



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

R92:1979

A 149 (657)

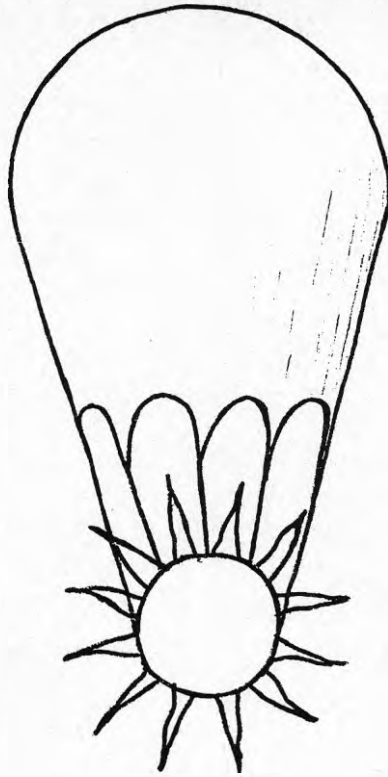
**Luftburen solvärme
i småhus**

Pilotprojekt Eslöv

Ingemar Wennström

Byggforskningen

R92:1979



LUFTBUREN SOLVÄRME I SMÅHUS

Pilotprojekt Eslöv

Ingemar Wennström

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 760999-7 från Statens råd för byggnadsforskning till AB Skånska Cementgjuteriet, Malmö.

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

R92:1979

ISBN 91-540-3078-1
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 955617

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	5
INLEDNING	9
1 ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR	11
1.1 Byggnaden	11
1.2 Fönster	11
1.3 Solfångare	11
1.4 Distributionsmedium	11
1.5 Distributionssystem	11
1.6 Uppvärmningssystem	12
1.7 Ackumulering	12
1.8 Mätningar	12
2 HUSETS LÄGE OCH UTFÖRANDE	13
2.1 Läge	13
2.2 Husets utförande	13
2.2.1 Fönster, dörr, ventilgaller	13
2.2.2 Solfångare	13
2.2.3 Luftkanal	14
2.2.4 Ackumulatör	14
3 MÄTNINGAR	15
3.1 Kontinuerliga mätningar	15
3.1.1 Bearbetning av kontinuerliga mätningar	15
3.1.2 Detaljstudier av särskilt intressanta dygn	16
3.1.3 Åtgärder under mätningarnas gång	17
3.1.4 Kommentarer till sammanställningarna	18
3.1.5 Temperaturkurvornas periodicitet	20
3.1.6 Lägsta och högsta dygnsmedelvärden	20
3.1.7 Lägsta och högsta momentanvärden	21
3.2 Kontroll av ljusgenomsläplighet	21
3.3 Mätning av luftflöde	22
3.4 Fukthalt i ackumulatormaterialet	22
4 SOLFÅNGARE	23
4.1 Instrålad effekt	23
4.1.1 Direkt och diffus strålning	23
4.1.2 Beräkning av instrålad effekt	24
4.2 Verkningsgrad	25
4.2.1 Beräkning av verkningsgrad	26
4.3 Förluster	27
4.4 Solfångarens värmebalans	27
4.5 Förbättring av solfångaren	28
4.5.1 Solfångarens orientering	28

4.5.2	Speglar	29
4.5.3	Det transparenta materialets egenskaper . Utstrålning	29
4.5.4	Absorptionsytans egenskaper	31
4.5.5	Luftflödets storlek	32
4.5.6	Isolerande spalt	32
4.5.7	Reglering av luftflödets storlek	33
4.5.8	Styrning av luftflödet	33
4.5.9	Tätning av solfångaren	37
5	ACKUMULATOR	38
5.1	Värmeöverföring luft-kanaler	38
5.2	Värmeöverföring kanal-sand	38
5.3	Ackumulatorns dygnsvärmekapacitet	39
5.4	Ackumulatorns fjortondagarskapacitet	40
5.5	Värmeförluster från ackumulatorn	41
5.6	Ackumulatorns cirkulationssystem	41
6	ANLÄGGNINGENS CIRKULATIONSSYSTEM	42
7	FÖNSTER	43
7.1	Instrålad effekt genom fönster	43
8	VÄRMEBALANS FÖR LOKALEN	45
9	KOSTNADER	47
10	SLUTORD	49
	TABELLER	51
	FIGURER	67
	LITTERATUR	93

Sammanfattning

På grund av stigande oljepriser och farhågor för en framtida energibrist har önskemålet att utnyttja solen som direkt värme-källa för byggnader under senare år blivit allt starkare. År 1974 startade SCG en serie undersökningar vars syfte är att utprova system där förutom fönstren i första hand taket fungerar som solfångare. Som magasin för den värme som fångas i taket användes i detta första projekt en fyllning med sand under golvet. Avsikten är att göra så små estetiska och tekniska förändringar som möjligt i förhållande till ett hus utan solvärme och att i möjligaste mån använda sig av känd teknik och kända material. Därigenom skulle man kunna nå ett utnyttjande av solvärme utan större inverkan på miljö och byggkostnad. I detta första projekt skulle särskilt studeras vad in- och utstrålningen betyder för ett hus utan tillsatsvärme. Som försöksobjekt uppfördes en liten, enkel enplansbyggnad som var obebodd under försökstiden FIG. 1. Fönstren utfördes så att de skulle ge stort bidrag av passiv solvärme och taket utfördes som en enkel, luftkyld solfångare. Under golvet anordnades en ackumulator av sand direkt på marken. Luften från solfångaren sögs med en fläkt ner genom ett rörsystem i sanden.

Huset förlades till ett öppet, flackt industriområde i sydöstra delen av Eslöv. Mätplatsens position är $55^{\circ} 50' N$, $13^{\circ} 19' 0$ och höjden över havet 68 m. Huset är orienterat i nordsydlig riktning med en avvikelse av 13° mot NV-SO. Det innehåller ett rum med en golvyta av $21,3 \text{ m}^2$. I söderfasaden finns två fönster och i den västra ett. Vardera har en glas-yta av $1,27 \text{ m}^2$ och är försedda med dubbelt, klart isolerglas.

Hela taket är utfört som en solfångare, vars yttre skikt framgår av FIG. 2. Under spånskivan finns 120 mm mineralullsisolering mellan reglar samt innerbeklädnad.

Rörsystemet i ackumulatorn framgår av FIG. 3. Det består av cirkulära plåtkanaler med diametern 102 mm.

Efter inledande manuella mätningar sommaren 1974 vidtog kontinuerliga mätningar under perioden oktober 1974 - september 1975 av temperaturer, värmeflöde och solvärde. Under 1974 utfördes

dessutom en enstaka mätning av fukthalten i ackumulatorn. Bestämning av luftflödet och kontroll av takplastens ljusgenomsläpplighet utfördes 1977.

