



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.



Solvärmeväxlare och ytjordvärme

Utvärdering av en installation för
ett småhus i Östersund

Gösta Eléhn

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	81-1284
Plac	<i>ser</i>

*V.
ON*

R71:1981

SOLVÄRMEVÄXLARE OCH YTJORDVÄRME

Utvärdering av en installation för
ett småhus i Östersund

Gösta Eléhn

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
791402-6 från Statens råd för byggnadsforskning
till Grapenfelt Installationskonsult AB, Östersund.

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

R71:1981

ISBN 91-540-3522-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1981 153718

INNEHÅLL

FIGURFÖRTECKNING	5
SAMMANFATTNING	7
1 ORIENTERING	9
1.1 Problem	9
1.2 Teknisk lösning	9
1.3 Syftet med projektet	9
1.4 Tillämpningsobjekt	10
2 INSTALLATION	11
2.1 Solväxlare på tak	11
2.3 Driftsstrategier	11
3 MÄTPROGRAM	13
3.1 Syftet	13
3.2 Utrustning	13
3.3 Mätnoggrannhet	13
3.4 Mätningarnas genomförande	14
3.5 Märutiner	15
4 DRIFTSERFARENHETER UNDER 1980	17
5 UTVÄRDERING	19
5.1 Förutsättningar för beräkningarna	19
5.2 Utvärderingsmetod	19
5.3 Temperaturer	19
5.4 Solinstrålning	20
5.5 Energiutbyte	21
5.6 Värmefaktorn	22
5.7 Energibalans	23
5.8 Energiutbyte från snötäckt solväxlare	23
5.9 Slutsatser av mätningarna	24
6 KOSTNADSBEDÖMNING	25
6.1 Förenklad installation	25
6.2 Anläggningskostnad	26

BILAGA 1	Kontrollberäkningar av energi- utbytet från solväxlaren	27
BILAGA 2	Kontroll av energimätningar	29
FIGURER	1-17	31
LITTERATUR	45

Figurförteckning

- Figur 1 Installation av solväxlare
- Figur 2 Kopplingsschema
- Figur 3 Driftsfall med styrvillkor
- Figur 4 Mätprogram
- Figur 5 Solinstrålning
- Figur 6 Temperaturer i luft och jord
- Figur 7 Uppmätta temperaturer några dagar i juni 1980
- Figur 8 Uppmätta temperaturer några dagar i augusti 1980
- Figur 9 Uppmätta temperaturer några dagar i september 1980
- Figur 10 Uppmätta temperaturer några dagar i oktober 1980
- Figur 11 Övertemperaturen under tak utan solväxlare i förhållande till uteluften
Dagmedelvärden juli-augusti 1979
- Figur 12 Solväxlarens verkningsgrad
- Figur 13 Solväxlarens verkningsgrad som funktion av temperaturdifferensen över solväxlaren
- Figur -14 Temperaturdifferensen mellan tak och rören i solväxlaren som funktion av utelufttemperaturen i skugga kl. 08.00-18.00
- Figur 15 Energibalanser för månaderna juni, september och oktober 1980.
- Figur 16 Tillförda energimängder till värmepumpen och värmefaktorns variation månadsvis 1980
- Figur 17 Jämförelse av elenergi och värmefaktor för värmepumpen 1978 och 1980
- Figur 18 Solväxlare och ytjordvärmepump - förenklad installation

SAMMANFATTNING

Under våren 1980 installerades en solväxlare under tegelpannorna på ett garagetak på Frösön. Solväxlaren täcker 30m^2 av takfallet mot söder och består av 49 st parallellkopplade slangar lagda på takpappen. Anläggningen är ansluten till en ytjordvärmepump å 10 kW. På tomten finns en jordslinga på 470 m. Avsikten är att utröna huruvida solväxlaren är en lämplig installation för att på ett enkelt sätt förbättra värmepumpens värmefaktor och forcera laddningen av jordslingan d.v.s. marklagret. Därigenom kan elförbrukningen och det erforderliga marklagret minskas.

Mätningar av solinstrålning samt temperaturer och energiflöden i olika kretsar i anläggningen har pågått från juni till och med oktober 1980. Utgående från skivvarrens och kontrollavläsningar av instrumenten har en manuell utvärdering gjorts av varje parameter, vilket redovisas i rapporten.

Mätningarna har utförts under relativt kort period. Några långtgående slutledningar av mätresultaten kan ej göras. Resultaten pekar dock mot att solväxlaren å 30m^2 kan insamla 120-160 kWh/m² år som nyttiggöres antingen genom laddning av marklagret eller direkt i värmepumpen. Detta motsvarar 10-20% av den energimängd som värmepumpen normalt tar ur marklagret per år. Marklagrets storlek bör kunna minskas i motsvarande grad, d v s med 50-100 m slang eller 50-100 m² markyta.

I förhållande till sommaren 1978 har medelvärmefaktorn höjts från 2,1 till 2,6. Årsvärmefaktorn 1978 var 2,18. Någon bestämd uppskattning av årsvärmefaktorn efter installationen av solväxlaren kan ännu ej göras. Skulle årsvärmefaktorn höjas från 2,18 till 2,5 skulle det innebära 15% reduktion av elförbrukningen per år.

Jämförelser mellan insamlad solenergi, solinstrålning och temperaturdifferensen över solväxlaren visar att solväxlaren fungerar som en luftvärmväxlare snarare än som en solfångare. Den tar värme ur luften som cirkulera under takpannorna. Värmeöverföringen genom teglet är dålig, vilket innebär att solväxlaren reagerar trögt vid ökad solinstrålning men följer väl förändringar i lufttemperaturen. Att den insamlade mängden solenergi blir relativt stor beror främst på att solväxlaren reagerar även på små temperaturdifferenser 1-2°C och arbetar vid låga temperaturer- från några minusgrader upp till + 20°C.

Mätresultaten indikerar att en enkel solväxlare kopplad till en ytjordvärmepump kan användas för att reducera det erforderliga marklagret till värmepumpen och minska elförbrukningen. Utbytet av solväxlaren skulle kunna förbättras om rökslingor lades på eller under ett plåttak.

Erfarenheterna från driften är goda. Anläggningens utformning kan dock förenklas, vilket är en nödvändighet om solväxlare skall kunna installeras allmänt i större omfattning.

I rapporten beskrivs en förenklad utformning av solväxlaren som kan utföras på plats av en normalkunnig VVS-installatör. Framst kan styrsystemet reduceras i förhållande till den utförda experimentanläggningen. Anläggningskostnaden för en massproducerad solväxlare 30 m² uppskattas till högst 500:- per m². Det ger en specifik kostnad på 3-4 kr per inbesparad kWh och år, vilket är i nivå med energisparkostnaden för en ytjordvärmepump men lägre än för en solfångaranläggning för varmvattenberedning till en villa.

1. ORIENTERING

1.1 Problem

Ytjordvärmepumpar kräver stora marklager. För en normal villa krävs mellan 300-600 m² beroende på värmepumpens kapacitet och var i Sverige anläggningen är belägen. Det är inte på alla villatomter som det är önskvärt eller möjligt att disponera en så stor yta för ett marklager. Även om man har ett stort lager kan temperaturen på brinekretsen^{1/}från lagret pendla från ca + 14° c sommartid till ca - 3° på vintervintern då lagret är urladdat. Låg temperatur på brinekretsen innebär låg förångningstemperatur och därmed låg värmefaktor för värmepumpen. I befintliga anläggningar ligger årsvärmefaktorn mellan 2.0 - 2.4. Om förångningstemperaturen höjs, minskar värmepumpens temperatursteg vid en given kondenseringstemperatur. Därigenom förbättras värmepumpens värmefaktor, d v s kvoten mellan avgiven värmeeffekt och insatt eleffekt ökar.

Problem med ringa plats för erforderliga lager och låga värmefaktorer finns i befintliga anläggningar. Problemet kan även uppstå i nya anläggningar.

1.2 Teknisk lösning

I en befintlig anläggning med värmepump och marklager kan inte uttaget från marklagret ökas, då dess volym och värmekapacitet per m³ är given. Uttaget ökas om laddningen av marklagret forceras. Det kan ske med hjälp av en solväxlare kopplad i serie med värmepumpen och marklagret. Tekniken att installera en solväxlare är enkel. Den kan bestå av ett rörgitter under takbeklädnaden- främst på takytor som kan bli solbelysta.

Praktiska problem med utförandet uppstår främst vid installation av solväxlare på befintliga tak med t ex tegel. Om teglet skall behållas kan det vara svårt att få plats med en stor värmeupptagande yta per m² tak och med grova fördelningsrör under tegelpannorna.

På grund av teglets låga värmeledningsförmåga fungerar tegelpannorna inte som flänsar för de värmeupptagande rören. Verkningsgraden blir därför låg. Stora öppna och solbelysta takytor krävs för att erhålla önskvärd mängd lågenergi. Ytorna vilka är svåra att finna på befintliga tak med tanke på hinder som skorstenar och takkupor samt att takens orientering redan är given.

1.3 Syftet med projektet

Syftet med projektet var att installera en enkel solväxlare av egen konstruktion i anslutning till en befintlig värmepump och att utvärdera anläggningen med avseende på:

1/ Glykol- vattenblandning som cirkulerar i jordslingan och värmepumpens förångare

- anläggningens funktionssätt
- energibalans
- solväxlarens effektivitet

1.4 Tillämpningsobjekt

För uppvärmning av en villa med uthus på Frösön är en ytjordvärmepump installerad av typ AGA-THERMIA JBC 400 med 470 m slang. Anläggningen har varit i drift sedan juni 1977. Förbrukningen av elenergi uppgick under 1978 till ca 21.000 kWh. Räknat på en total energiförbrukning för husen av ca 44.000 kWh blir årsvärme-faktorn 2,1. Den varierar över året mellan 2,0 och 2,2.

Förbrukningen av högvärdig el för drift av anläggningen är otillfredställande hög. Det vore önskvärt att minska elförbrukningen och öka andelen lågenergi. I dag erhålles bara lågenergi från jordmagasinet.

I mars 1980 byttes värmepumpsaggregatet ut mot en modernare version av JBC 400. På taket till garaget installerades samtidigt en solväxlare vilken kopplades till jordvärmepumpen i samma byggnad. Inkopplingen gjordes så att den insamlade solenergin kan utnyttjas på två sätt:

- förhöjning av förångningstemperatur om solväxlaren och värmepumpen går i serie
- forcerad laddning av marklager om värmen från solväxlaren ledes till marklagret

2. INSTALLATION

2.1 Solväxlare på tak

De tillgängliga, solbelysta takytorna mäter 10 m^2 (effektiv yta) åt sydväst och 20 m^2 åt sydost. Taket lutar 30° mot horisontalplanet. Beklädnaden består av enkupigt tegel på papp. (Figur 1).

Solväxlaren är av egen konstruktion för att få högsta möjliga anpassning till taket och den befintliga värmepumpsanläggningen. Under takpannorna är fäst ett gitter av horisontella polypropylenrör $\varnothing 12 \times 12 \text{ c/c}$ 50 anslutna till fördelningsrör vid vardera kortsidan av taket. Den totala rörlängden är 49 rör $\times 14,2 \text{ m} = 700 \text{ m}$.

2.2 Inkoppling av solväxlare

Kopplingsschema framgår av figur 2.

Den befintliga installationen bestod av:

- värmepump, typ AGA-Thermia JBC 400
- cirkulationspumpar för brinekrets (CP1) och radiatorkrets
- styrutrustning för värmepumpen och cirkulationspumparna
- markslinga 470 m PEL-rör 40/32
- värmemängdsmätare för brinekrets och radiatorkrets

Anläggningen har kompletterats med:

- anslutning av solväxlare med PEL-rör 40/32 och expansionskärl
- cirkulationspump
- två värmemängdsmätare Q_1 och Q_2
- en trevägs reglerventil för temperaturreglering till förångaren
- tre magnetventiler för styrning av flödet mellan kretsarna
- tre avstängningsventiler för de olika kretsarna
- temperaturgivare för styrning och reglering

2.3 Driftsstrategier

Fyra driftsfall kan särskiljas (Figur 3)

1. Värme från solväxlaren ledes till värmepumpens förångare om solväxlaren ger högre temperatur än marklagret. Detta är tänkt som normalfallet för att i första hand höja förångningstemperaturen.
2. Temperaturen till förångaren bör inte överstiga $+15^\circ \text{C}$. Om temperaturen från solväxlaren blir högre ledes solvärmens via marklagret till förångaren. Marklagret laddas och temperaturen på flödet från solväxlaren sänkes.
3. Värmepumpen är avslagen när inget värmebehov föreligger. Värme från solväxlaren lagras i marken.

