 Concentrator

The concentrator is that part of the concentrating collector which directs the incident solar radiation onto the absorber.

4.7 Cover Plate

The cover plate is the material or materials covering the aperture and most directly exposed to the solar radiation. These materials generally are used to reduce the heat loss from the absorber to the surroundings and to protect the absorber.

4.8 Crazing

Formation of minute surface cracks.

4.9 Delamination

Separation into constituent layers.

4.10 Flat-Plate Collector

A flat-plate collector is normally a solar collector in which the surface absorbing the incident radiation is essentially flat and employs no concentration. However, in this document the term refers to all collectors designed to perform satisfactorily with all parts of the collector in fixed positions.

4.11 Gross Collector Area

The maximum projected area of the complete collector module, including integral mounting means.

4.12 Insolation

Insolation is the rate of solar radiation received by a unit surface area in unit time in W/m^2 (Btu/hr-ft²).

4.13 Instantaneous Efficiency

The instantaneous efficiency of a solar collector is defined as the amount of energy removed by the transfer fluid over a given measuring period divided by the total incident solar radiation onto the gross collector area during the measuring period. To assure accurate determinations of instantaneous efficiency, measurements must exclude the effects of thermal capacity in the collector.

4.14 Integrity of Construction

Those physical and mechanical properties of the solar collector which collectively are responsible for the overall thermal performance and physical structure of the solar collector.

4.15 Pyranometer

A radiometer used to measure the total solar radiation (direct, diffuse, and reflected) incident on a surface per unit time per unit area.

4.16 Reflector or Reflective Surface

A surface intended for the primary function of reflecting radiant energy.

4.17 Solar Collector

A solar collector is a device designed to absorb incident solar radiation, to convert it to thermal energy, and to transfer the thermal energy to a fluid passing in contact with it.

4.18 Time Constant

The time constant is the time required for the fluid leaving a solar collector to attain 63.2 percent of its steady state value following a step change in insolation or inlet fluid temperature.

4.19 Transfer Fluid

The transfer fluid is a medium such as air, water, or other fluid which passes through or in contact with the solar collector and carries the thermal energy away from the collector.

4.20 Transparent Frontal Area

The transparent frontal area is the projected area of that part of the collector designed to transmit incident solar energy to the interior of the collector.

5.0 REQUIREMENTS FOR COLLECTOR DOCUMENTATION

To provide a permanent record of the configuration, dimensions, and other specifications; to identify materials used in the collector; to verify structural characteristics not tested at FSEC; and to aid in engineering evaluation, the organization submitting a collector for testing shall furnish the following:

5.1 Provision for Component Inspection

Collectors submitted for test shall have provisions for physical inspection of internal components to determine the effects of testing. The modifications required to accomplish this end shall not alter the normal function of the collector.

5.2 Drawings

Drawings shall be submitted showing sufficient detail to accurately represent:

- a. Aperture cover plate dimensions and mounting detail.
- b. Absorber plate dimensions including thickness, location and spacing of fluid flow paths; cross-section dimensions and shape of flow channels; tube wall thickness; and plate-to-tube heat transfer provisions.
- c. Collector enclosure dimensions, provisions for attaching absorber and cover plate, and size and location of holes.
- d. Concentrator type, a cross-sectional view, dimensions, and the mounting detail.
- e. Collector assembly detail specifying fasteners and other attachment methods and indicating overall dimensions.
- f. An exploded view of the solar collector on 8½" x 11" paper (See Figure 1 for an example).

5.3 Materials

A document shall be included identifying component materials by commercial designations or composition. Upon request, properties relating to thermal, flame spread, electrical or optical characteristics, as specified by the supplier, shall be furnished. Such identification is required for materials used in:

- a. Cover plates or absorber cover;
- b. Absorber plate;
- c. Absorber coatings;
- d. Reflectors or lenses;
- e. Collector enclosure;
- f. Insulation;
- g. Caulking, sealants, and gaskets;
- h. Thermal and mechanical bonds, including the bonding of reflecting materials that are not the same material as the reflector backing;
- i. Trim, retaining strips, mounting brackets or other hardware;
- j. Connecting hoses;
- k. Control system sensors, and
- l. Reflector mounting frame.