Temperaturen mättes i 22 punkter, värmeflödet i en punkt och solstrålningen mot horisontell yta i en punkt. Mätvärdena registrerades med punktskrivare på mätrullar.

Ur mätrullarna har framtagits en översikt av de mest intressanta värdena. Dessutom har vissa, särskilt intressanta dygn specialstuderats och resultaten har överförts till diagram och tabeller. Jämförelser har gjorts med statistik från SMHI.

Under mätningarnas gång gjordes två förändringar av solvärmsystemet. I början av mars 1975 stängdes solfångarens norra del och fr.o.m. maj 1975 stängdes fläkten av under den mörka delen av dygnet.

Stora temperaturvariationer kunde uppmätas i solfångaren under klara dygn. Lägsta temperatur som noterades var $-21,0^{\circ}\text{C}$ i punkt 2 i solfångaren. Detta inträffade på morgonen 1975 02 16, se FIG. 4. Utetemperaturen var då $-12,5^{\circ}\text{C}$. Temperaturerna i solfångaren nådde toppvärden mitt på dagen 1975 08 09 och 10. Högst var yttemperaturen (17) med $79,3^{\circ}$, se FIG. 3.1.2f. Högsta värdet på temperaturen efter solfångaren var $66,8^{\circ}$, se FIG. 5. En viss periodicitet i klimatet observerades.

Ur de uppmätta värdena kunde solfångarens termiska verkningsgrad beräknas till 4 - 7 %. Det låga värdet på verkningsgraden beror dels på solfångarens enkla konstruktion, dels på att den installerade fläkten gav ett litet flöde. Värmegenomgångskoefficienten för solfångarens utsida beräknades till 9 - 11 $\text{W/m}^2\text{C}$.

Häri innefattas även reflexion av solljus från den svarta ytan.

Med utgångspunkt från de erhållna värdena på verkningsgrad och förluster diskuteras olika förbättringar av solfångaren. Minskning av utstrålningen från solfångaren samt reglering och styrning av luftflödet framstår som särskilt betydelsefulla åtgärder.

Akkumulatorns förmåga att ackumulera tillförd värme var god. Detta framgår bl.a. av stabiliteten i temperaturen hos den luft som kommer ut från ackumulatoren, se FIG. 4 och 5, mätvärde 11. Härtill medverkar i högsta grad marken under sandlagret.

Förlusterna från ackumulatoren blir mycket stora tack vare att den är oisolerad mot marken. Det framgår som ofrånkomligt att en effektiv ackumulator måste vara väl isolerad mot mark. Akkumulatorens cirkulationssystem bör ändras så att motströmsprincipen kan användas, se FIG. 6.

Vid studium av anläggningens totala värmebalans för tre soliga dygn framgår tydligt fönstrens stora betydelse, se FIG. 7. Bidraget från fönstren är ungefär dubbelt så stort som från takets södersida.

Kostnaderna för att åstadkomma en enkel, luftkyld solfångare på ett tak är låga. Trots den låga verkningsgraden blir kostnaden för själva solfångaren endast cirka en femtedel av motsvarande kostnad för en vattenkyld solfångare. En bedömning av kostnaderna för övriga delar av ett luftburet solvärmesystem får anstå tills vidare erfarenhet vunnits.

Det framkommer av undersökningen att utstrålningen från husets ytor kan ha stor betydelse för värmebalansen. En intressant aspekt på detta är inverkan av ett taksprång på utstrålningen från fönster- och väggytor. En annan aspekt är utstrålningens betydelse för kondensbildning i konventionella takkonstruktioner.

Fig. nr. i samman- fattning	Figurer i rapport	
1	2.2a	
2	2.2.2a	
3	2.2.4a	
4	3.1.2c	
5	3.1.2f	
6	5.6a	
7	8b	

INLEDNING

På grund av stigande oljepriser och farhågor för en framtida energibrist har önskemålet att utnyttja solen som direkt värmekälla för byggnader under senare år blivit allt starkare. Möjligheter finns att tillvarata, lagra och distribuera solvärme på olika sätt i en byggnad. När det gäller nyproducerade småhus finns flera olika sätt att bygga in solvärmesystem i husen. År 1974 startade SCG en serie undersökningar vars syfte är att utprova system där förutom fönstren i första hand taket fungerar som solfångare. Som magasin för den värme som fångas i taket användes i detta första projekt en fyllning med sand under golvet. Avsikten är att göra så små estetiska och tekniska förändringar som möjligt i förhållande till ett hus utan solvärme och att i möjligaste mån använda sig av känd teknik och kända material. Därigenom skulle man kunna nå ett utnyttjande av solvärme utan större inverkan på miljö och byggkostnad.

Eslövsprojektet omfattar en liten obebodd enplansbyggnad med ett rum avsedd som ett pilotprojekt för grundläggande försök. Huset färdigställdes under första halvåret 1974 och mätningar utfördes under tiden fram till och med september 1975. Apparatur för mätningarna utlånades och arrangerades av Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Byggnadskonstruktionslära.

Efter kontakter med Byggforskningsrådet beviljades anslag till denna rapport i början av 1977.

I rapporten redogöres för husets och solvärmesystemets konstruktion, mätningarnas utförande samt resultat av utförda mätningar av temperaturer och flöden. Solfångarens verkningsgrad och värmebalans beräknas liksom ackumulatorens värmebalans. Möjligheter till förbättringar diskuteras. Hela systemets värmebalans beräknas.

Försöket har givit värdefulla kunskaper om hur solstrålning under dagtid och utstrålning under nattetid påverkar en byggnads värmebehov. Därvid har också erhållits indikationer på åtgärder i byggnadsutformningen som kan minska byggnadens energibehov, liksom möjligheterna att med enkel teknik utnyttja solenergi som tillskott till byggnadsuppvärmningen.

Bearbetningen av mätresultaten, upprättandet av tabeller och diagram jämte skriftliga kommentarer har utförts av ing. Kurt Allan Andersson, beräkningsarbetet har utförts av civ.ing. Ulf Pettersson, båda på Skånska Cementgjuteriets tekn.avd. i Malmö. Under utarbetandet av rapporten har delresultaten diskuterats vid seminarier där värdefulla synpunkter har lämnats av flera medarbetare. Av dessa vill jag särskilt framhålla ing. Lennart Carlsson.

Ingemar Wennström

1. ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR

Avsikten med undersökningen var ett grundläggande studium av förutsättningarna för soluppvärmning av byggnader, speciellt småhus. Särskilt skulle studeras vad in- och utstrålningen betyder för ett hus utan tillsatsvärme. Följande förutsättningar lades till grund för projektet.

1.1 Byggnaden

Huset skulle vara litet, enkelt och obebott. Det skulle vara fritt exponerat för sol och vind.

1.2 Fönster

Fönstren skulle vara så placerade och utförda att de skulle ge ett stort bidrag av passiv solvärme. Därigenom skulle man kunna studera hur fönster placerade på sådant sätt kan påverka inomhusklimatet.