4. Solväxlaren kan inte leverera någon värme. All lågenergi till förångaren tages ur marken.

För att klara driftsfallen skall följande villkor uppfyllas:

- A. Cirkulationspumpen för solväxlaren (CP2) startar när temperaturen under takpannorna är högre än temperaturen från förångaren ($T_2 > T_3$) samtidigt öppnar MV1 och MV2 stänger (Driftsfall 2 och 3)
- B. Trevägsventilen reglerar på temperaturen till förångaren så att $T_5 < 15^\circ$. Porten mot marklagret öppnar succesivt när T_5 överstiger 15° . I normalläget är ventilen öppen mot förångaren (Driftsfall 1).
- C. När temperaturen på vattnet från solväxlaren (T_4) är lägre än T_3 stoppas CP2 samt MV1 och MV2 växlar läge (Driftsfall 4).
- D. När värmepumpen står och solväxlaren kan leverera värme till marken ($T_4 > T_6$) öppnar MV3 och trevägsventilen styr flödet mot marklagret (Driftsfall 3).

3. MÄTPROGRAM

3.1 Syftet

Syftet med mätningarna har varit att registrerar

- a) solinstrålning mot taket
- b) energimängder i de olika kretsarna
- c) drifttider för cirkulationspumparna
- d) temperaturer i luften, under tak, i de olika kretsarna och i jorden.

Parametrarna presenteras i figur 4.

3.2 Utrustning

Mätningarna har utförts med:

- a) solstrålningsmätare av typ Solar Sensor SS-100 med en kisel-solcell, som ger en utsignal av 0-100 mV vid 0-1000 W/m² till ett integreringsverk, som i sin tur ger 1 puls/10Wh till ett räkneverk.
- b) värmemängdsmätare
 - . 2 befintliga av fabrikat Svensk Värmemängdsmätning för värme till förångaren (Q₃) och till radiatorkretsen (Q₄) med dykgivare och integreringsverk.
 - . två nya av fabrikat Armatör Jonsson för värme från solväxlare (Q₁) och jord (Q₂) bestående av:
 - flödesmätare av kallvattentyp 5 m³, max 40°C, med våtlöpande vinghjulsmätare och inbyggd pulsgivare 10 pulser/100 l
 - 2 temperaturgivare PT 100 i dykrör av stål
 - elektroniskt integreringsverk med rull-sifferverk för 10 kWh och 10 l. Arbetsområde 0-100°C. Temperaturdifferens 0,4-30 °C. Kompenserad för glykolens värmekapacitet
- c) Driftstidur, som indikerar 0,1-1000 timmar
- d) temperaturgivare PT 100 applicerade på en norrvägg (T₁), på takpappen under takteglet (T₂), på köldbärarrör under isolering (T₃-T₄) samt i en sond i jorden på 1 meters djup (T₅)
- e) skrivare för automatisk registrering
 - . 10-kanalig händelseskrivare (1 streck/puls) för solinstrålning och värmemängder
 - . punktskrivare för temperaturregistrering

3.3 Mätnoggrannhet

Solinstrålning

+20 W/m² eller 2-10% i förhållande till en pyranometer (SMHI:s gängse mätare)

Värmemängdsmätare

Flödesmätarna har vid kalibrering i mätarverkstad visat ett fel av högst $-1,3$ till $+0,7\%$. Den normala toleransen i verkstad är $\pm 2\%$ och i fält $\pm 5\%$.

Integreringsverkens tolerans inkl. temperaturgivare ökar vid minskande temperaturdifferens från $0,5\%$ vid $\Delta T = 30^\circ$ och 5% vid 2° till 10% vid 1°

Det totala mätfelet blir alltså högst $\pm 15\%$ vid $\Delta T = 1^\circ$

Temperaturgivarna

Givarna i sig visar högst $\pm 0,5^\circ\text{C}$ fel, men påverkan från rumstemperaturen ($0-25^\circ\text{C}$ över flödestemperaturerna) och den grova upplösningen på skrivarpapperet och visarinstrumentet gör att det totala felet blir -1 till $+2^\circ\text{C}$. Orsaken är främst att anläggningsgivare måste användas p g a utrymmesbrist.

3.4 Mätningarnas genomförande

Mätningarna har utförts i 5 månaders tid under den ljusa delen av 1980. I början av juli var anläggningen intrimmad så att mätningarna kunde starta med undantag av några få parametrar. Mätningarna pågick sedan till och med oktober. De två sista veckorna var taket snötäckt. Kontinuiteten har varit god för alla parametrar utom energimängderna Q_2 , Q_3 och Q_4 . Se tabell 3.1 och anmärkningar till tabellen

Parameter	juni	juli	aug.	sept.	okt.
Solinstrålning	—————				
Q_1 från sol	—————				
Q_2 från jord	----- 1/ -----				
Q_3 till vp	—————	—————	2/H	—————	—————
Q_4 från vp	----- 3/ -----				
Q_5 el till vp	—————				
T_1 i luft	—————	—————		—————	—————
T_2 undertak	—————	—————		—————	—————
T_3 från vp	—————	—————		—————	—————
T_4 från sol	—————	—————		—————	—————
T_5 till vp	—————	—————		—————	—————
T_6 i jord	—————	—————		—————	—————
CP1 - tid				—————	—————
CP2 - tid					—————

Tabell 3.1 Mätperiodens omfattning för varje parameter.

Anmärkningar till tabell 3:1

- 1) Energimätaren Q_2 har visat för låga värden under hela mätperioden p.g.a. fel i kontaktöverföringen i flödesmätaren och till att börja med fel placering av temperaturgivaren på flödet från jord-slingan. Kontrollberäkningar redovisas i bilaga 2.
- 2) Värmepumpen har varit avstängd under semestern. Under övriga avbrott har pulsöverföringen varit defekt på mätare Q_3 .
- 3) Energimätaren Q_4 har visat för lågt värde under hela mätperioden som framgår av kontrollerna i bilaga 2. Antingen går vinghjulet för långsamt eller också är pulsöverföringen defekt. Felet har ej åtgärdats. Störningar i driften har velat undvikas. Parametern Q_4 kan avvaras då den ej är av primärt värde för helhetsbilden. Den skulle mest tjäna vid kontrollberäkning av värmefaktorn.

3.5 Mätrutiner

Dagligen har solstrålnings- och energimängdsmätare avlästs med undantag av perioder då husägaren varit bortrest. Företrädesvis har avläsningarna gjorts på kvällstid.

En gång per vecka har någon av de driftsansvariga läst av temperaturer, kontrollerat skrivarna, eventuellt bytt papper och gjort kontroller av rimligheten för de uppmätta energiflödena per vecka. Eventuella fel har åtgärdats.

Mätningarna avbröts i början av november 1980 för sammanställning av resultaten och revision av värmemängdsmätarna Q_1 och Q_2 .

4. DRIFTSERFARENHETER UNDER 1980

I samband med att värmepumpsaggregatet byttes i mars 1980 påbörjades installationerna av den kompletterande utrustningen. Apparatrummet är mycket trångt så installationerna var svåra att utföra. Det fanns ingen plats att applicera dykgivare för temperaturmätning, utan anläggningsgivare anbringades på ledningarna. Intrimningen av anläggningen drog ut på tiden. Läckage i solväxlaren tätades. Temperaturgivare och flödesmätare byttes.

Solväxlaren och temperaturmätningarna kunde startas i början av juni, men styrningen av värmepumpen fungerade ej tillfredsställande. Tillsatsvärmen kunde slå till utan orsak.

Under semestern i juli stod anläggningen utan tillsyn, Något värmebehov förelåg ej.

Under augusti justerades värmepumpen och driftstidmätare installerades på cirkulationspumparna. Först i detta läge kunde mätningar göras för merparten av parametrarna, förutom drifttiden för solväxlarepumpen CP2 och värmemängden från jordslingan Q_2 . Driftstiduret visade sig vara defekt och temperaturgivaren som satt utanpå ledningen till jordslingan visade ej tillförlitliga värden. Mot slutet av september var drifttidmätaren bytt. Anläggningsgivaren för Q_2 byttes mot en dykgivare som placerades omedelbart före nedgången i mark. Dessförinnan skedde registrering av flödet med vattenmätaren för Q_2 och uppskattning av temperaturdifferensen över slingan. Även detta gav ett orimligt lågt värde på energimängden Q_2 . Efter avslutade mätningar konstaterades att kontaktöverföringen från flödesmätarens vinghjul till pulsräknaren var defekt.

Erfarenheterna av driften kan sammanfattas i följande punkter:

Installationen skall om möjligt disponeras så att den blir överskådlig och plats gives för att placera temperaturgivare på representativa platser.

Temperaturgivarna skall sitta i dykrör för att tillförlitliga värden skall erhållas.

Flödesmätarna kan vara av kallvattentyp men måste ha en kapacitet väl anpassad till aktuellt flöde.

Värmemängdsmätarnas integreringsverk måste vara anpassade till temperaturdifferens av $1-2^{\circ}\text{C}$ inte $5-20^{\circ}\text{C}$ som är normalfallet. Integreringsverk skall kunna ge en noggrannhet av $\pm 5\%$ vid $\Delta T = 2^{\circ}\text{C}$.

Drifttidmätare på cirkulationspumpar är väsentliga för kontroll av uppmätta värmemängder

Installationen var tidskrävande att genomföra av följande skäl:

- 30 m² tegel måste plockas ned och läggas upp
- fördelningsrören i vardera kortsidan av solväxlaren måste göras på plats
- 700 m rör måste klamras fast i taket på varje meter
- apparatrummet är trångt, så placeringen av rör, ventiler och mätare blev komplicerad.

Läckage har uppstått endast en gång, då anslutningen av avtappningsventilen till ett fördelningsrör läckte.

Driftsfall 1 har sällan inträffat, då temperaturen på flödet från solväxlaren oftast varit lägre än jordtemperaturen samtidigt som värmepumpen gått. När det inträffat har värmebehovet varit lågt, varför driftsfallet har haft ringa betydelse för det totala energiutbytet.

Driftstrategin bör förenklas för att göra installationen och driften enklare och billigare. Antalet driftsvillkor bör inskränkas till

$T_2 > T_3$ som medger att CP2 startar och

$T_2 < T_3$ som stoppar CP2. Samtidigt skall MV1 och MV2

växla öppningsläge. När solväxlaren går skall den ladda marklagret. Förångaren tar alltid värme från marklagret. Detta motsvarar driftfall 2 och 4. Driftfall 1 och 3 är onödigt sofistikerade och ger troligen försumbar energibesparing vilket ej motiverar merkostnaden för installationen av två ventiler och en större reglercentral.

Mängden av mätdata är orimligt stor för att man skall kunna göra en manuell utvärdering av alla data. Endast data för vissa representativa dagar kan bearbetas manuellt. För att göra en mer omfattande bearbetning krävs tillgång till en datalogg med möjligheter att integrera enminutsvärden till timmedelvärden på temperaturerna samt tim- och dygnssummor för energimängderna.

5. UTVÄRDERING

5.1 Förutsättningar för beräkningarna

Eleffekter	
- Kompressor	3450 W
- Cirkulationspump CP1 i jordslinga	550 W
- Cirkulationspump CP2 i solslinga	110 W
- Cirkulationspump i radiatorkrets	40 W
	<hr/>
	4150 W

Pumpflöden

- CP1 + CP2	50 l/min = 3,0 m ³ /h
- CP2	20 l/min = 1,2 m ³ /h

Köldbärarens kapacitet (=brinens)

- 25% glykol i vatten har $C_p = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kg } ^\circ\text{C}$	
- kapacitet i solslinga	= 1,2 kW/ ^o C
- kapacitet i jord+solslinga	= 3 kW/ ^o C

5.2 Utvärderingsmetod

Insamlade mätdata har behandlats manuellt. Energiflödena per vecka har införts i tabeller och sammanställts månadsvis i diagramform. Temperaturerna har endast kunnat studerats för några representativa dagar per månad. Uppskattade tim-, dag- och månadsmedelvärden har åskådliggjorts i diagramform och legat till grund för analyserna.

5.3 Temperaturer

Se figur 6-10

 T_1

Utelufttemperaturen har under dagtid 1980 - se figur 6 - varit 1-2^oC högre än normalt i juni medan den legat under normaltemperaturerna från juli till oktober. Uppmätta temperaturer har jämförts med SMHI:s statistik för Frösön under normalår och 1980. Relativt god överensstämmelse har erhållits. Avståndet mellan solväxlaren och SMHI:s station på Frösön är högst 1 km.

 T_6

Temperaturen i jorden har varierat i takt med utelufttemperaturen enligt figur 6 med en tidsförskjutning på 0,5- 1 månad. Den högsta temperaturen +15 nåddes den 5 augusti. Temperaturen sjönk sedan raskt med ökat värmeuttæ till + 1^oC den 7 november.