5.4 Specifications

A document shall be furnished detailing the following collector specifications:

- a. Collector weight.
- b. Recommended maximum operating pressure.
- c. Flow rate maximum, minimum and test flow rate. If no test flow rate is specified, the flow rate

recommended by ASHRAE 93-77 (0.02 kg/s · m²) will be used.

- d. The following properties of the heat transfer fluid used if other than water:
 1. Specific heat,
 2. Density,
 3. Service temperature range,
 4. Freezing point,
 5. Boiling point,
 6. Flash point,
 7. Vapor pressure over service temperature range,
 8. Auto ignition temperature, and
 9. Viscosity over service temperature range.
- e. Normal fluid operating temperature range.
- f. Special mounting or handling instructions.
- g. Electrical requirements for tracking control and drive mechanisms.

5.5 Structural Requirements

A written statement shall be provided with the signature and seal of a registered professional engineer certifying structural integrity in the following category.

5.5.1 Collector Unit Strength

A statement shall be provided from a registered professional engineer giving the maximum wind load the collector will sustain without damage to the cover plate, absorber cover, or concentrator material or their mountings without the cover plate material coming in contact with the absorber plate. Wind load should be given in pounds per square foot (psf).

Structural integrity of the entire collector under wind load conditions is related to mounting provisions and therefore is not addressed in this standard. In determining structural strength of a collector, the collector may be considered as a unit to integrate the strengths of the enclosure, rigid insulation (if used), reflectors, absorber plate, cover plate, and mounting provisions.

6.0 COLLECTOR STANDARDS

The following standards of construction and use of material are required and apply to the collector both prior to and subsequent to testing. A collector not meeting these standards cannot bear the Florida Solar Energy Center label of certification.

6.1 Cover Plate, Absorber Cover

All glass cover plates must be either double-strength or tempered.

6.2 Collector Assembly

6.2.1 Identification Plate

Each collector shall bear a permanent identification plate with the following information:

- a. Manufacturer's name,
- b. Manufacturer's address,
- c. Manufacturer's model number,
- d. Maximum operating pressure, PSIG, and
- e. Voltage and current requirements of integral controls or motors.

6.2.2 Access to Components

Collector components requiring routine maintenance or periodic repair or replacements shall be readily