1.3 Solfångare

Solfångaren skulle vara en byggnadsteknisk produkt som kunde byggas in i ett småhus på ett sätt som ger små estetiska och konstruktiva förändringar av huset. Taket ansågs ge de bästa möjligheterna för detta.

1.4 Distributionsmedium

Cirkulationsmediet i solfångaren skulle vara fröst- och koksäkert. Ett mindre läckage skulle inte få besvärande följder. Därför valdes luft som medium.

1.5 Distributionssystem

Cirkulations- och reglersystemet skulle ha en enkel uppbyggnad för att medge mätning av de förluster som uppkommer vid sådana system.

1.6 Uppvärmningssystem

Ingen annan värme än den som erhöles från solvärmesystemet skulle tillföras huset utöver den värme som erhöles från omgivningen.

1.7 Ackumulering

Akkumululatoreu skulle vara så enkel och billig som möjligt. Av detta skäl valdes vid denna undersökning att använda en sandfyllning under huset som ackumulator.

1.8 Mätningar

Mätningarna som utfördes skulle ge en bild av temperaturförloppen i olika delar av byggnaden under varierande väderleksförhållanden. Härav skulle erfarenhet vinnas för fortsatt utveckling av uppvärmningssystem.

2. HUSETS LÄGE OCH UTFÖRANDE

2.1 Läge

Huset förlades till ett öppet, flackt industriområde i sydöstra delen av Eslöv. Mätplatsens position är $55^{\circ} 50' N$, $13^{\circ} 19' 0$ och höjden över havet 68 m. Läget i förhållande till väderleksstationerna Lund, Stehag, Sturup och Svalöv framgår av FIG. 2.1a. Avståndet till närmaste hus, en fabriksbyggnad i VNV är 40 m. Terrängmasken framgår av FIG. 2.1b. Huset är orienterat i nord-sydlig riktning med en avvikelse av 13° mot NV-SO.

2.2 Husets utförande

Huset är byggt i ett plan med isolerat yttertak och innehåller ett rum. Utseende och konstruktion framgår av FIG. 2.2 a-c. Golvytan är $21,3 \text{ m}^2$, våningsytan $24,2 \text{ m}^2$ och invändiga volymen 72 m^3 . Begränsningsytornas storlek och värmeegenomgångskoefficient framgår av TAB. 2.2 a.

2.2.1 Fönster, dörr, ventilgaller

I söderfasaden finns två fönster och i den västra ett. Vardera har en glasyta av $1,27 \text{ m}^2$ och är försedda med dubbelt, klart isolerglas. De är inte försedda med några anordningar för avskärmning och är öppningsbara inåt. I norra fasaden finns en dörr med dubbla dörrblad och ytterkarmmått 900 x 2070 mm. Dörrbladen har en tjocklek av 40 mm. I västra fasaden finns ett ventilgaller 150 x 150 mm med lucka.

2.2.2 Solfångare

Hela taket är utfört som en solfångare med ytteryta av transparenta, trapetskorrugerade plastplattor på regler och därunder en svartmålad 25 mm spånskiva som tjänar som absorber för solenergi och som vindskydd för isoleringen i taket, se FIG. 2.2.2 a. Orsaken till att även norrsidan av taket är utförd som solfångare är de möjligheter detta ger att studera inverkan av diffus strålning under de perioder då denna del befinner sig i skugga.

Södersidan och norrsidan är lika stora och omfattar vardera $16,4 \text{ m}^2$. Lutningen mot horisontalplanet är $23,22^\circ$. Luften leds in vid takfoten genom en spalt i solfångaren med tvärsnittsytan $0,27 \text{ m}^2/\text{sida}$ och samlas i en kanal i taknocken. Denna kanal har en tvärsnittsarea av $0,08 \text{ m}^2$. Enligt uppgift från tillverkaren består plastplattorna av $1,4 - 1,5 \text{ mm}$ styv, slagseg polyvinylklorid (PVC). De är genomskinliga (beteckning opal 07) och har enligt uppgift en ljusgenomsläpplighet av 50% . Temperaturbeständigheten anges till 70°C . Orsaken till att dessa plattor valdes i stället för andra med större ljusgenomsläpplighet var i första hand att de bedömdes ge takytan ett tilltalande utseende. Glas valdes bort av kostnadsskäl.

2.2.3 Luftkanal

Luften från solfångaren går genom en vertikal plåttrumma med diametern 152 mm ned till ackumulatorn. Trumman är utvändigt isolerad med 20 mm mineralull. I trumman, 440 mm över golv är monterad en axialfläkt med en nominell kapacitet vid 3-fasinkoppling av $252 \text{ m}^3/\text{h}$ vid en tryckökning av 80 Pa (8 mm VP). Fläkten var enfaskopplad, varför kapaciteten fick bestämmas med direkta mätningar av luftflödet.

2.2.4 Ackumulator

Från fläkten fortsätter den vertikala trumman ner genom golvet till en nivå 400 mm under golvytan. Där grenar sig ledningen i två cirkulära plåtkanaler med diametern 102 mm som leder luften i slingor fram till utloppen, se FIG.

2.2.4a. Utloppen sticker upp genom golvet under fönstren. Kanalerna är spiralfalsade och tillverkade av $0,5 \text{ mm}$ förzinkad stålplåt. Den totala längden av kanalerna är för den södra delen $15,4 \text{ m}$ och för den norra delen $17,5 \text{ m}$. Detta ger en total beröringsyta mellan kanalerna och den cirkulerande luften av $10,5 \text{ m}^2$. Runt kanalerna är fyllt med sand. Tjockleken av sandskiktet är 50 cm . Golvet består av 13 mm spontad spånskiva, klistrad på en 50 mm isolering av expanderad polystyren. Denna ligger direkt på ackumulatorns sandlager, se FIG. 2.2.c.

3. MÄTNINGAR

Från slutet av juni till början av september 1974 utfördes manuella mätningar av utetemperatur, temperatur efter solfångaren, temperatur i inblåsningssluffen samt temperaturen i tre punkter i sandbädden. Temperaturen på upp till 51°C noterades då på luften efter solfångaren. Resultaten var så pass intressanta att det ansågs värdefullt att utföra kontinuerliga mätningar enligt ett utvidgat program. Sådana mätningar utfördes under perioden oktober 1974 - september 1975 av temperatur, värmefflöde och solvärde. Under 1974 utfördes dessutom en enstaka mätning av fukthalten i ackumulatorn. Bestämning av luftflödet och kontroll av takplastens ljusgenomsläpplighet utfördes 1977.