T_2

Temperaturen under taket har följt utelufttemperaturen, dvs den har legat mellan 15-25°C. Sett över hela dagen har taktemperaturen varit 0-2°C över utelufttemperaturen sommartid. Den maximala övertemperaturen var +6°C kl 10 den 15 juni. Under hösten var taktemperaturen aldrig högre än utelufttemperaturen utan genomgående 0-1°C lägre.

T_4

Temperaturen på flödet från golvväxlaren har följt temperaturen under taket. Under mulna dagar under sommaren då inget värmeuttag skett har temperaturerna T_2 och T_4 varit lika. Då solväxlaren har levererat värme har T_4 varit lägre än T_2 .

En medelmolnig dag kunde den maximala temperaturdifferensen vara 4°C mitt på dagen och en solig dag 6-8°C kl 10 då värmeleveransen var som störst. Morgon och kväll har T_2 och T_4 varit lika. I oktober låg T_4 kontinuerligt mellan 1-3°C under T_2 morgon och kväll. Mitt på dagen då solväxlaren levererade värme var temperaturdifferensen utjämnad. Under tiden juli - augusti 1979 utfördes mätningar på utelufttemperaturen och temperaturen under tak innan solväxlaren installerades. Övertemperaturen under tak kunde uppgå till högst 15°C och stod i direkt proportion till antalet solskenstimmar per dag oberoende av utelufttemperaturen. Se figur 11.

T_3

Temperaturen från förångaren är beroende av temperaturen på flödet från solväxlaren samt värmeuttaget i marklagret och i förångaren. Under sommaren sjönk temperaturen 3°C från solväxlaren via marklagret och värmepumpen. Under hösten var differensen högst 1°C. Temperaturen på flödet genom solväxlaren ($T_4 - T_3$) steg med samma belopp.

T_5

Temperaturfallet över förångaren (T_5 och T_3) har varit ca 2°C när värmepumpen har varit idrift. Detta motsvarar en upptagen effekt av 6 kW. Förångarens kapacitet är ca 7 kW.

5.4 Solinstrålning

Den uppmätta solinstrålningen mot en lutande takyta har varierat enligt figur 5, mellan 2,9 kWh/m²d i juli och 0,4 i oktober. Då värdena verkar låga, har de jämförts med SMHI:s solstrålningsdata för F4, Frösön och för Stockholm (månadsmedelvärde).

Instrålning mot horisontell yta på F4 visar att värdena för 1980 ligger högst 10% (i augusti) under normalårets värden.

Kurvorna för Stockholm och Frösön vad gäller solinstrålning mot horisontell yta ett normalår visar små avvikelser. Kurva⁰ för solinstrålning i Stockholm mot lutande yta 15-30° kan därför vara representativ för solinstrålning mot mätobjektets takyta med lutningen 22°

Solväxlaren är placerad på takytor som vetter mot sydväst och sydost. Den är därför avskärmd från solinfall under stora delar av dygnet. I juni är den solbelyst 12 timmar mellan kl 06 och 18 medan den i oktober bara är exponerad för direktinstrålning 6 timmar mellan kl 09 och 15.

Den instrålade energimängden per dag har justerats med hänsyn till avskärmningen. Ändock visar det sig att den uppmätta solinstrålningen har varit onormalt låg.

Någon kalibrering av den installerade solinstrålningsmätaren har inte gjorts. I stället har i beräkningarna de uppmätta värden på solinstrålningen (kurva 4) korrikerats att ligga i nivå med kurva 5. (avskärmd hor.yta)

Uppmätta maximum- och minimumvärden på solinstrålningen per dag presenteras månadsvis i figur 12. Värdena utgör ibland medelvärden för ett antal dagar, som framgår av antalet observationer per månad.

5.5 Energiutbyte

Q₁

Solväxlarens energiutbyte i medeltal per månad har varierat mellan 0,64 augusti-oktober och 1,0 i juni räknat i kWh per m² och dag (figur 12-13). Energiutbytet har ej varit direkt proportionellt mot temperaturfallet över rörväggen och solinstrålningen. Solväxlarens s k verkningsgrad (kvoten energiutbyte/korrigerad solinstrålning) har dock ökat markant från 25% vid utelufttemperaturer över 12°C under sommaren till ca 50% vid temperaturer under +6°C under oktober. Temperaturfallet över rörväggen har då sjunkit från +4°C till -1°C räknat på månadsmedelvärdena. Räknat på hela sommarhalvåret blev den in samlade energimängden 113 kWh/m² vilket kan jämföras med normalvärdet för en ordinär solfångare ca 250 kWh/m² år. I förhållandet till solinstrålningen blir energiutbytet för solväxlaren ca 20%.

Värdena på Q₁ stämmer väl överens med ansatsserna i förstudien till projektet, vilken byggde på en energibalans över ett solväxlarrör under en genomsnittlig dag på sommarhalvåret. De uppmätta värdena på Q₁ kan även jämföras med beräkningar av energiflödet in och utur växlaren utgående från uppmätta temperaturdifferenser över växlaren

Kontrollberäkningen i bilaga 1 visar att de uppmätta värdena stämmer väl med beräkningarna på energiflödet ur växlaren medan överensstämmelsen är dålig vad gäller energiflödet in i växlaren.

Drifttider

CP1, cirkulationspumpen till förångaren har gått samtidigt med värmepumpen. Mätningarna har indikerat att gångtiden för CP1 varit som lägst 11 minuter per timme i juni medan den gått 30 minuter per timme under oktober, då värmepumpen har slagit till fyra gånger per timma.

CP2 i solslingan har uppskattningsvis gått halva den solbelysta tiden per dag - från 3 timmar i medeltal per dag i oktober till ca 6 timmar per dag i juni. Mätningen av drifftiden har endast gjorts i oktober.

Q_2 och Q_4

Några analyser har ej kunnat göras p g a att mätningarna ej varit tillförlitliga. Se kontrollberäkningar i bilaga 2.

Q_3 och Q_5

Se figur 16 och 17

Förbrukningen av lågenergi till förångaren Q_3 och av elenergi Q_5 är hög även sommartid. Det indikerar att värmebehovet Q_4 är högt, då $Q_4 = Q_3 + Q_5$ - förluster = avgiven energi från kondensorn. De uppmätta värden på Q_3 och Q_5 pekar på att värmepumpen har gått em tredjedel av tiden under sommaren. Den avgivna energin motsvarar en kontinuerlig effekt av 3,2 kW eller ca 30% av kondensorns max. effekt. Förlusterna från värmepumpsaggregatet och värmeledningar torde vara stora, eftersom energin för varmvattenberedning ej kan vara högre än 25% av den avgivna energin.

Under hösten steg både den tillförda lågenergin och elenergin väl i takt med värmebehovet, vilket har beräknats utifrån månadsmedeltemp, årsförbrukningen av energi och antalet gradtimmar per år. Förbrukningen av elenergi under juni-oktober 1980 har varit max 15 % högre än elförbrukningen under motsvarande period 1978. Månadsmedeltemperaturen har varit relativt lika. Skillnaden har varit högst 1°C motsvarande 2% högre värmebehov eller 5-6% högre elförbrukning 1980 jämfört med 1978.

5.6 Värmefaktorn

Värmefaktorn har sjunkit under sommaren från 2,6 till 2,1 i takt med sjunkande värmebehov. Värmepumpen arbetar ineffektivt vid ett lågt uttag. Förlusterna blir stora. När värmebehovet ökar, förbättras värmefaktorn till max 3,0. Se figur 16 och 17

Medelvärde på värmefaktorn (kvoten mellan totalsummorna på Q_3+Q_5 / Q_5 juni-oktober) var 2,6.

Under tiden juni-oktober 1978 var värmefaktorn 1,9-2,1 med ett medelvärde på 2,0. Årmedelvärdet för hela 1978 var 2,18. Antag att 2,1 är ett relevant värde för jämförelse med 1980.

En höjning av värmefaktorn från 2,1 till 2,6 motsvarar en ökning av den tillförda lågenergin till förångaren med 3500 kWh juni-oktober, räknat på en elförbrukning av totalt 7000 kWh under samma period.

5.7 Energibalans

Energiflödesdiagrammen i figur 15 visar för några månader hur den instrålade solenergin utnyttjats i solväxlaren och hur värmepumpen utnyttjat den totalt insamlade lågenergin från solväxlaren och från marklagret. Någon uppdelning på de två lågenergiflödena har inte kunnat göras p g a fel på mätaren Q_2 .

För hela perioden juni-oktober 1980 blev energibalansen:

Solinstrålning	7340 kWh
Insamlat i solväxlaren till marklager + förångare	2720 kWh
Lågenergi ur marklagret till förångare	10.000-12.000 kWh
Lågenergi till förångare	12070 kWh
Elförbrukningen	7380 kWh

Den förbättrade värmefaktorn tyder på att tillförseln av lågenergi under sommarhalvåret har ökat med ett belopp som motsvarar den insamlade mängden solenergi. I förhållande till den utnyttjade mängden lågenergi per år uppskattas energimängden från solväxlaren till 10-15% under förutsättning att den fungerar endast under den tid av året då taket icke är snötäckt.

5.8 Energiutbytet från snötäckt solväxlare

Tre veckor efter det att taket blev snötäckt avbröts de kontinuerliga mätningarna för översyn av mätarna Q_1 och Q_2 . Mätarna för Q_3 och Q_5 fortsatte dock att snurra. Fram till den 5/1-81 gjordes endast två avläsningar, vilket gav resultaten i tabell 5.3.

I	Q_1	CP2	Q_3	CP1	Q_5
	kWh	h	kWh	h	kWh
24/10-7/11 0	140	87	2839	310	1410
7/11-5/1 0	-	267	12288	1371	6066

Eller omräknat till värden per dag

	Q_1 kWh/m ²	CP2 h	Q_3 kWh/m ²	CP1 h	Q_5 kWh/m ²
24/10-7/11	0,33	6,2	6,7	22,1	3,4
7/11-5/1	-	4,5	6,8	22,8	3,4

Tabell 5.3

Värdet på Q_1 7/11-5/1 kan uppskattas till $4,5/6,2 \times 0,33 = 0,24$ kWh/m².

Under den snötäckta perioden kan den insamlade energin från solväxlaren uppgå till ca 7 kWh/m² månad.

Det motsvarar 35% av det genomsnittliga energiutbytet under sommarhalvåret.

Värmeffaktorn beräknad som $Q_3 + Q_5 / Q_5$ blir lika med 3,0 vilket är ett mycket högt värde jämfört med årsvärmeffaktorn = 2,18 för 1978.

5.9 Slutsatser av mätningarna

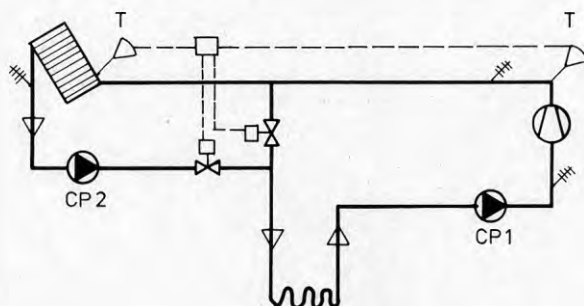
Mätserien har varit kort och har gett för osäkra värden för att några långtgående slutsatser skall kunna göras. Den utförda mätningen visar dock att solväxlaren fungera som en värmväxlare mellan luften under takpannorna och köldbäraren till värmepumpen och marklagret. Solväxlaren har visat sig reagera trögt på förändringar i solinstrålningen men energiutbytet följer väl lufttemperaturens förändringar. Solväxlaren reagerar på små temperaturdifferenser och arbetar vid en låg temperaturnivå och därmed blir energiutbytet högt. Då taket varit snöfritt 6-7 månader under 1980, uppskattas solväxlaren ha insamlat ca 120 kWh/m². Om energiutbytet under vintern blir $6 \times 7 = 42$ kWh/m² blir det totala utbytet ca 160 kWh/m²/år. Mätningar under totalt 7 månader pekar mot att årsvärmeffaktorn efter installation av solväxlaren kan uppgå till minst 2,5. Mätresultaten pekar t o m mot ett högre värde mellan 2,6 och 3,0.

Solväxlaren kan därför bedömas ha förutsättningar att bli en lämplig utrustning att koppla till jordvärmepumpar för reduktion av marklagrets storlek och minskning av elförbrukningen för kompressordriften. För en säker bedömning krävs dock fortsatta mätningar. Alla mätare skall i det läget vara noggrannt kallibrerade och kopplade till en datalogg för insamling och behandling av mätdata.