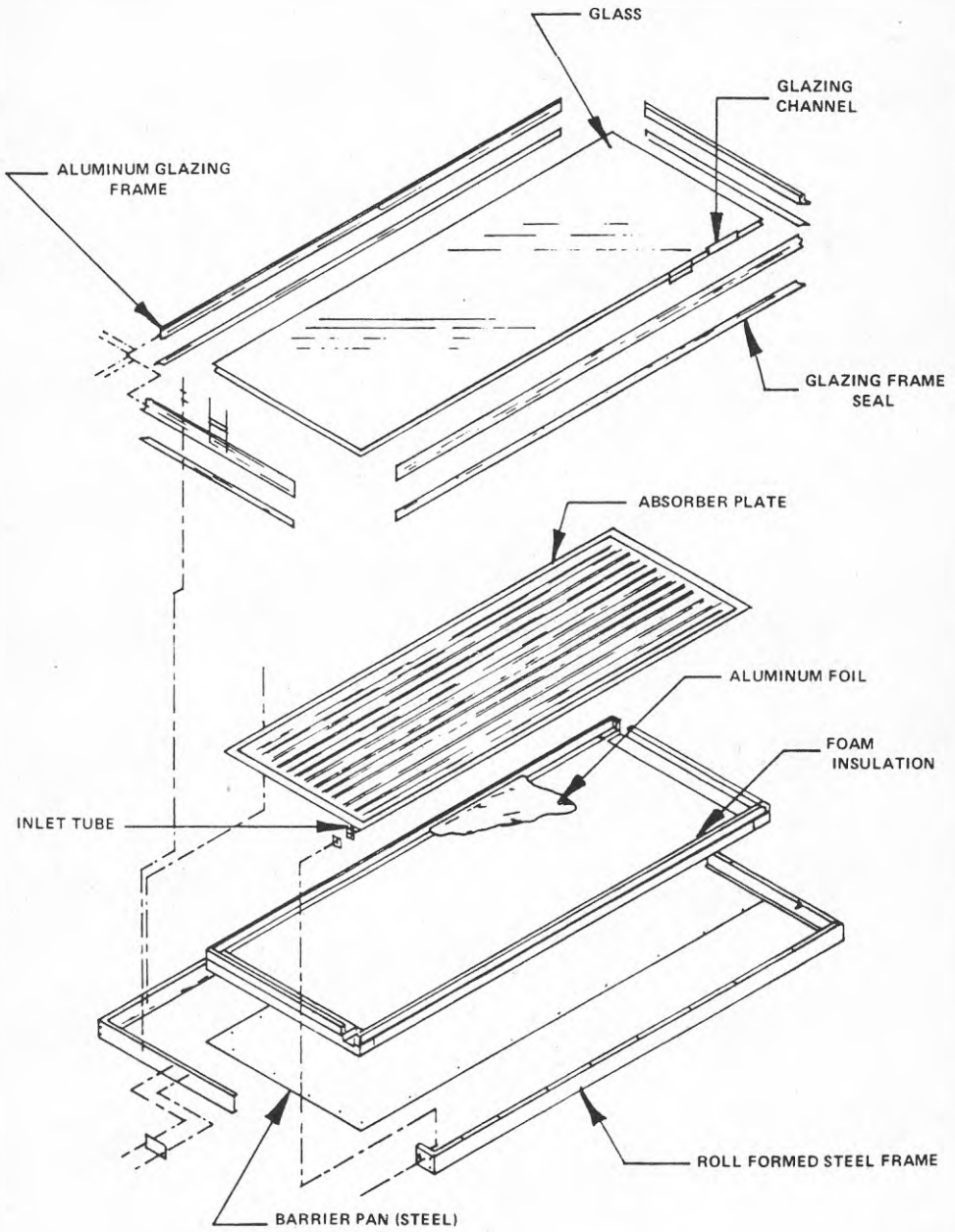


FIGURE 1
EXPLODED VIEW OF SOLAR COLLECTOR

accessible by use of standard hand tools and without major disassembly of the collector.

6.2.3 Condensation

The collector shall be designed to prevent condensate buildup. The use of desiccants to control condensation will be permitted.

6.2.4 Openings

All openings in the collector enclosure shall be protected to prevent entry of insects and vermin.

7.0 TEST METHODS

Compliance with minimum standards of durability, safety and general quality of construction will be determined before and after a test sequence that includes:

- a. Receiving inspection.
- b. Static pressure test.
- c. Pre-conditioning exposure test.
- d. Collector time constant determination test.
- e. Thermal performance test.
- f. Incident angle modifier determination test.
- g. Thirty-day exposure test.
- h. Thermal performance recheck.
- i. Final inspection.

7.1 Receiving Inspection

7.1.1 Compliance of Documentation

Upon receiving a collector for tests, the test engineer will inspect it for compliance to drawings and specifications called for in Section 5.0.

The engineer also will verify receipt of required engineering certifications.

Testing for certification will not be conducted without complete documentation and required engineering certifications.

7.1.2 Compliance to Minimum Quality Standards

The test engineer will verify compliance of the collector to Collector Standards, Section 6.0.

7.2 Static Pressure Test

A static pressure test shall be conducted prior to performance testing as follows:

7.2.1 Definitions and Scope

7.2.1.1 Types of Collectors

- a. Street pressure solar collectors — Collectors which, by virtue of their installation in a municipal water system, will be directly subjected to variations in street water pressure and hot water tank pressure.
- b. Low pressure domestic hot water (DHW) and swimming pool solar collectors — Collectors which, by virtue of their installation, will not have a direct fluid interchange with an auxiliary heater or street water pressure. Heat transfer from such collectors to the domestic water system would be accomplished by use of an appropriate heat exchanger.
- c. Hybrid and alternate fluid solar collectors —

Collectors which, by virtue of design, are not intended to have a direct fluid connection to a DHW system. Such units may or may not be designed to accept street pressure.