3.1 Kontinuerliga mätningar

Temperaturen mättes med metallfolieskärmade koppar-konstantangivare i 22 punkter placerade så som framgår av FIG. 2.2b-c och 2.2.4a. Temperatur 13 och 14 har mätts som medelvärden av temperaturen i fyra punkter. Övriga temperaturer är mätta i en punkt. Värmefflödet genom takisoleringen mättes vid punkt 23 i FIG. 2.2c mitt i takets södra del med flödesgivare typ NTO, diameter 106 mm. Solstrålningen mättes vid punkt 24 i FIG. 2.2c med en horisontellt monterad solarimeter typ Kipp & Zonen. Mätvärdena från punkt 1-24 registrerades med hjälp av en punkt-skrivare typ Philips PR 3500 med timer. Värdena registrerades med intervall enligt FIG. 3.1.1d på 17 st mätrullar som förvaras av oss.

3.1.1 Bearbetning av kontinuerliga mätningar

Vissa av de kontinuerligt uppmätta värdena har ett allmänt intresse och är till hjälp vid urval av särskilt intressanta perioder. Särskilt är det följande värden som är intressanta.

- 1 = Utetemperatur
- 8 = Lufttemperatur efter solfångaren
- 11 = Lufttemperatur efter ackumulatortorn
- 13 = Rumstemperatur
- 20 = Tendensvärde för ackumulatortemperatur
- 24 = Solarimetervärde

Dessa värden har avlästs från rullarna i hela grader respektive 10-tals W/m^2 och dygnsmedelvärdena har beräknats med bordsdator. Resultatet av denna bearbetning framgår av TAB. 3.1.1a och FIG. 3.1.1a - c.

På samma sätt har periodmedelvärden och årsmedelvärden beräknats och sammanställts i TAB. 3.1.1a och FIG. 3.1.1d. Värdena på utetemperatur och solstrålning har jämförts med värden erhållna av Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) från deras närbelägna stationer i Stehag och Svalöv. SMHI:s värden har sammanställts i TAB. 3.1.1b och inritats i FIG. 3.1.1d.

3.1.2 Detaljstudier av särskilt intressanta dygn

För att närmare studera skeendet under vissa dygn har intressanta värden avlästs med skattad 10-dels grad och-kurvor har sammanställts för följande dygn

1974 12 06	FIG. 3.1.2a
1975 01 05	FIG. 3.1.2b
1975 02 14 - 16	FIG. 3.1.2c
1975 03 21 - 23	FIG. 3.1.2d
1975 06 24	FIG. 3.1.2e
1975 08 09 - 11	FIG. 3.1.2f

Vindstyrka, vindriktning och nederbörd för dessa dygn jämte dygnen 1975 05 11, 0603, 0611 och 0916 vid SMHI:s väderleksstationer i Sturup och Lund har sammanställts i TAB. 3.1.2a.

3.1.3 Åtgärder under mätningarnas gång

Under mätningarna har uppstått avbrott på grund av semester, juluppehåll, reparation av mätutrustning, byte av mäturullar m.m. En viss extrapolering har därför varit nödvändig vid beräkning av årsmedelvärdet, se TAB. 3.1.1a. Efter försök med olika intervall fann man att 60 min. är ett lämpligt intervall mellan registreringarna.

Som framgår av FIG. 3.1.2c erhålles betydligt lägre temperaturer i solfångarens norra sida än i den södra (temperatur 7 respektive 4). På grund av utstrålning mot himlen blev förlusterna från den norra delen av solfångaren större än den infångade effekten. Inverkan av den norra delen av solfångaren under de tre dygnet som visas i figuren har förstärkts av att vinden kom från nordliga riktningar (TAB. 3.1.2a).

Genom att norra och södra delen är förbundna med varandra via samlingskanalen kan vinden öka flödet i den norra delen och sänka det i den södra. En viss skiktning av luften i samlingskanalen kan inte heller uteslutas vid de låga lufthastigheter det här är fråga om. Genom att utloppet sitter i botten av samlingskanalen skulle då den kallaste luften lättast sugas ner i den vertikala kanalen. Resultatet visar sig i figuren så att kurvan för temperatur 8 ligger mycket närmare temperatur 7 än 4. Efter mätperiod 8 stängdes norra sidan av solfångaren (se FIG. 3.1.1d) genom att inloppet tätades med mineralullsdrev. Utstrålningen från solfångaren under klara nätter var betydande. Temperaturen i solfångarens utlopp, 8, kunde vara flera grader lägre än uteluftens temperatur, 1. FIG. 3.1.2d visar förloppet 75 03 21 - 23. Fläkten, som tidigare hade gått utan avbrott stängdes därför av under nätterna under mätperiod 12 - 17. Den startades cirka en halv timme efter soluppgången och stoppades cirka en halv timme före solnedgången.

3.1.4 Kommentarer till sammanställningarna

I FIG. 3.1.1a som visar dygnsmedelvärden av utetemperatur (1) och temperaturen efter solfångaren (8) har mellanrummet mellan kurvorna fyllts i för de dygn där medelvärdet av temperatur 8 är lägre än medelvärdet av temperatur 1.

De fyllda staplarna nedtill i diagrammet anger storleken av dygnsmedelvärdet av temperaturunderskott på grund av utstrålning från solfångaren. Detta har beräknats så att skillnaden mellan utetemperatur (1) och temperaturen efter solfångaren (8) har beräknats för de avläsningar där 8 är lägre än 1. Skillnaderna har summerats och dividerats med totala antalet avläsningar samma dygn. Medeltemperaturunderskottet för de olika mätperioderna har angivits i TAB. 3.1.1a.

Beräkningen har ej utförts för mätperiod 12 - 17 då fläkten stått stilla under natten. Under dessa senare perioder har temperatur 8 legat mycket nära innetemperaturen under den tid på dygnet då fläkten varit avstängd. Skillnaden mellan temperatur 8 och 13 uppstår under dagen då fläkten är igång.

Studerar man FIG. 3.1.1a finner man att det redan under mars månad uppstår betydande temperaturhöjningar i solfångaren. Temperaturen efter solfångaren är i denna månad i medeltal drygt 4 grader lägre än utetemperatur trots att fläkten var igång även på natten (TAB. 3.1.1a). Jämför man med FIG. 3.1.2d ser man att temperaturen i solfångaren under en solig marsdag kan stiga till 35-40°C. Detta stöder den uppfattningen att betydande energimängder finns att hämta vid eldningssäsongens slut utan att långtidslagring behöver tillgripas. Samma förhållande kan iakttagas vid början av eldningssäsongen.

Lufttemperaturen i de båda utloppen efter ackumulatorn har visat sig ligga mycket nära varandra. Skillnaden mellan dem har högst uppgått till några tiondelar av en grad. I FIG. 3.1.1b visar den undre kurvan lufttemperaturen i det ena utloppet (11). Under mätperiod 1 - 11 har dygnsmedelvärdet beräknats som det aritmetiska medelvärdet av alla avläsningarna.

Under period 12 - 17 då fläkten varit avstängd under natten har temperaturen 11 legat mycket nära rumstemperaturen (13) under avstängningsperioderna. Som signifikant värde för temperatur 11 har då istället valts den mest förekommande temperaturen (heltalssiffra) under tillslagsperioden.