6. KOSTNADSBEDÖMNING

6.1 Förenklad installation

Erfarenheterna av driften av denna experimentanläggning visar att nästa anläggning kan utföras på ett enklare sätt. Motiven är att förbilliga installationen, förenkla skötseln och öka driftssäkerheten främst genom att minska antalet komponenter. Som framgår av figur 18 kopplas solslingan i serie med värmepumpen och marklagret med möjligheter till förbikoppling av solslingan, då temperaturen under tak är lägre än temperaturen vid utgången ur förångaren på värmepumpen. Antalet magnetventiler och temperaturgivare reduceras markant. Styrsystemet blir mycket enkelt. Standardiserade gränslägesdon med temperaturgivare för styrning av magnetventiler finns att köpa färdiga i handeln



FIGUR 18. SOLVÄXLARE OCH YTJORDVÄRMEPUMP - FÖRENKLAD INSTALLATION.

I den utförda solväxlaren har använts instrumentrör av polypropylen $\varnothing 12$. De bör ersättas av PEL-rör $\varnothing 16 \times 1,6$. Kostnaderna för inköp och arbete blir de samma i båda fallen men med PEL-rör $\varnothing 16$ kan prefabricerade fördelningsrör användas vid vardera kortsidan. Genom att öka rördimensionen med 30% men bara minska den totala rör-längden med 10% ökas dessutom värmeväxlarytan mellan luft och köldbärare. Ovanstående modifieringar kan öka den totalt insamlade energimängden och minska pump-arbetet.

För att undvika att fukt tränger ner i takpappen vid ev. läckage i anslutningarna till fördelningsrören bör dessa läggas i en ränna av aluminium under takteglet eller takplåten.

6.2 Anläggningskostnad

För en relevant jämförelse med andra typer av utrustning som spar olja eller el, beräknas installationskostnaden på en förenklad solväxlare, som kan massproduceras. Den kan t o m tillverkas på plats av händiga fastighetsägare eller av normal kunniga VVS-installatörer.

Anläggningskostnaden för 30 m² solväxlare uppskattas i 1980 års priser till

Rör	4.000;-
Pumpar och ventiler	2.500;-
Styrsystem	2.000;-
Arbete på plats	6.500;-

Totalt 15.000;-

Kostnaden per m² blir 500 kr. Fördelat på en insamlad energimängd av 3.600-4.800 kWh blir energispar-kostnaden 3-4 kr/kWh. Detta skall jämföras med installationen av en ytjordvärmepump på 10 kW, vilken sparar 10-20.000 kWh/år respektive en solfångaranläggning på 8 m² som spar 2-2.800 kWh/år. Energispar-kostnaden blir

- . 2-5 kr/kWh för värmepumpen.
- . 4-8 kr/kWh för solfångaren.

Bilaga 1 1(2)

Kontrollberäkningar av energiutbytet från solväxlaren

Energibalans under en timma en genomsnittslig dag under sommarhalvåret:

Solinstrålning mot taket		+350 W/m ²
Förluster konvektion utåt	145	W/m ²
strålning utåt	135	W/m ²
strålning konvektion		
inåt = bortförd värme	70	-350 W/m ²
		<hr/>

Värmebalans 0

Energiutbytet blir $70/350 = 20\%$ av instrålningen. Räkna vi med 1800 dagtimmar på sommarhalvåret blir den insamlade energimängden ca 120 kWh/m^2 att jämföras med uppmätt 113 kWh/m^2 .

Hur stämmer solväxlarens energiutbyte Q_1 med temperaturfallet ΔT och det beräknade värmeövergångstalet k över rörväggar? Räkna på en representativ dag/månad.

$$Q_1 = k \cdot \Delta T \cdot t_2$$

$$k = 1 \text{ W/l m rör} \cdot ^\circ\text{C} \text{ eller } 20 \text{ W/m}^2 \text{ tak} \cdot ^\circ\text{C}$$

(20 lm rör per m² tak)

$$\Delta T = T_2 \frac{T_3 + T_4}{2} \quad (\text{månadsmedelvärde})$$

$$t_2 = \text{driftstid för CP2 per dag.}$$

Månad	juni	augusti	september	oktober
ΔT °C	4	3	1	-1,5
Effekt W/m ² tak	80	60	20	(-30) (k x Δ)
t_2 h/d	6	5	4	3
Beräknat Q_1 kWh/m ² d	0,48	0,30	0,08	-
Uppmätt Q_1 kWh/m ² d	1,0	0,64	0,68	0,67

Tabell A

Överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta värden på Q_1 är dålig med gjorda ansatser. Fördubblas värmeövergångstalet erhålles god korrelation i juni och augustimen ej i september-oktober. Orsaken därtill kan vara de stora osäkerheterna i temperaturmätningarna ($-1 \rightarrow +2^\circ$ per parameter).

Bilaga 1 sid 2(2)

Hur väl stämmer värdena på Q_1 med temperaturförhöjningen ($T_4 - T_3$) på flödet över växlaren? Räkna på en representativ dag per månad.

$$Q_1 = q \cdot c_p \cdot t_2 \cdot (T_4 - T_3)$$

q = pumpflödet genom solväxlaren, vars dagmedelvärde ökar med ökad drifttid för CP1 (t_1)

t_2 = drifttiden för CP2 per dag.

Månad	juni	augusti	september	6-17 okt.
$T_4 - T_3$ °C	4	3	0,5	1,5
t_1 min/h ₂	11	15	20	30
q m ³ /h	1,50	1,65	1,80	2,10
t_2 tim/d	6 ^{1/}	5 ^{1/}	4 ^{1/}	3
Q_1 beräknat kWh/d	36	25	3,6	9,6
Q_1 uppmätt kWh/d	31	20	20	9,9

Tabell B

1/ uppskattade värden

$$2/ q \frac{t_1}{60} \cdot 3,0 + \frac{60 - t_1}{60} \cdot 1,2$$

Som tabell B visar, stämmer de beräknade värdena för Q_1 - utgående från uppmätta värden på $T_4 - T_3$ - relativt väl med de uppmätta värdena på Q_1 med undantag för septemberfallet.

Kontroll av energimätningar Q_2

Exempel på felvisning enligt avläsningar:

29/5-6/6

 $Q_1 = 540$ kWh från sol $Q_2 = 80$ kWh från jord $Q_3 = 945$ kWh till vp $Q_L =$ energi från solen till jorden (ej mätt) $Q_5 = 548$ kWh el till vp Q_2 borde vara lika med $Q_3 - Q_1 = 505$ kWhVärdena på Q_1 och Q_2 stämmer med troliga driftstider och elförbrukningen. Kvoten $\frac{Q_3}{Q_5} = \frac{945}{548} = 1.72$ ger en värmefaktor 2,72 vilket verkar rimligt. Då avläst värde på elförbrukningen är säkert, verkar värdet Q_3 rimligt. Därmed måste värdet på Q_2 vara för lågt.

6-17/10

Temperaturdifferensen över jordlagret $T_5 - T_4$ har uppmätts till max 2°C . C_p för glykoblandat vatten är 1.0×10^{-3} kWh/kg $^\circ\text{C}$ Flödet för Q_3 har avlästs till 173 m^3
 Q_2 uppskattas till $2 \times 173 \times 1.000 \times 1.0 \times 10^{-3} = 346$.Flödet genom solväxlaren är antingen 1,2 eller 3,0 m^3/h beroende på om värmepumpen och därmed CP1 står respektive går.

Avlästa värden:

 $Q_1 = 120$ kWh $Q_3 = 1120$ kWh $Q_5 = 558$ kWh

Drifttid CP1 vp = 137 timmar (hälften av antalet timmar 6-17/10)

Drifttid CP2 sol = 36 timmar
($T_4 - T_3$) medel = $1,5^\circ\text{C}$

Kontroller:

Temperaturdifferensen $T_5 - T_4$ har uppskattats som ett medelvärde för de tolv studerade dagarna och verkar rimlig i jämförelse med övriga uppmätta temperaturer. Felet i uppskattningen kan vara högst $\pm 1^\circ\text{C}$.

Bilaga 2 sid 2(2)

- Q_1 18 tim \times 1,2 m³/h \times 1.0 \times 1,5 = 32 kWh (vp står)
 18 tim \times 3,0 m³/h \times 1.0 \times 1,5 = 81 kWh (vp går)
 Q_1 beräknat (113) stämmer väl med avläst värde (120)
 Q_5 137 tim \times 4,15 kW = 568 kWh
 Q_5 beräknat stämmer väl med avläst värde (558).
 Q_2 borde vara lika med $Q_3 - Q_1 + Q_L = 1120 - 120 + Q_1 = 1000 + Q_L$
 kWh men är enligt beräkningarna ovan högst 346 kWh.
 Avläst värde på flödet för Q_2 är alltså för lågt.

Q_4

Exempel på felvisning

29/5-6/6

Säkra avläsningar enligt ovan;

$Q_3 = 945$ kWh lågenergi till vp

$Q_5 = 548$ kWh el till vp

Energibalansen till värmepumpen ger

avgiven värme $Q_4 = Q_3 + Q_5 - \text{förluster}$ eller

$$Q_4 = 1493 - \text{förluster}$$

Att jämföras med avläst $Q_4 = 567$ kWh

Förlusten kan uppgå till 50 kWh

Alltså är det avlästa värdet på Q_4 för lågt ($567 \ll 1443$)

6-17/10

Avläst $Q_3 = 1120$ kWh

$Q_4 = 700$ kWh

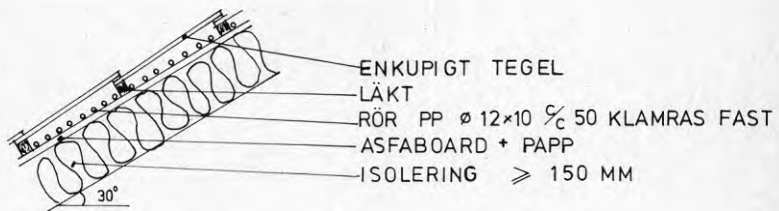
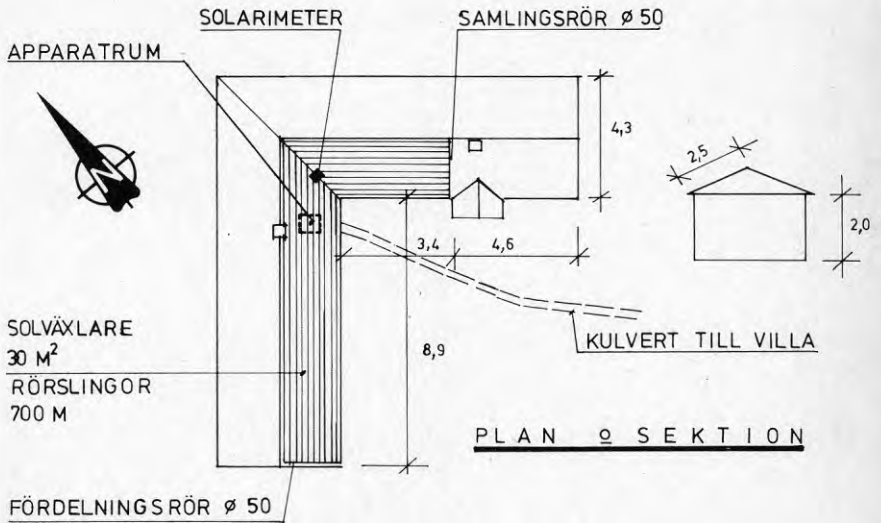
$Q_5 = 558$ kWh

Energibalansen för värmepumpen ger

$Q_4 = Q_3 + Q_5 - \text{förluster} = 1678 - \text{förluster}$ vilket är avsevärt