7.2.1.2 Basis of Test Pressure

- a. The test pressure will be 1.2 (10⁶) Pascals (160 PSIG) for street pressure collectors, based on:
 1. Two times the allowable street gauge pressure, (80 PSIG) in a dwelling (SBCC, Standard Plumbing Code, Sec. 1213.9).
 2. The test pressure exceeding the required P-T valve relief setting on approved hot water tanks, which is 150 PSIG.
- b. Collectors specified for positive operating pressure less than street pressure (80 PSIG) will be pressure-tested at two times the manufacturer's rated operating gauge pressure, but a minimum of 2.7 (10⁵) Pascals (25 PSIG).
- c. Collectors specified for operating pressures greater than 80 PSIG will be pressure-tested at 1.5 times manufacturer's rated operating gauge pressure or 160 PSIG, whichever is greater.
- d. Collectors specified for operation at atmosphere pressure or below will be pressure-tested at the discretion of FSEC test director, but at no greater than 2.7 (10⁵) Pascals (25 PSIG).
- e. Determination of test pressure will be based on documentation supplied with collector and markings referenced in Section 6.2.1.

7.2.1.3 Method of Testing

- a. A pressure gauge will be attached to read pressure at the exit port of the collector, the collector completely filled with unheated water, and the exit port closed off.
- b. Hydraulic pressure will be applied via the inlet port until the gauge indicates the test pressure.
- c. After gauge readings have stabilized, pressure will be maintained for 15 minutes.
- d. Unit tested will be considered passable if:
 1. A loss of pressure in the system does not occur.
 2. There is no evidence of fluid leakage.
 3. There is no evidence of fluid path deterioration (swelling, stretching, etc.)

7.2.1.4 Results of Test

Units that do not pass the static pressure test will not proceed through FSEC testing and will be denied FSEC certification.

7.3 Collector Pre-Test Conditioning

Collectors which have met the requirements of Sections 7.1 and 7.2 shall be subject to pre-conditioning exposure to the environment.

7.3.1 Purpose

The purpose of this test is to expose the collector to radiation and weather conditions for a short period of time to age the unit in order that subsequent perfor-

mance testing will be more representative of its performance during actual operation.

7.3.2 Scope

This standard test method can be applied to any solar collectors that meet the requirements for thermal performance testing, ASHRAE 93-77.

7.3.3 Method of Testing

The unfilled collector shall be mounted securely to an exposure rack and exposed to direct sunlight and weather for a minimum of three cumulative days during which the mean incident solar radiation measured in the plane of the collector shall be 17000 kJ/m² · day (1500 Btu/ft² · day). The angle of exposure shall be such that the angle of solar incidence at solar noon is within 10° of the normal to the plane of the aperture.

7.4 Collector Time Constant

A time constant test will be conducted to determine the time required for the outlet fluid temperature to attain 63.2 percent of its steady state value following a step change in the input. This figure is used during the thermal performance test as the time period over which temperature and insolation data are integrated to obtain the computed efficiency values.

7.4.1 Procedures Adopted

The test method used will conform to the method described in the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Standard 93-77, "Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors".

7.5 Thermal Performance

A thermal performance test will be conducted on those collectors that have passed the requirements of Sections 7.1, 7.2, and 7.3 and for which the collector time constant has been determined.

7.5.1 Procedures Adopted

The test method used will conform to the method described in the ASHRAE Standard 93-77, "Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors", as modified by FSEC. The following modification to the ASHRAE method is allowed:

Only collectors using a liquid heat transfer medium will be tested at FSEC by this method.

7.5.2 Results

A test report will be prepared containing the "Data and Information to be Reported" (Table 2) specified in ASHRAE Standard 93-77. The principal result is a curve of collector thermal efficiency. See Figure 2 for example.