Den övre kurvan i FIG. 3.1.1b visar marktemperaturen 0,5 m under sandlagret i ackumulatorns mitt. Vid närmare granskning av värdena från de givare som varit nedgrävda i ackumulatorn finner man att de har varit utsatta för störningar. FIG. 3.1.2c ger en bild av dessa störningar. Man ser bl.a. att givarna i ackumulatorn har registrerat högre temperaturer än temperaturen på luften efter ackumulatorn (11). Förhållandet borde vara det motsatta eftersom luften är betydligt varmare än ackumulatorn när den leds in i den (8).

Man ser också att vissa av värdena uppvisar relativt snabba växlingar som rimligen inte kan motsvaras av verkliga temperatursvängningar i den värmetröga ackumulatorn. Orsakerna till störningarna kan möjligen vara fukt och/eller störströmmar.

På grund av nämnda störningar måste man därför betrakta kurvan för temperatur 20 i FIG. 3.1.1b enbart som en tendenskurva för temperaturutvecklingen i ackumulatorn.

I FIG. 3.1.1c anger stapeldiagrammet dygnsmedelvärdena av rumstemperaturen 13. Skillnaderna mellan de lufttemperaturer som uppmätts inomhus har varit små. Således har temperatur 14 som mest varit några tiondels grader högre än 13. Samma förhållande har gällt 15 - 14 och 16 - 15. När fläkten stått stilla har skillnaden mellan temperatur 16 och 11 i allmänhet varit mindre än $1,5^{\circ}$.

Punktmarkeringarna i FIG. 3.1.1c anger dygnsmedelvärden för solinstrålningen mot en horisontell yta (24). De är angivna i W/m^2 och har beräknats så att avlästa värden summerats, varefter summan dividerats med antalet tidsintervall per dygn. För jämförelse med de uppmätta värdena på solstrålning har i diagrammet ritats in en kurva visande solinstrålningen mot horisontell yta klara dagar på breddgraden $56^{\circ}N$ enligt Brown & Isfält (1969).

I FIG. 3.1.1d har för de olika mätperioderna 1 - 17 medelvärdena angivits med nivålinjer inom den bearbetade tidsperioden. Medelvärdena avser temperaturerna 1, 8, 11, 13, temperaturtendensvärdet 20 samt solarmetervärdet 24. Årsmedelvärdet för mätåret oktober 1974 - september 1975 har också markerats. Vid beräkningen av årsmedelvärdet har periodmedelvärdena antagits gälla mellan de vertikala begränsningslinjerna, totalt 365 dygn. Av dessa är 268 dygn bearbetade, alltså en medeltäckning av 73 %, jämför TAB. 3.1.1b.

För jämförelse har även inritats nivålinjer för utetemperatur i Stehag och soltimmar i Svalöv. Månadsmedelvärdena grundar sig på statistik från SMHI.

I FIG. 3.1.1d har även angivits under vilka perioder takets norrsida respektive fläkten varit avstängda samt mätintervallens ungefärliga längd under de olika perioderna.

3.1.5 Temperaturkurvornas periodicitet

Om man studerar FIG. 3.1.1a-c framträder tydligt en periodicitet i kurvorna. Särskilt tydliga är t.ex. tvåveckorsperioderna i juni. Närmare kunskaper om dessa perioders längd och amplitud kan vara av värde t.ex. vid dimensionering av korttidsackumulatorer.

3.1.6 Lägsta och högsta dygnsmedelvärden

Lägsta värden på utetemperatur (1) och temperatur efter ackumulatören (11) samt på tendensvärdet för marktemperaturen (20) noterades 75 02 16 till $-5,0^{\circ}$, $1,9^{\circ}$ och $4,6^{\circ}$. Lägsta medelvärde på temperaturen efter solfångaren (8) och rumstemperatur (13) noterades 75 02 15 till $-6,6^{\circ}$ resp. $3,6^{\circ}$. Inget utslag på solarimetern noterades 1974 11 26, 28, 29, 1974 12 14, 16, 1975 01 03, 04, 06 och 1975 02 01, Högsta medelvärden på temperatur 1, 8, 11 och 13 noterades 1975 08 09 till $27,1^{\circ}$, $42,1^{\circ}$, $29,5^{\circ}$ och $34,1^{\circ}$. Tendensvärde 20 nådde sin topp $30,3^{\circ}$ 1975 08 16.

Mest soliga dygn noterades 1975 06 11 med 357 W/m^2 medelinstrålning, vilket motsvarar en total instrålning av $8,57 \text{ kWh/m}^2$ dygn mot en horisontell yta.

3.1.7 Lägsta och högsta momentanvärden

Lägsta temperatur som registrerades under mätåret var $-21,1^\circ$ i punkt 2 i solfångaren. Detta inträffade på morgonen 1975 02 16, se FIG. 3.1.2c.

Vid samma tidpunkt nådde även temperatur 1, 3 - 8, 11 och 13 sina lägsta värden. Utetemperaturen var $-12,5^\circ$, inblåsningstemperaturen $0,9^\circ$ och rumstemperaturen $-3,0^\circ$.

Temperaturerna i solfångaren nådde toppvärden mitt på dagen 1975 08 09 och 10. Högst var ytttemperaturen (17) med $79,3^\circ$, se FIG. 3.1.2f. Högsta värdet på temperaturen efter solfångaren var $66,8^\circ$. Inblåsningstemperaturen (11) nådde toppvärdet $24,4^\circ$ 0811. Rumstemperaturen (13) var $+40,6^\circ$ 0809 kl. 17.30. Det högsta värdet på solinstrålning som registrerades var 890 W/m^2 . Detta inträffade mitt på dagen 1975 05 27, 29, 30, 1975 06 04, 11 och 12.

3.2 Kontroll av ljusgenomsläpplighet

Ljusgenomsläppligheten efter 2,5 års användning kontrollerades i juni 1977 på en plastplatta som tagits loss ur taket. Plattan placerades horisontellt på två bockar med höjden 70 cm. Plattorna hade då fått en för ögat svagt märkbar nedsmutsning. Kontrollen utfördes med en luxmätare av fabrikat Ljuskultur, Stockholm, kalibrerad i augusti 1975.

Ljusmätaren ställdes på plattan resp. hölls mot undersidan av plattan med öppningen uppåt och värdet på ljusintensiteten avlästes. Vid mätning utomhus vid molnigt väder uppmättes en ljusgenomsläpplighet av 60 %. Motsvarande värde vid mätning i dagsljus inomhus blev 45 %.

Den stora skillnaden mellan de olika värdena kan bero på att ljusintensiteten vid mättillfället var relativt låg. Den spektrala omfördelningen av ljuset vid passage genom fönstren kan också bidra.

Vid transmissionsberäkningar har använts det av fabrikan-
ten uppgivna värdet 50 %.