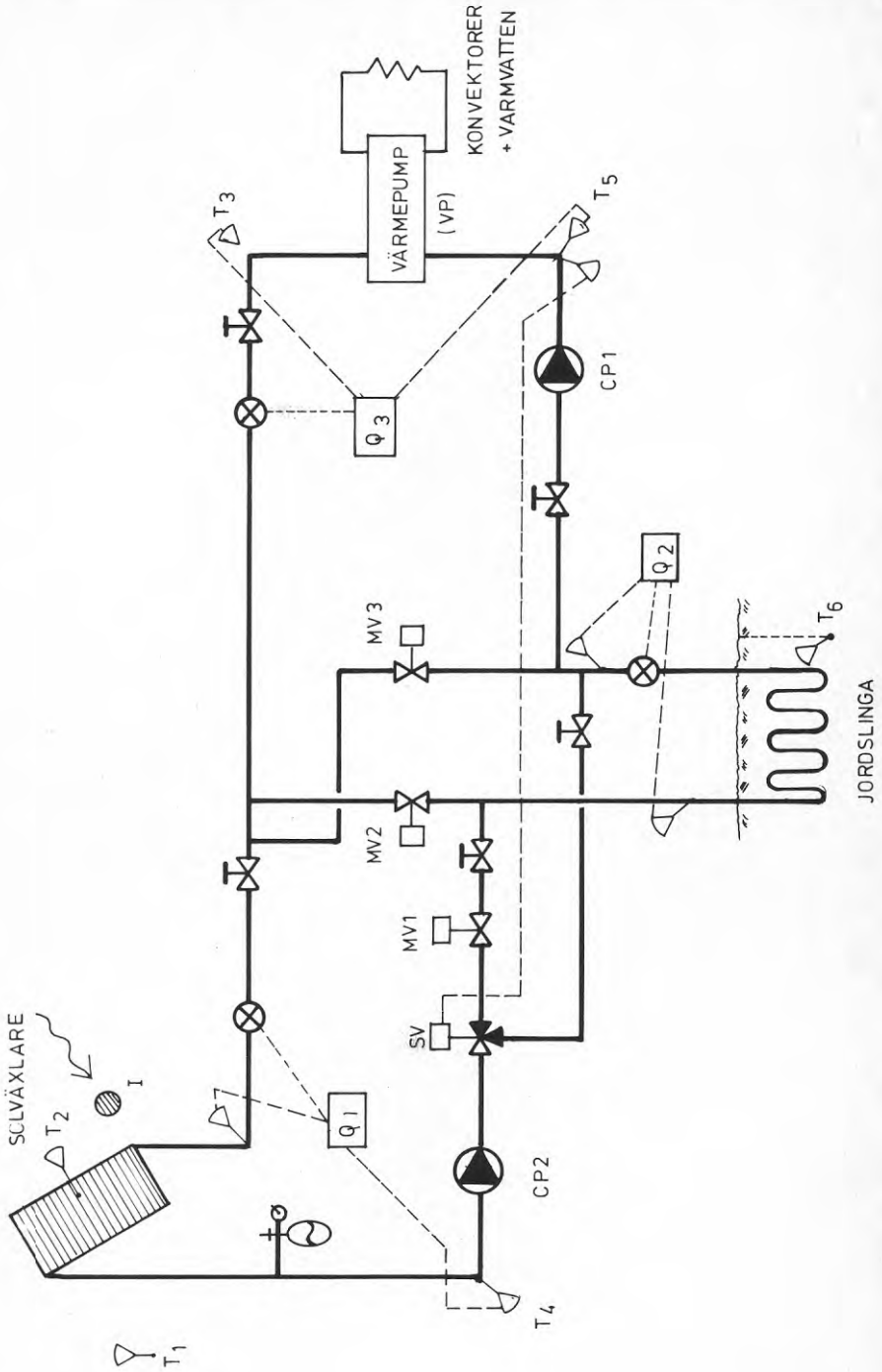
högre än avläst värde 700 kWh.

Alltså har mätaren Q_4 visat fel.

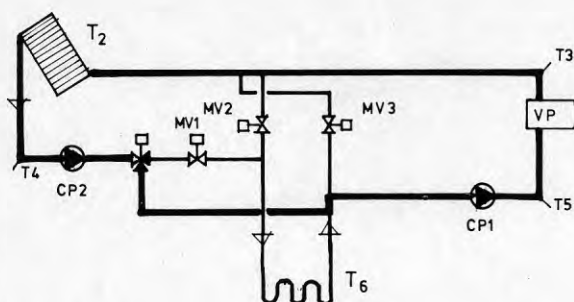


TAKKONSTRUKTION MED SOLVÄXLARE

FIGUR 1 INSTALLATION AV SOLVÄXLARE



FIGUR 2 KOPPLINGSSCHEMA

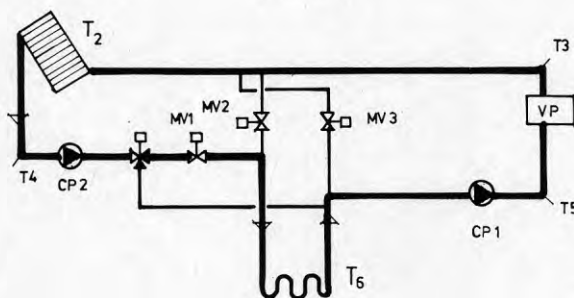


FALL 1

VÅR

$T_2 > T_3$

$T_5 < 15$



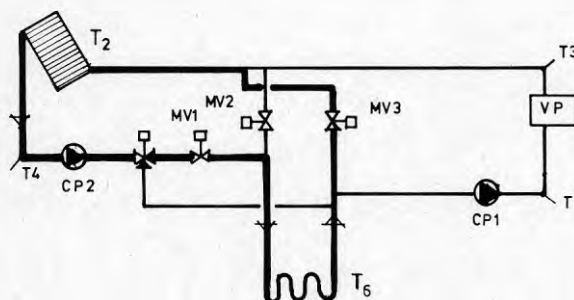
FALL 2

SOMMAR

$T_2 > T_3$

$T_4 > T_6$

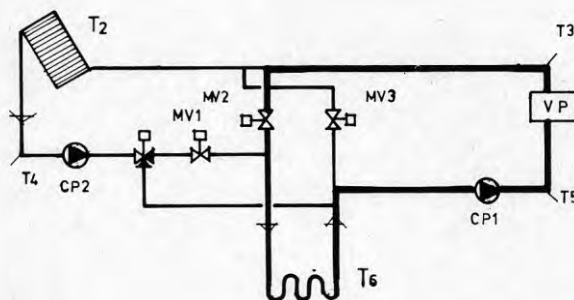
$T_5 = 15$ REGLERAS AV
TREVÄGSVENTILEN



FALL 3

INGET VÄRMEBEHOV

$T_4 > T_6$

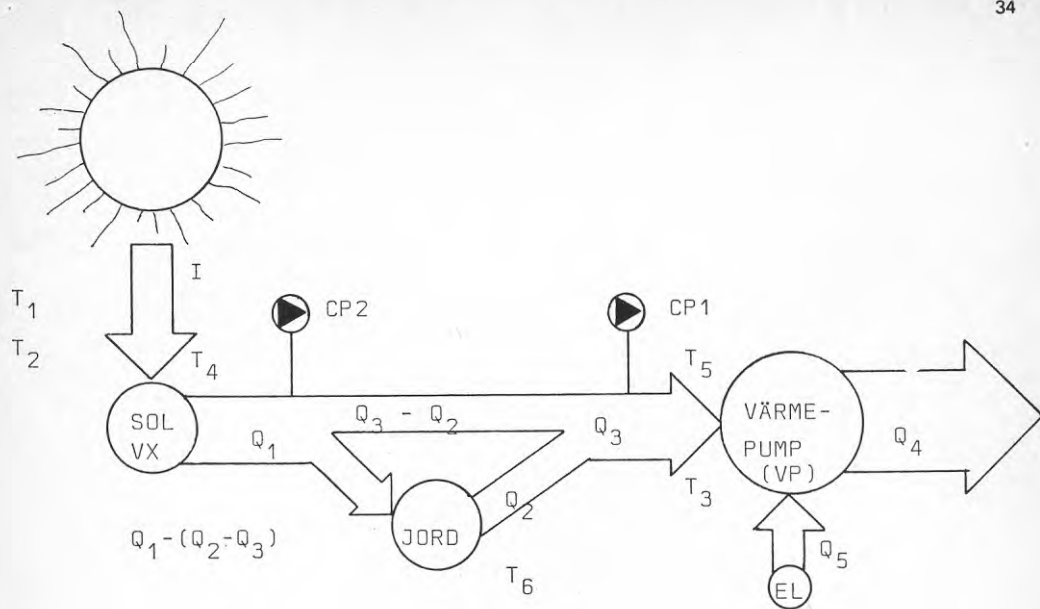


FALL 4

VINTER

$T_2 < T_3$

FIGUR 3. 1-4 DRIFTSFALL MED STYRVILLKOR

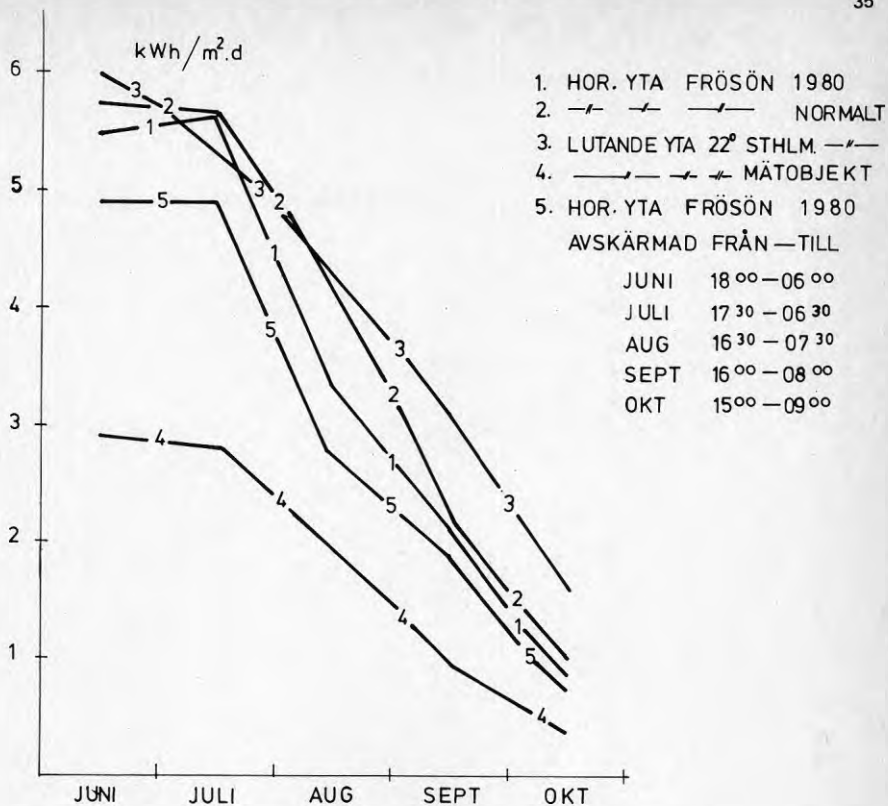


Energi	Intervall sort	Avläs- ning	Datareduktion
I Solinstrålning	0-1 kW/m ²	Reg	1 streck/10Wh
Q ₁ Från solväxlare	0-15 kWh/h	Reg	1 streck/10Wh
Q ₂ från jordslinga	0-15 kWh/h		1 streck/10Wh
Q ₃ till värmepump (jord + sol)	0-15 kWh/h	Reg	1 streck/kWh
Q ₄ till radiatorer och varmvatten	<2500 kWh/v	Man	kWh/d el kWh/v
Q ₅ El till VP + CP Drifftid CP1, CP2	<1200 kWh/v 0-168 h/v	Man Man	kWh/d el kWh/v h/v

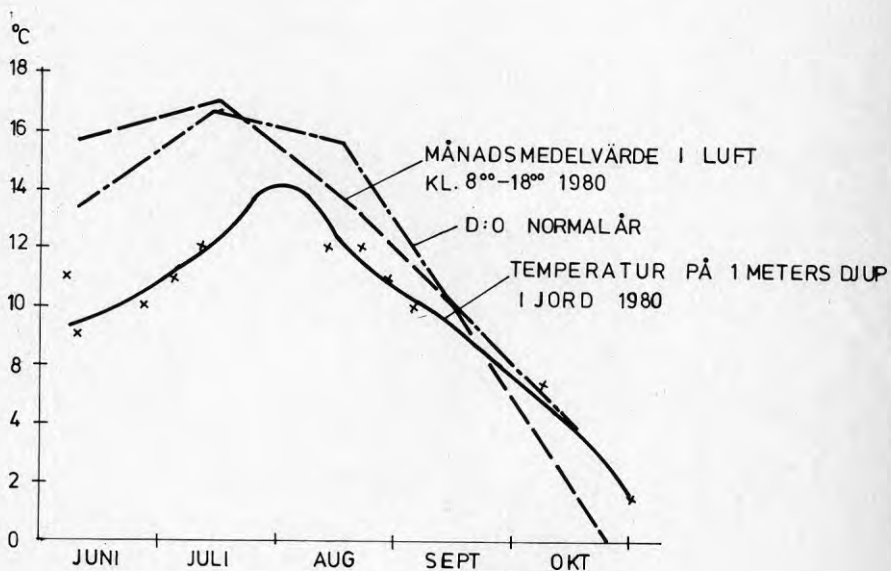
Temperaturer

T ₁ uteluft	-40->+40°C	Reg	1 ggr/2 min
T ₂ luft under tak	-40->+40°C	Reg	1 ggr/2 min
T ₃ från VP	-15->+20°C	Reg	1 ggr/2 min
T ₄ från sol vx	-10->+40°C	Reg	1 ggr/2 min
T ₅ till VP	-10->+20°C	Reg	1 ggr/2 min
T ₆ i jord	-10->+20°C	Reg	1 ggr/2 min