7.6 Collector Incident Angle Modifier Determination

The thermal performance curve for a collector is determined (Section 7.5) when the insolation incident on the collector is within 30 degrees of normal to the aperture of the collector. To predict collector performance over a wide range of conditions, tests will be conducted to determine the collector incident angle modifier. This is used to modify the efficiency curve (determined within 30 degrees of normal incidence) to account for changes in performance as a function of the sun's incident angle.

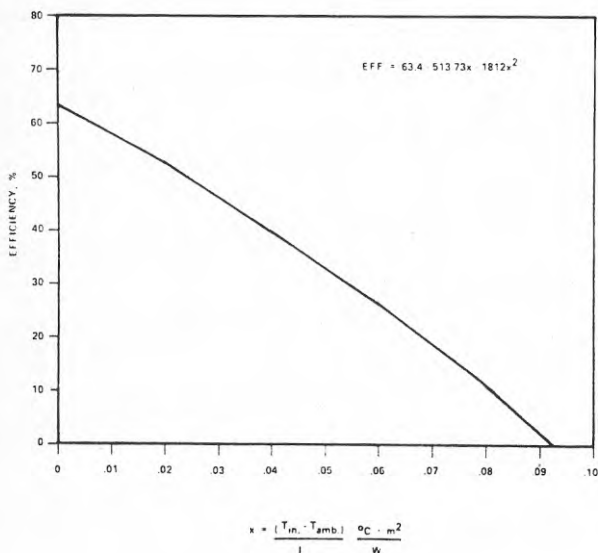


FIGURE 2
INSTANTANEOUS EFFICIENCY

7.6.1 Procedure Adopted

The test method used will conform to the method described in ASHRAE Standard 93-77, "Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors".

7.7 Exposure Test

7.7.1 Purpose

The purpose of this test is to verify collector thermal performance and integrity of construction after at least 30 days of exposure to adverse conditions.*

7.7.2 Scope

This standard test method can be applied to any solar collectors that meet the requirements for Thermal Performance Testing, ASHRAE Standard 93-77.

7.7.3 Pre-Exposure Preparation

1. *Liquid collectors intended for use in all systems (with or without draindown)* shall be filled completely with clean tap water, following which the inlet shall be sealed and the outlet provided with a pressure relief valve set to a value within 10 percent of the manufacturer's recommended maximum operating pressure.
2. *Liquid collectors limited to use in systems that draindown when not operating* shall be filled completely with clean tap water, following which the water shall be allowed to gravity-drain for 15 minutes with the collector mounted at a 45° tilt angle. The collector inlet then shall be sealed and the outlet provided with a pressure relief valve set to a value within 10 percent of the manufacturer's recommended operating pressure.

7.7.4 Exposure Conditions

Exposure conditions shall consist of 30 days of cumulative exposure to a minimum daily incident solar radiation flux of $17000 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ ($1500 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{day}$) as measured in the plane of the collector aperture. The exposure conditions shall include at least one consecutive four-hour period with a minimum flux of 950 W/m^2 ($300 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{hr}$). In water-filled specimens, this must occur after water boilout has occurred. The collector shall be mounted to a rack at a tilt angle such that the incident solar radiation during solar noon is within plus or minus 10° of the normal to the plane of the aperture.

7.7.5 Spray Test

The collector structure and performance should not be degraded by either thermal shock or moisture penetration caused by heavy rains falling on the heated collector.

During a five-minute period on three different days of the exposure test, the collector shall be subjected to heavy spray from above or in front of the collector.

Spray testing shall be conducted after at least one hour of direct sun (minimum 950 W/m^2 [$300 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{hr}$]) and within two hours of solar noon. These three spray tests shall be conducted during the last 10 days of the exposure test.

Water delivery shall be at a rate not less than 0.1 liter/min per square meter of collector ($0.0025 \text{ gal/min} \cdot \text{ft}^2$) with the spray pattern designed to wet the surface that would be wet during a normal rain shower.

7.7.6 Results

No components of the collector shall be replaced or repaired once the exposure test sequence has begun.