3.3 Mätning av luftflöde

På grund av att fläkten var kopplad för enfasdrift gav den ett luftflöde som var betydligt lägre än det nominella. Lufthastigheten var så låg att en mätning av dynamiska trycket med prandtlrör (Svensson, A 1977) gav ett osäkert resultat. Därför utfördes också en mätning av flödet med påsmetoden .

Resultatet blev 113 respektive 94 m³/h vid de olika metoderna. Vid beräkning av effekter för solvärmesystemet har vi antagit ett flöde av 100 m³/h. Detta motsvarar en lufthastighet av 0,1 m/s i solfångaren (norrvidan avstängd), 1,5 m/s i fläkttrumman och 1,7 m/s i ackumulatorn. Tryckfallet över ackumulatorn uppmättes till 0,03 kPa (3 mm Vp).

3.4 Fukthalt i ackumulatormaterialet

Fukthalten i ackumulatorn kan vid en konstruktion som det här är fråga om bl.a påverka ackumuleringsförmågan, värmeförlusterna och golvetts funktion. För bestämning av fukthalten togs prover på två ställen 1974 05 28. Det ena provet togs mitt i ackumulatorn, det andra i ett av hörnen. Fukthalten bestämdes för fem olika nivåer i sanden samt för marken omedelbart under sanden. Denna bestämning utfördes av Gullfiber AB på deras laboratorium i Billesholm. Fukthalten i sanden varierade mellan 0,9 och 4,6 viktsprocent med de högsta värdena närmast marken. I markytan under provställena var fukthalten 6 - 11 viktsprocent.

4. SOLFÅNGARE

De mätresultat som erhållits ger en möjlighet att studera solfångarens funktion vid olika förhållanden. Solfångarens effekt, verkningsgrad och värmebalans kan beräknas. Utifrån erhållna värden kan olika förbättringar av solfångaren diskuteras.

4.1 Instrålad effekt

Storleken av den instrålade effekten kan beräknas med hjälp av avlästa solarimetervärden. Beroende på att solarimetern var placerad horisontellt och solfångaren lutar, uppstår vissa svårigheter, beroende på att fördelningen mellan direkt och diffus strålning varierar.

4.1.1 Direkt och diffus strålning

Vid klar himmel dominerar den direkta strålningen. Brown & Isfält (1974) anger en approximativ formel för den direkta strålningen mot ett plan vinkelrätt mot strålningsriktningen.

$$I_{DN} = 980 \cdot e^{-0,158 (\sin h)^{-1}} \text{ W/m}^2 \quad (4:1)$$

där h betecknar solhöjden.

Den diffusa strålningens intensitet är beroende av den direkta. Höglund & Stephenson (1968) och Sandberg (1973) anger ett förhållande C mellan intensiteterna för diffus strålning mot en horisontell yta och direkt strålning vinkelrätt mot strålningsriktningen till

$$C = \frac{I_{dH}}{I_{DN}} = 0,1 \quad (4:2)$$

som en lämplig approximation för svenska förhållanden under klara dagar. Under molniga dagar är värdet C lågt men eftersom den uppmätta totala strålningen också är låg är det inte orimligt att anta att medelvärdet av den diffusa strålningen även under molniga perioder är av ungefär samma absoluta storleksordning som under klara dagar. Av naturliga skäl är det ju i första hand direkta strålningen som hindras av molnen.

Med hjälp av (4:1) och (4:2) får man då

$$I_{dH} = 98 e^{-0,158 (\sin h)^{-1}} \text{ W/m}^2 \quad (4:3)$$

4.1.2 Beräkning av instrålad effekt

Beräkningen har utförts med två olika metoder.

Vid beräkning enligt metod A har vi använt oss av formel (4:3) med det tillägget att

$$I_{dH} \leq I_{avläst} \quad (4:4)$$

Den direkta strålningen mot horisontell yta blir då

$$I_{dH} = (I_{avläst} - I_{dH}) \geq 0 \quad (4:5)$$

Om den diffusa strålningen antages vara jämnt fördelad över himlavalvet (markreflekterad strålning får liten inverkan vid flacka ytor) blir den mot solfångarplanet instrålade effekten mot yta med arean $A \text{ m}^2$:

$$P = A \left[I_{dH} (\sin h)^{-1} (\sin h \cos v + \cos h \sin v \cos a_s) + I_{dH} (\cos v + 0,5 \sin v) \right] W \quad (4:6)$$

Vinkeln v betecknar solfångarens lutning mot horisontalplanet. Vinkeln a_s är skillnaden mellan solstrålningens asimut (a) och asimut för en stråle vinkelrätt mot solfångarens yta.

För att studera hur stor inverkan den diffusa strålningen kunde ha på beräkningen av verkningsgraden beräknades den instrålade effekten enligt metod B under antagande att all solstrålning var direkt. Formeln för instrålad effekt blir då

$$P = A \cdot I_{avläst} (\sin h)^{-1} (\sin h \cos v + \cos h \sin v \cos a_s) W \quad (4:7)$$

Formel (4:6) och (4:7) erhålles enklast genom uppdelning av strålningen i komponenter som tänkes belysa solfångarens projektioner. (Pleijel 1962).

Solhöjden h fås ur formeln

$$\sin h = \sin d \sin b + \cos d \cos b \cos t \quad (4:8)$$

Solens asimut a fås ur formeln

$$\sin a \cos h = \cos d \sin t \quad (4:9)$$

I formel (4:8) och (4:9) betecknar d solens deklination. Denna kan erhållas ur Den Svenska Almanackan. Vinkeln b betecknar breddgraden ($55,85^{\circ}\text{N}$).

Timvinkeln t erhålles ur formeln

$$t = (K_s - 12) 15^{\circ} \quad (4:10)$$

där K_s betecknar klockslaget i sann soltid.

Beräkningen av instrålad effekt har utförts med programmerad bordsdator.

4.2 Verkningsgrad

För att kunna göra jämförelser mellan solfångare av olika konstruktioner kan det vara praktiskt att definiera verkningsgraden som förhållandet mellan uppvärmningseffekten på värmetransportmediet och den totalt instrålade effekten mot ett tänkt plan i solfångarens ytteryta.

Storleken av uppvärmningseffekten på den passerande luften erhålles genom att temperaturökningen multipliceras med värmekapaciteten hos den passerande luftmängden.

4.2.1 Beräkning av verkningsgrad

Beräkning av solfångarens verkningsgrad har utförts för 4 olika dagar under mätperioden. Den ena dagen, den 11 juni är den soligaste dag som registrerats och utetemperaturen ligger $8,2^{\circ}$ över medelvärdet för mätåret. De tre andra dagarna ligger när årsmedelvärdet i fråga om utetemperatur ($9,2^{\circ}\text{C}$) och solstrålning (126 W/m^2). På morgonen den 11 maj inträffade en partiell solförmörkelse kl. 6.31-8.31. Endast den del av dagen då fläkten varit tillslagen har medtagits. Beräkningsresultatet framgår av tab. 4:2a-d. Endast vid ett tillfälle har den direkta strålningen enligt metod A blivit noll ($3/6$). Det låga solarimetervärdet beror förmodligen på att ett litet moln skytt den direkta strålningen. Den högre verkningsgraden som erhöles vid detta tillfälle kan bero på solfångarens värmekapacitet. Denna har även påverkat resultatet vid de höga värdena på 10 % i TAB. 4:2a där solinstrålningen temporärt visar lägre värden. Värmekapaciteten i absorptionsmaterialet har även medfört att verkningsgraden i genomsnitt visar något högre värden på eftermiddagen än på förmiddagen.