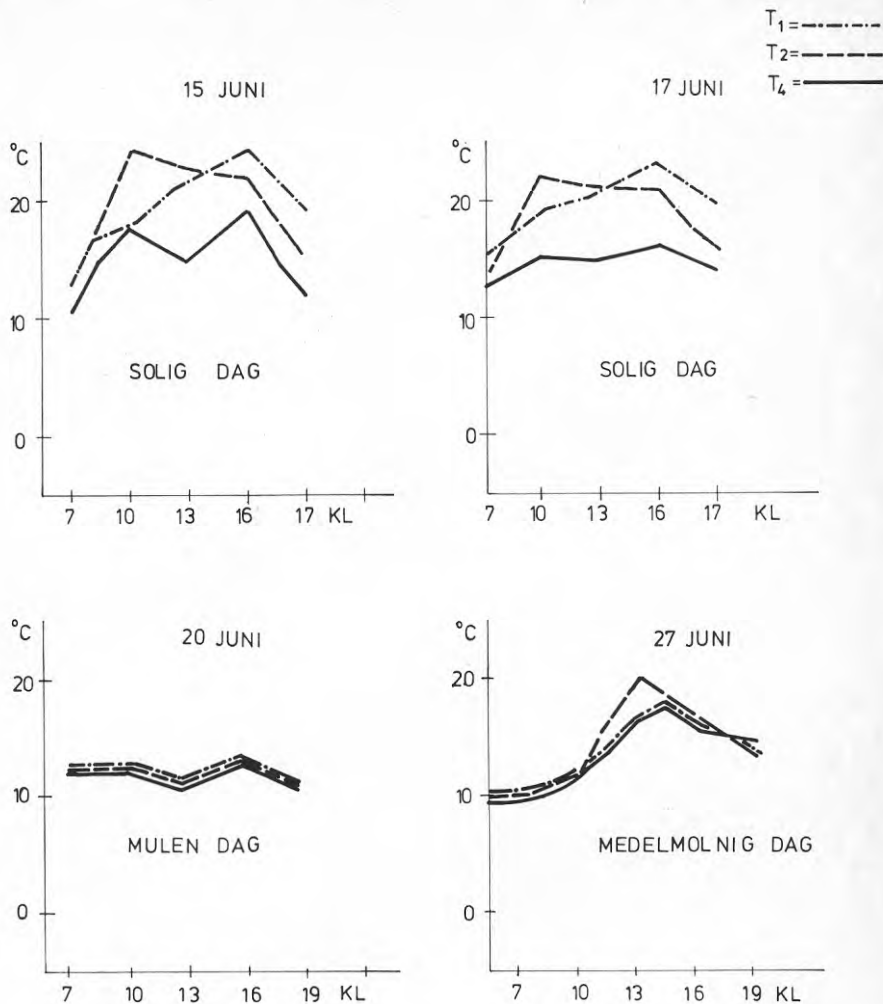
Figur 4. Mätprogram



FIGUR 5. SOLINSTRÅLNING



FIGUR 6 TEMP. I LUFT OCH JORD

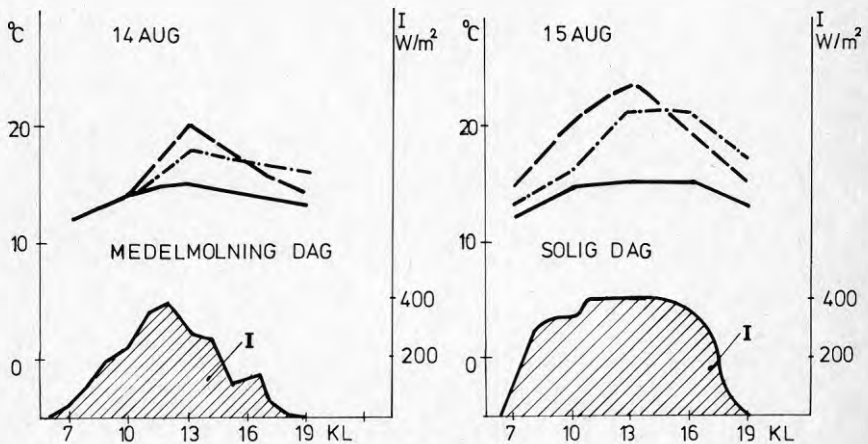
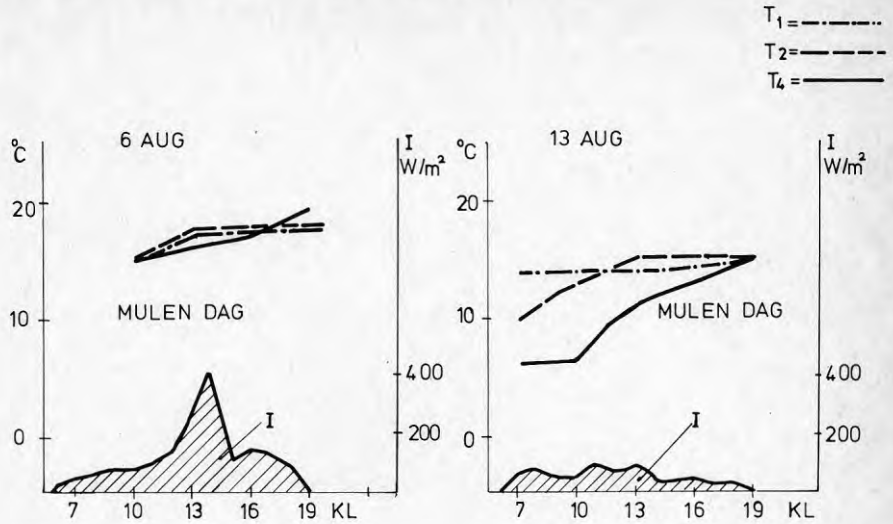


DAGMEDELTEMP °C	15/6	17/6	20/6	27/6	MELELDIFFERENSER UNDER DAGTID (UPPSKATTADE VÄRDEN)
T_1 LUFT	20,5°	21°	12°	15°	$T_4 - T_3 = 4°$
T_2 TAK	20,5°	21°	12°	17°	$T_5 - T_3 = 1,5°$
T_3 FR.VP	11°	11,5°	9,5°	11,5°	$T_2 - \frac{T_4 + T_3}{2} = 3° - 4°$
T_4 FR. SOLVX.	16°	15°	12°	15°	
T_6 JORD	9°	10°	10°	9°	

MÅNADSMEDELTEMP. KL. 8.00 - 18.00 JUNI 1980 16° ENL. F 4

ANM. SOLINSTRÅLNINGEN ÄR UPPMÄTT MEN EJ REGISTRERAD
UNDER DENNA MÅNAD

FIGUR 7 UPPMÄTTA TEMPERATURER NÅGRA DAGAR I JUNI 1980

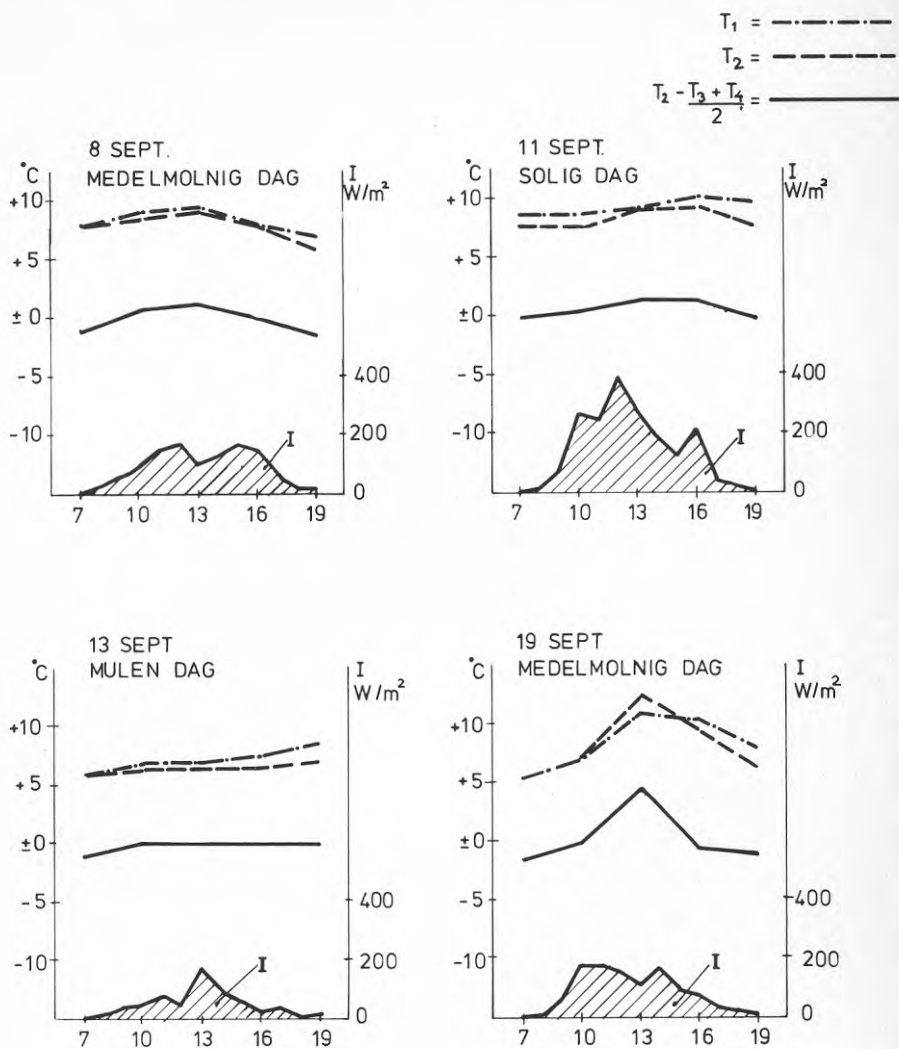


DAG	MEDELTEMP °C	6/8	13/8	14/8	15/8	MELELDIFFERENSER UNDER DAGTID (UPPSKATTADE VÄRDEN)
T_1	LUFT	17°	14°	18°	19°	$T_4 - T_3 = 3^\circ$
T_2	TAK	18°	14°	19°	21°	$T_5 - T_3 = 2^\circ$
T_3	FR.VP	15°	9°	12°	12°	$T_2 - \frac{T_4 + T_3}{2} = 3^\circ - 4^\circ$
T_4	FR.SOLVX.	17°	12°	15°	15°	
T_6	JORD	14°	12°	12°	12°	

MÅNADSMEDELTEMP. KL.8.00-18.00 AUGUSTI 1980 14° ENL, F4

I=SOLINSTRÅLNING-UPPMÄTT EJ KORIGERAD ENL. FIG 5

FIGUR 8 UPPMÄTTA TEMPERATURER NÅGRA DAGAR I AUGUSTI 1980



UPPSKATTADE MEDELVÄRDEN FÖR DAGSTEMPERATUR 1-30 SEPT.

$$T_1 = +10^\circ \text{C}$$

I = SOLSTRÅLNING — UPPMÄTT, EJ
KORRIGERAD ENL. FIG. 5

$$T_2 = +9^\circ \text{C}$$

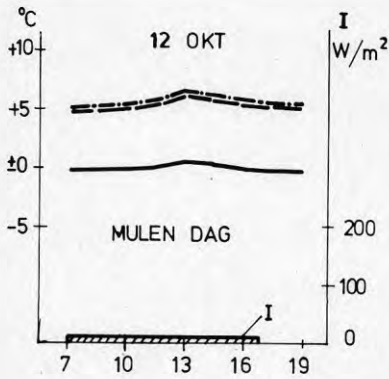
$$\frac{T_2 - T_3 + T_4}{2} = 0 - 1^\circ \text{C}$$

FIGUR 9. UPPMÄTTA TEMPERATURER NÅGRA DAGAR I SEPTEMBER 1980

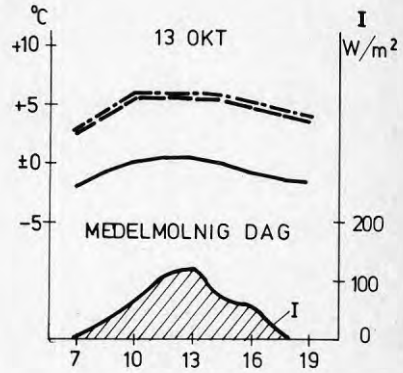
$$T_1 = \text{---} \text{---}$$

$$T_2 = \text{---} \text{---}$$

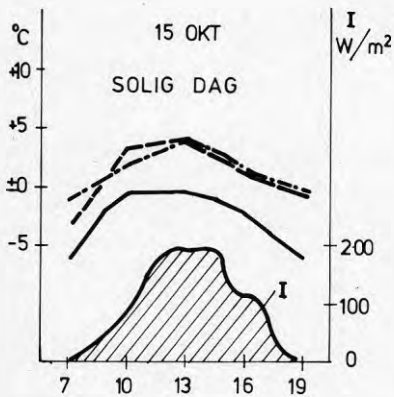
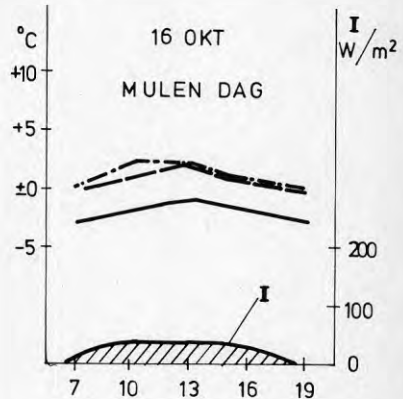
$$T_2 - \frac{T_4 + T_3}{2} = \text{---} \text{---}$$