7.7.6.1 Test Termination

The test will be terminated if it is apparent, without collector disassembly, that the unit being tested no longer meets the quality requirements of Section 7.9.

7.7.6.2 Data Recorded

- a. Insolation level, ambient temperature, wind speed, and humidity on an hourly basis during all exposure testing.
- b. A regularly scheduled weekly visual inspection shall be made, and a record of changes in the physical construction appearance of the collector shall be kept.
- c. If a failure occurs as described by Section 7.7.6.1, time and reason for failure shall be recorded and the test terminated.

7.8 Thermal Performance Recheck

After completion of the exposure test, the collector thermal performance shall be rechecked to provide a quantitative determination of the extent of any degradation. The thermal performance test procedure outlined in Section 7.5 will be used.

7.8.1 Results

The efficiency curve calculated from the results of the performance recheck shall be compared with the pre-exposure-test efficiency curve.

7.8.2 Failure

The vertical-axis intercept and the slope of the pre-exposure and post-exposure first-order efficiency curves shall be compared. †

- a. If the performance recheck intercept is less than 90 percent of the pre-test intercept, degradation is excessive and the collector will not be certified by FSEC, or
- b. If the absolute value of the post-test slope is more than 110 percent of the absolute value of the pre-test slope, degradation is excessive, and the collector will not be certified by FSEC.

* There presently exist no correlations between real-time and accelerated aging; such correlations need to be established to properly quantify the results obtained from this short-term test.

† Concentrating collectors will be tested only to operating temperatures of about 175°C (350°F), and for this criterion the first-order curve for operation up to 175°C will be used.

7.9 Quality Check

7.9.1 Purpose

After exposure testing, a visual inspection of the collector should not show any impairment of function or evidence of degradation which could be expected in normal service to progress to the point of causing failure or significant impairment of function.

7.9.2 Bases for Quality Determination

Collector performance and structural integrity should not be degraded as a result of the exposure test. Whereas the principal means of determining degradation will be the Thermal Performance Recheck, Section 7.8, a visual inspection will be performed on all collectors that have been subjected to the exposure test to identify causes of performance failure or conditions that may lead to abnormally short collector life.

Evidence of the deterioration described below will be cause for denying FSEC certification.

7.9.2.1 Cover Plates and Absorber Covers

After exposure testing there shall be no clouding, cracking, crazing, warping or buckling of cover plate and absorber cover materials.

7.9.2.2 Absorber

After exposure testing, none of the following defects shall be apparent:

- a. Severe deformation* of the absorber.
- b. Severe deformation* of the fluid flow passages.
- c. Loss of bonding between fluid flow passages and absorber plate.
- d. Leakage from fluid flow passages or connections.
- e. Loss of mounting integrity.
- f. Evidence of severe corrosion* or other deterioration caused by chemical action (corrosive fluxes, volatiles from collector materials, salt spray, etc.).

7.9.2.3 Absorptive Coatings

After exposure testing, there shall be no evidence of checking, cracking, blistering, or flaking of the absorber coating.

7.9.2.4 Collector Enclosure

After exposure testing, there shall be no cracking or warping of the collector enclosure materials.

7.9.2.5 Reflective Surfaces

After exposure testing, there shall be no cracking, crazing or delamination of reflective surfaces.

7.9.2.6 Insulation

- a. After exposure tests there shall be no swelling or other detrimental changes in the collector insulation which adversely affect collector performance.
- b. There shall be no evidence that water is being retained in the insulation.

7.9.2.7 Gaskets, Caulking and Sealants

Gaskets and sealants shall not exhibit cracking, loss of elasticity or loss of adhesion.

7.9.2.8 Hoses

After exposure tests, there shall be no evidence of leakage or damage to hoses used inside the collector enclosure or leakage from mechanical connections.

8.0 STANDARD METHOD FOR THERMAL PERFORMANCE RATING

8.1 Purpose

To provide a uniform basis for comparing solar collectors sold in Florida by applying results of the thermal performance test to a set of representative operating conditions, a thermal performance rating will be assigned to collectors certified by FSEC.