Vid mätning av verkningsgraden hos en solfångare bör man ta hänsyn till skillnaden i snabbhet mellan solarimetern och temperaturväxlingarna i solfångaren. Det kan vara motiverat att göra tätare avläsningar av solarimetervärdet än temperaturerna.

Värdena på verkningsgraden som erhöles med de två olika beräkningsmetoderna ligger mycket nära varandra. I TAB. 4.2d som gäller för 1975 09 16 har uppstått en skillnad på 0,1 %. Detta kan bero på det låga solståndet denna dag.

4.3 Förluster

För att närmare studera hur värmeförlusterna från solfångaren fördelar sig kan man välja de tidpunkter i TAB. 4.2a-d då verkningsgraden har värden i närheten av medelvärdet. Inverkan av solfångarens värmekapacitet bör då vara ringa. Ur värdena på förlusterna kan även värmegenomgångskoefficienten för solfångarens utsida, k_{ut} , beräknas. I denna koefficient infattas i detta fall även inverkan av de förluster som uppstår på grund av reflexion. av solljus från den svarta ytan. Resultatet framgår av TAB. 4.3a. Vid beräkning av instrålad effekt mot den svarta ytan har antagits att 50 % av solstrålningen passerar plastskiktet. Förlusterna utåt är helt dominerande och utgör 87 % av den effekt som den svarta ytan tar emot. K -värdet för utsidan är högt. Förutom den intensiva utstrålningen kan det bero på otätheter i skarvar och osäkerheten i värdet på plastens transparens.

4.4 Solfångarens värmebalans

För att ytterligare exemplifiera värmeflödet i solfångaren har en värmebalans för solfångarens svarta yta uppställts för de tre soliga dagarna 1975 08 09 - 11. (Jfr. FIG. 3.1.2f). Beräkningen har skett med samma förutsättningar som i 4.3 och har kompletterats med en bestämning av k_{ut} . Även här erhålles höga värden på värmegenomgångskoefficienten. Resultatet framgår av TAB. 4.4a-c.

4.5 Förbättring av solfångaren

Den enkla uppbyggnaden av solfångaren och det lilla luftflödet ger en låg termisk verkningsgrad. Cirka 5 % av den effekt som strålar in mot ett plan i solfångarens ytteryta föres vidare till ackumulatorn. Ytterligare någon procent tillföres huset genom takisoleringen. Om man vill öka solfångarens effekt och verkningsgrad kan man ändra på någon eller några av de faktorer som påverkar dess funktion.

4.5.1 Solfångarens orientering

Lutande solfångare bör vara vända mot söder för att ge största effekt. Löfberg & Liljedahl (1976) anger sannolikheterna för solsken vid olika tider på dagen under årets olika månader. Studerar man värdena som anges för Åkarp och Lund ser man att sannolikheten för solsken under våren och försommaren är större under eftermiddagen än under förmiddagen. Under en kort period kring månadsskiftet augusti - september kan förhållandet vara det motsatta, men dock mindre markerat. Eftersom våren är en temperaturhöjningsperiod är den naturligtvis mest intressant och därför skulle man kunna motivera att en södervänd solfångare var orienterad något åt sydväst. En vridning av solfångaren 45° från söderriktningen ger dock ett ganska litet utslag i form av minskad solinstrålning så länge som man arbetar med måttliga lutningar på solfångaren. Enligt Peterson & al (1977) minskar strålningen med 6 % under medelmolniga dagar i april månad mot en solfångare med 45° lutning på Stockholms breddgrad. Vilken lutning som ger störst effekt beror på vid vilken tidpunkt på året man gör mätningen. Johansson & al (1975) anger lutningar lika med latituden eller något större som optimala. Peterson & al (1977) anger värden enl. TAB. 4.5a för total solinstrålning medelmolniga dagar mot söderorienterade ytor på Stockholms horisont med lutning 60° resp. 15° .

Man ser att skillnaderna, sett över hela året är relativt små, vilket medger att solfångarens lutning kan variera inom vida gränser utan att dess effekt försämras drastiskt. Detta ger möjligheter att anpassa taklutningen till olika önskemål från fall till fall. Med den här aktuella konstruktionen kan också en liten försämring på grund av mindre optimal lutning kompenseras på ett billigt sätt genom att solfångarens yta ökas. Ju längre söderut i landet man kommer ju förmånligare blir de lägre lutningarna. Möjligheten att lagra den infångade solvärmen påverkar också bestämningen av optimal lutning. Allmänt kan sägas att ju mindre lagringsmöjligheterna är, ju större lutning bör man använda. Är behovet av värme säsongsbundet bestämmas lutningen med hänsyn till detta.

4.5.2 Spegelar

Med lämpligt placerade speglar kan den instrålade effekten ökas och därmed också den utgående effekten (Morawetz 1975) Denna metod lämpar sig bäst när man använder mera koncentrerade solfångare.

4.5.3 Det transparenta materialets egenskaper.

Utstrålning

Antalet skikt av transparent material, liksom dess tjocklek kan varieras. Johansson & al (1975) har visat att dubbla skikt av glas kan vara riktigt under vissa förhållanden.

Olika material reflekterar solljus olika mycket. Professor George Löf, Denver, Colorado, USA har påtalat fördelarna med "Low reflectance glass". Korrigering, reffling och liknande åtgärder kan under vissa förutsättningar få till resultat att reflektionen minskar. Liksom för glas borde även plastmaterialens reflektionsegenskaper kunna modifieras.

Vissa typer av plaster samt glas har lägre absorbtion av solljus än halvtransparent PVC. Detta får vägas mot synpunkter på utseende, pris och hållbarhet.

Det är känt att glas reflekterar värmestrålning bättre än vissa plaster och därför bättre hindrar värmen från solfångaren att gå förlorad. Det är även känt att glas kan förses med en värmereflekterande beläggning utan att genomsläppligheten för solljus minskar i betydande grad. En sådan beläggning på insidan av de transparenta materialet skulle ytterligare minska värmeförlusterna utåt.

Hur viktigt det är att hindra utstrålningen av värme framgår inte minst av FIG. 3.1.2c och d. Så uppvisar t.ex. natten 1975 02 14 - 15 temperaturer i luften i solfångaren som ligger 7° under utetemperatur. Här kan man göra en jämförelse med de värden som Brown (1956) erhållit för en horisontell yta vid utetemperatur -8°C under helt klara nätter.