CP2 GICK 0 TIM



CP2 GICK 4,5 TIM 10.00-14.30

CP2 GICK 2,5 TIM 10⁰⁰-12³⁰

CP2 GICK 0 TIM

UPPSKATTADE MEDELVÄRDEN FÖR DAGSTEMPERATUR 6-17 OKT

$$T_1 = +4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 5^\circ$$

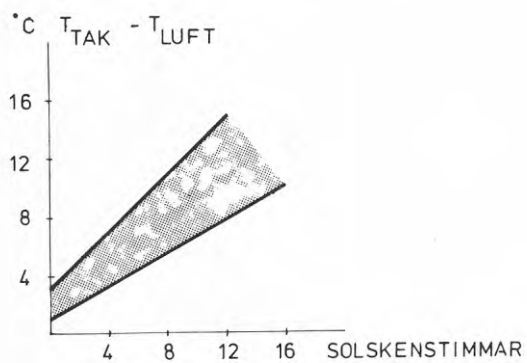
$$T_2 = +4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 6^\circ$$

$$T_2 - \frac{T_3 + T_4}{2} = -1 \rightarrow -2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

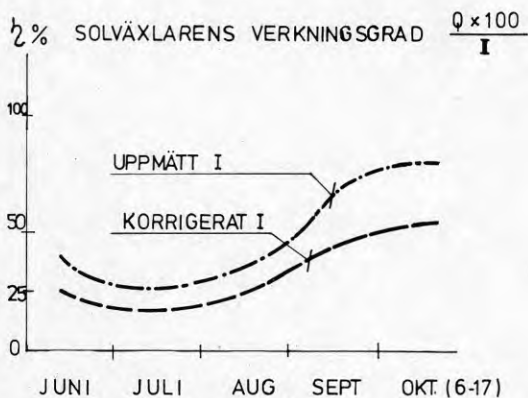
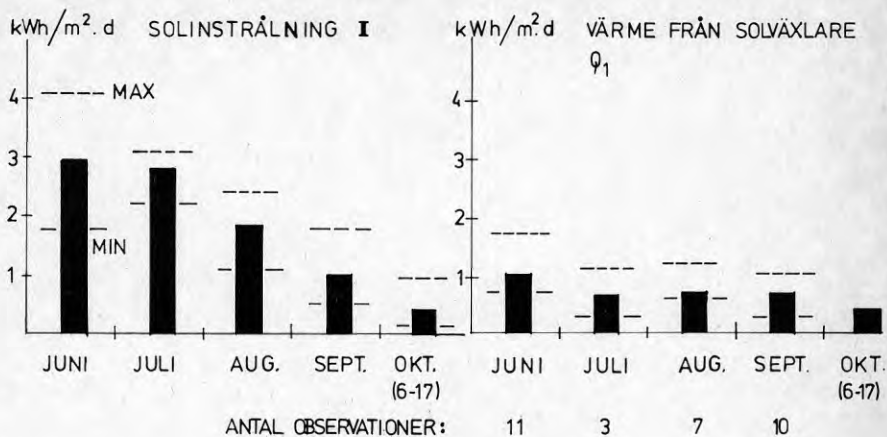
I = SOLINSTRÅLNING - UPPMÄTT EJ KORRIGERAD ENL. FIG. 5

FIGUR 10 UPPMÄTTA TEMPERATURER NÅGRA DAGAR I OKTOBER 1980



ANM. UPPMÄTTA VÄRDEN LIGGER INOM
DET SKUGGADE FÄLTET.

FIGUR 11. ÖVERTEMPERATUREN UNDER TAK UTAN SOLVÄXLARE
I FÖRHÅLLANDE TILL UTELUFTEN
DAGMEDELVÄRDEN JUL.-AUG.-79



A N M. VÄRDENA PÅ I HAR KORRIGERATS TILL 150% AV UPPMÄTTA VÄRDEN EFTER JÄMFÖRELSE MED STATISTIK ENL. FIGUR. 5

TOTALT FÖR 30 M² 6 JUNI — 17 OKT UPPMÄTT

I = 7340 kWh,

Q₁ = 2720 kWh

η = 37%

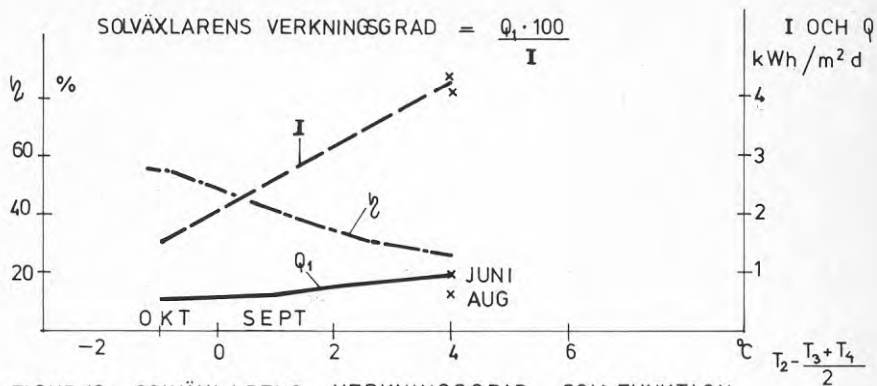
OMRÄKNAT TILL SOMMARHALVÅRET APRIL—SEPT.

I = 9800 = 326 kWh/M²

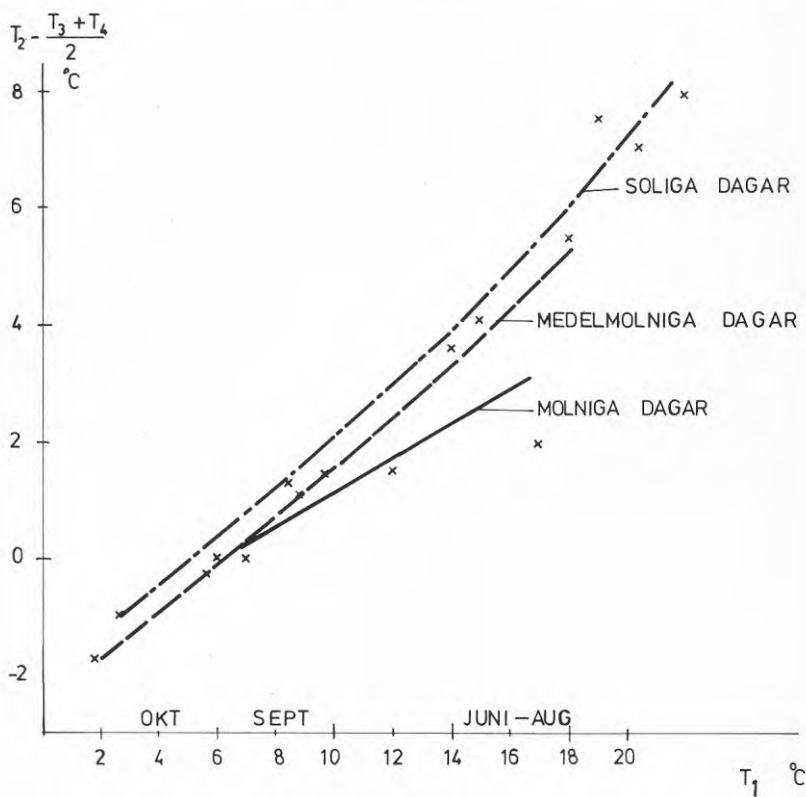
Q₁ = 3400 = 113 kWh/M²

η = 35% (KORRIGERAT 23%)

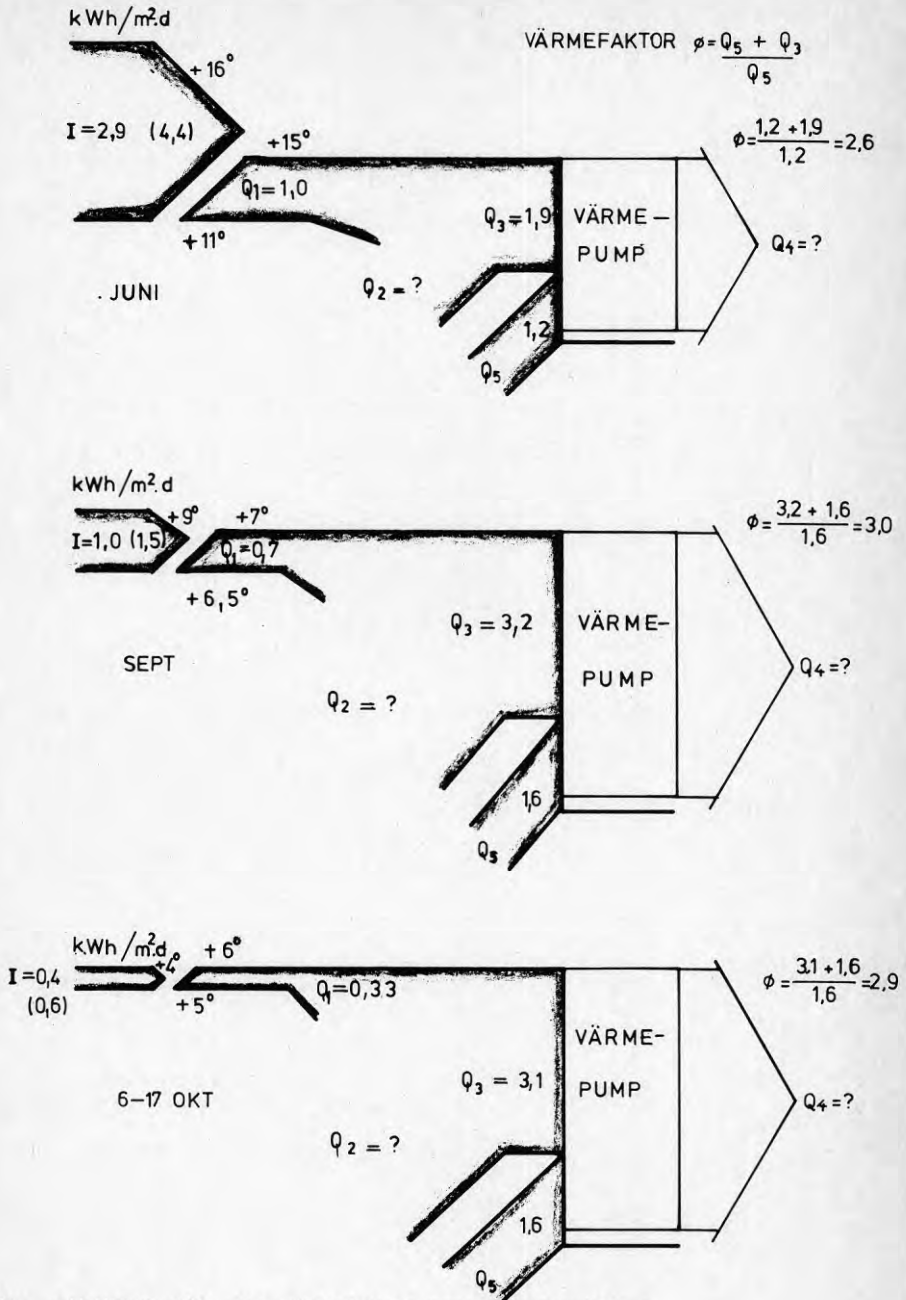
FIGUR 12 SOLVÄXLARENS VERKNINGSGRAD



FIGUR 13 SOLVÄXLARENS VERKNINGSGRAD SOM FUNKTION AV TEMPERATURDIFFERENSEN ÖVER SOLVÄXLAREN



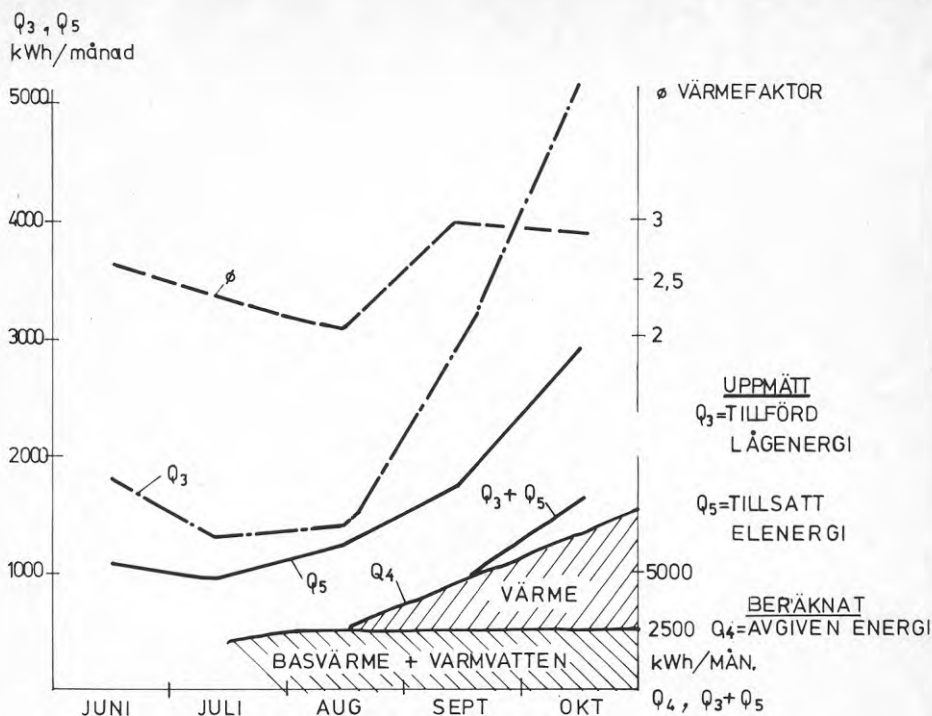
FIGUR 14 TEMPERATURDIFFERENSEN MELLAN TAK OCH RÖREN I SOLVÄXLAREN SOM FUNKTION AV UTELUFTTEMPERATUREN I SKUGGA KL 08⁰⁰-18⁰⁰