8.2 Scope

This method is suitable only for rating collectors that utilize both direct and diffuse components of incident solar radiation and do not track or move during operation.

The thermal performance rating will be composed of three numbers, each one the calculated total daily thermal output of the collector at a different fixed average fluid temperature, under insolation and ambient temperature conditions defined as a "Standard Day" below. The rating is intended to be representative of performance under operating conditions encountered in Florida. Collectors may show different daily thermal outputs for environmental conditions other than those used for this standard rating method.

8.3 Conditions

8.3.1 Operating Temperature

A single set of environmental conditions will be used to provide an estimate of collector thermal output for the following three average fluid temperatures:

- a. Low temperature (LT); 35°C (95°F); representative of operating conditions for swimming pool heaters.
- b. Intermediate temperature (IT); 50°C (122°F); representative of operating conditions for domestic water heating.
- c. High temperature (HT)†; 100°C (212°F); representative of operating conditions for (suitably designed) absorption chillers.

* Deformation or corrosion shall be considered severe if it impairs the function of the collector or there is evidence that it will progress under operating conditions and lead to impairment of function.

† If there is no calculated output from a collector under a given operating temperature, the rating for that temperature will be given as "N/A" to signify that the collector is not applicable to operations at this temperature.

TABLE 1
INSOLATION AND AMBIENT TEMPERATURE FOR STANDARD DAY

Watts/m ²	Btu/ft ² · hr	Temp, °C
50	16	24
151	48	25
252	80	25
353	112	26
454	144	27
555	166	27
656	208	28
757	240	29
858	272	29
959	304	30
5,045 W · hr/m ²	1,600 Btu/ft ²	27 (AVG)

8.3.2 Standard Day

The following temperature and insolation conditions are used to represent one 10-hour period of collector operation called the "Standard Day".

- Ambient temperature will average 27°C (81°F) as distributed in Table 1.
- A different insolation will be assumed for each of 10 hours as shown in Table 1.

8.4 Equations and Definitions

Measured collector efficiency for normal incidence may be expressed by a second-order equation of the form,

$$\eta = a - bx - cx^2 \quad (8-1)$$

where a, b and c are computed constants for a given collector, and

$$x = \frac{t_{\text{avg}} - t_{\text{amb}}}{I} \quad (8-2)$$

in which t_{avg} is the average collector fluid temperature, t_{amb} is the ambient air temperature, and I is the total insolation measured in the plane of the collector.

* The efficiency plot in the test report is based on fluid inlet temperature instead of average temperature. This results in values for a, b, and c given with the plotted curve that are different from those used in the calculation of performance rating.

8.5 Calculations

Collector output of one hour may be estimated by

$$q = \eta I \quad (8-3)$$

where η is expressed by equation (8-1) above, and I is the total insolation during the hour.

The summation of hourly outputs gives the output for the Standard Day; that is, for the second-order efficiency curve,

$$Q_2 = \sum_{i=1}^{10} I_i (a - bx_i - cx_i^2) \quad (8-4)$$

8.6 Sample Calculation

An example of a representative collector efficiency curve would be

$$\eta = 0.634 - 5.14x - 18.12x^2 \quad (8-5)$$

For t_{avg} of 50°C (intermediate temperature operation)
 t_{amb} of 27°C, and I = 555 W/m²

$$x_6 = \frac{50 - 27}{555} = 0.041 \frac{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

Then, for the 10-hour Standard Day, the rating for intermediate temperature (IT) operation is developed as per Table 2.