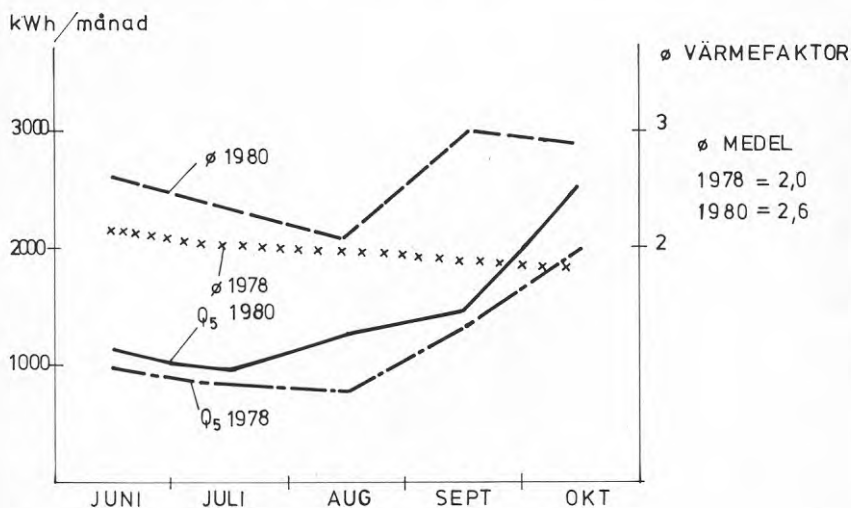
ANM. BALANSER FÖR JULI OCH AUGUSTI KAN EJ UPPRÄTTAS DÅ MÄTNINGARNA ÄR OFULLSTÄNDIGA MÄTNINGARNA AV Q₂ ÄR EJ RELEVANTA

I=() ANGER KORRIGERADE VÄRDEN ENL.FIG 5

FIGUR 15 ENERGIBALANSER FÖR MÅNADERNA JUNI, SEPTEMBER OCH OKTOBER.



FIGUR 16 TILLFÖRDA ENERGMÄNGDER TILL VÄRMEPUMPEN OCH VÄRMEFAKTORNS VARIATION MÅNADSVIS 1980



JÄMFÖRELSE AV ELENERGI OCH VÄRMEFAKTOR
FIGUR 17 FÖR VÄRMEPUMPEN 1978 OCH 1980

LITTERATUR

VVS-tabeller och diagram, 1974, Stockholm

SMHI, Klimatbyrån, Solstrålningsprotokoll juni-oktober 1980 för Frösön

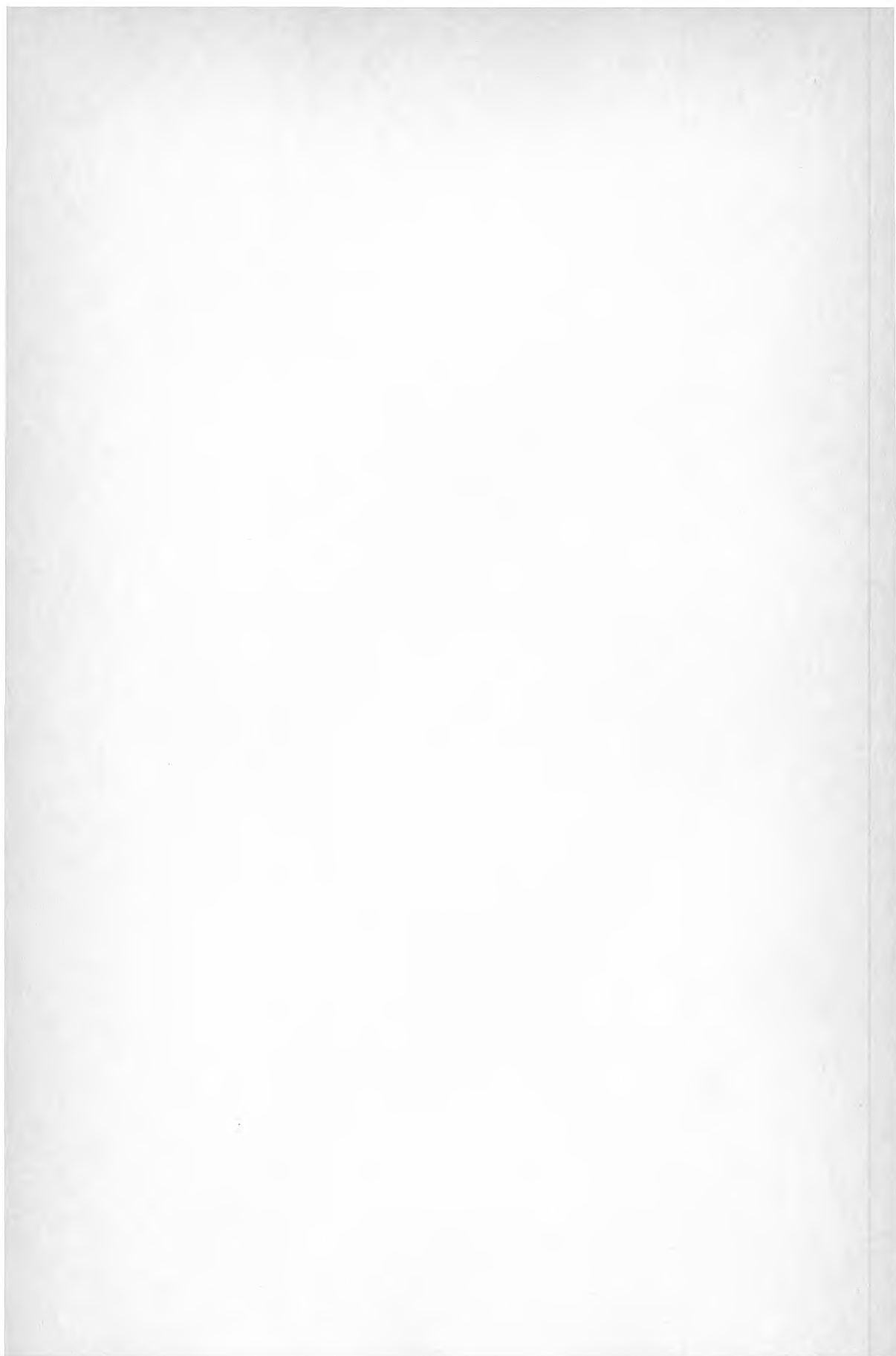
SMHI, Klimatbyrån, Lufttemperaturer och nederbörd juni-oktober 1980 på Frösön

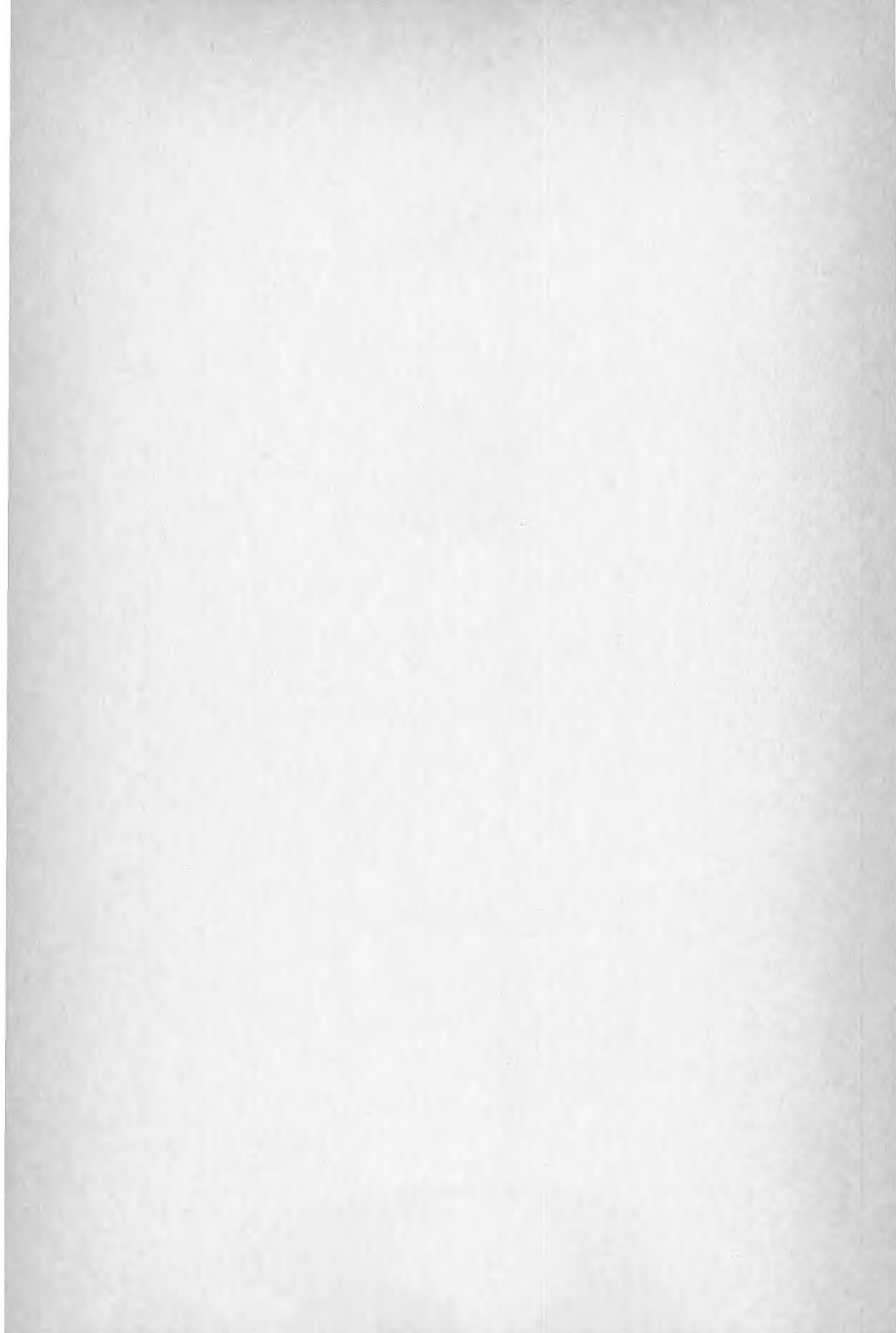
Solvärmt tappvatten, Underlag för BFR:s programplan 1981-1984, G35:1980 (Statens Råd för Byggnadsforskning)

Värmepumpar, underlag för BFR:s programplan G33:1980 (Statens Råd för Byggnadsforskning)

Leif Sønderskov Jørgensen, Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg, Beregning af et anlæg til en mindre bebyggelse, Handelsministeriets solvarmeprogram Rapport nr 1:1979 (Teknologisk Institut, Varmeteknik, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole)

Ernst Morawetz, Sol som värmekälla i värmepumpsystem (Förlags AB VVS, Stockholm) Tidskriften VVS nr 12/79 sid. 67-70





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
791402-6 från Statens råd för byggnadsforskning
till Grapenfelt Installationskonsult AB, Östersund.**

R71: 1981

ISBN 91-540-3522-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700371

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 25 kr exkl moms