TABLE 2
INTERMEDIATE TEMPERATURE COLLECTOR OUTPUT

Hour No.	I_i W/m ²	x_i	η	Output Kilojoules/m ² · hr
1	50	0.520	*	*
2	151	0.166	*	*
3	252	0.099	*	*
4	353	0.068	.20	250
5	454	0.051	.32	520
6	555	0.041	.39	780
7	656	0.034	.44	1040
8	757	0.028	.48	1310
9	858	0.024	.50	1540
10	959	0.021	.52	1800
DAILY	5,045 W · hr/m ²			7240 kJ/m ²

The collector area is 1.80 square meters (19.4 ft²). Thus the rating for intermediate temperature operation is

$$IT = 13,000 \text{ kJ (12,400 Btu).}$$

Similar computations for low and high temperature operation produce ratings for the same example collector:

$$LT = 18,000 \text{ kJ (17,700 Btu) and}$$

$$HT = 1,500 \text{ kJ (1,400 Btu).}$$

9.0 ACCEPTANCE OF TEST RESULTS FROM OTHER ORGANIZATIONS

A collector tested by an organization other than the Florida Solar Energy Center will be certified as meeting FSEC standards if the criteria of this section are met.

9.1 Nationally Certified Laboratories

Results of tests performed according to ASHRAE 93-77 by laboratories certified under the accreditation program of the Air-Conditioning and Refrigeration Institute (ARI) and the U.S. Energy Research and Development Administration (ERDA) will be accepted by the FSEC.

9.2 Laboratories Not Already Certified

Testing organizations not certified as described in 9.1 above must meet the following conditions:

9.2.1 Conflict of Interest

The testing organization or entity responsible for performing the tests shall not have pecuniary interest in the manufacture or sale of solar collectors.

9.2.2 Documentation From Testing Organizations

The testing organization shall provide the following:

- A diagram of the test configuration used, specification sheets on all measuring and recording equipment used and copies of the test procedures.
- A signed affirmation from a responsible

company official or a registered professional engineer that the testing methods used meet the standards set forth in Section 7.0 or describing any variations from the FSEC method. Variations from FSEC test procedures that do not materially affect results may be allowed. Determination of allowable variations will be made by FSEC Standards Committee after consideration of attending circumstances.

- Permission for FSEC personnel to visit the test facility and observe testing procedures.

9.3 Documentation on Collector and Test Results

The party (called the seller) requesting collector certification shall:

- Furnish complete drawings, specifications and engineering certifications for the collector tested, as required by Section 5.0.
- Submit to FSEC a copy of the complete test report.
- Furnish a statement signed and sealed by a registered professional engineer, that the collector tested has met all the requirements of Sections 6.0 and 7.9 (if these inspections have been performed).
- Sign the FSEC labeling agreement.

9.4 Method of Approval

If the testing organization has not been certified as des-

cribed in Section 9.1, materials submitted by the testing organization and the seller will be reviewed by FSEC Standards Committee for compliance with standards, then:

- a. Notification of the acceptance of test results will be transmitted to both parties, the seller, and the testing organization, or
- b. A determination of non-compliance or a requirement for additional supporting information will be transmitted to both parties, and a conference may be required before final acceptance or rejection is determined.
- c. The basis for rejection of test results will be
 1. Determination by FSEC that the test methods used do not produce a valid result within the requirements and intent of Section 7.0. Such determination will be backed by a written explanation.
 2. Determination by FSEC that the results submitted do not represent adequately the true performance of the collector. Such determination will be backed by a written explanation.
3. Incomplete documentation of the test methods and equipment, the test results or the collector specifications.
- d. The seller may request a test by FSEC to verify the conclusions of c(2) above. If the test confirms the results submitted by the seller, the seller will not be charged for the test.

9.5 Partial Test Results

If partial test results are submitted (e.g., an initial pre-conditioning, time constant, performance and incident angle modifier tests but no exposure test) those partial test results may be accepted by FSEC if the conditions above are satisfied. The remaining tests required for full compliance with certification requirements may be performed by FSEC upon agreement with the seller and upon receipt of applicable testing fee.

This document was promulgated at a cost of \$1,310.81, or \$1.31 per copy, to provide, as directed by the legislature of the State of Florida, an explanation of the Florida Solar Energy Center's solar collector testing and minimum standards program.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 790277-5 från
Statens råd för byggnadsforskning till Dynalog AB,
Saltsjöbaden.**

R117: 1979

ISBN 91-540-3106-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700017

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 30 kr exkl moms