Medeltalet av hans mätningar visar en effektiv motstrålningstemperatur av -25°C och en ökning av värmegenomgången med 16 % vilket motsvarar en sänkning av utetemperatur med $4,5^{\circ}\text{C}$. En orsak till att vi erhållit en stor temperatursänkning är att takplasten hindrar den fria konvektionen av uteluft vid den svarta ytan. Av resultatet framgår i hur hög grad värmeförlusterna från en byggnads yttertor kan påverkas av utstrålning. Detta kan också vara en del av förklaringen till kondensproblem som uppstår t.ex. i vissa takkonstruktioner.

Verkan av utstrålningen ger även anledning förmoda att ett taksprång kan ha en betydande inverkan på yttemperaturen hos väggen genom att avskärma den från en del av natt-himlen. Samma sak gäller kanske i ännu högre grad fönstren. En närmare undersökning av taksprångets betydelse för väggens yttemperatur och för utstrålningen från rummet genom fönsterytorna vore motiverad. Utföres taket som solfångare kan man tillgodogöra sig den solstrålning som annars taksprånget hindrar.

Man bör i detta sammanhang påminna sig de övriga positiva effekter som ett stort taksprång kan ge. Genom att det minskar nedfuktning och luftcirkulation på väggytan minskar nedkylningen.

Dessutom minskar påfrestningen på fasadens ytmaterial och fogar samt risken för nedfuktning av väggens inre. Ett stort taksprång vid södervända fasader ger möjlighet till passiv reglering av solinstrålning. Det kan även utnyttjas som tak över uteplats.

4.5.4 Absorbtionsytans egenskaper

Hos vissa färger kan absorbtansen för solljus och emittansen för värmestrålning vara av samma storleksordning. En selektiv yta kan däremot ha helt olika värden på absorbtans och emittans. De författare som studerat dessa problem är bl.a. Erdman (1977), Olsson C H (1975) och Peterson & Ringblom (1976, 1977). Hur dessa selektiva ytor fungerar i praktiskt drift syns dock hittills vara relativt oprövat. Hur en selektiv beläggning skulle kunna påverka förlusterna hos solfångaren i Eslöv kan man bedöma om man beräknar k -värdet för solfångarens utsida ur försökstestresultaten och jämför det med en konstruktion med ett ogenomskinligt ytmaterial för vilken k -värdet kan beräknas med vedertagna metoder. Enligt 4.3 - 4 blir k -värdet för den aktuella ytbelädnaden 9 - 10 $W/m^{20}C$. En beräkning av k -värdet för en konstruktion med strålningstätt ytmaterial ger ett k -värde på 4 - 5 $W/m^{20}C$.

Om instrålad energi mot ett plan i solfångarens ytteryta sättes till 100 W och plastens transparens till 50 % skulle förlusterna utåt från den svarta ytan bli 50 - 5 = 45 W vid den befintliga konstruktionen med 5 % verkningsgrad.

Om plasten tänkes utbytt mot ett strålningstätt skikt skulle förlusterna minska till ungefär hälften, d.v.s. 23 W. Resten av effekten skulle tillgodogöras, varvid verkningsgraden skulle öka till 5 + (45 - 23) = 27 % om övriga faktorer kunde hållas konstanta, vilket är osäkert. Beräkningen ger emellertid en antydning om att mycket stora energivinster finns att hämta vid denna typ av solfångare om man kan förhindra värmestrålning utåt. En selektiv absorbtionsyta och ett selektivt transparent material kan här samverka.

4.5.5 Luftflödets storlek

Genom att öka luftflödet i solfångaren kyls den bättre. Att flödet i vårt fall varit för litet för att hålla ner temperaturen i solfångaren under dagar med stark sol framgår tydligt av de höga temperaturvärden som uppnåtts. Studerar man kurvorna för temperatur 3 och 4 i FIG. 3.1.2c och d, temperatur 3 och 8 i FIG. 3.1.2c och d, samt kurvorna för temperaturhöjning i solfångaren i FIG. 4.5.5a finner man att temperaturhöjningen i den övre delen av solfångaren är mycket liten. Detta beror på att förlusterna från denna del av solfångaren, tack vare den höga lufttemperaturen, är ungefär lika stora som den instrålade effekten. En lägre temperatur i solfångaren medför att förlusterna minskar. Det större flödet för med sig mera värme som kan tillgodogöras. Om det större flödet innebär större lufthastighet i solfångaren måste man dock observera att luftsplattens värmemotstånd minskar kraftigt. Dessutom sjunker den utgående temperaturen vilket kan vara en nackdel vid lagring och förbrukning. Bankvall (1971) anger följande formel för de konvektiva värmeövergångstalet för en luftspalt.

$$\alpha_k = 6.14 + 4.23^v W/M^{20}C \quad (4:5a)$$

vid hastigheter upp till 5 m/s.

För ett ökat luftflöde erfordras även ökad fläkteffekt. Som exempel på verkningsgrader vid högre lufthastigheter kan nämnas de resultat som redovisas av Henriksson & Virhammar (1976). De anger verkningsgrader på 30 - 50 % vid lufthastigheter på 0.7 - 1.9 m/s och flöden på 22 - 56 m³/h m² solfångaryta vilket kan jämföras med i vårt fall 5 % vid lufthastigheten 0,1 m/s och flödet 6 m³/h m² solfångaryta.

4.5.6 Isolerande spalt

Genom att leda luften i en spalt under absorbtionsmaterialet i stället för ovanför erhålles en spalt mellan detta och transparenten med luft som endast utsättes för egenkonvektion.

Med hjälp av avstängningar kan denna konvektion försvåras. Ett krav är att absorbtionsmaterialet måste ha lågt transmissionsmotstånd. Metallplåtar kan komma ifråga. Ett annat sätt att dubblera luftspalten är att använda dubbla transparenta skikt. Som undre transparent skikt kan man t.ex. använda en plastfolie.

I mera avancerade typer av solfångare har man valt att evakuera utrymmet mellan absorbtionsytan och det transparenta materialet.

4.5.7 Reglering av luftflödets storlek

Genom reglering av flödet i solfångaren kan man få flera fördelar. Fläkteffekt och lufthastighet anpassas automatiskt till behovet. Temperaturhöjningen eller den utgående temperaturen kan hållas konstant på ett lämpligt värde varvid ackumuleringen underlättas samtidigt som förlusterna från solfångaren hålls nere. Även en låg solinstrålning kan utnyttjas. Önskade värmeförskjutningar inom ackumulatören undviks.

Modulering av luftflödet med hjälp av tyristorstyrning av fläktens varvtal torde vara det bästa sättet men av kostnadsskäl kan det vara lämpligt att överväga andra lösningar. En fläkt med automatiskt från och tillslag kan kombineras med ett modulerande spjäll.

4.5.8 Styrning av luftflödet

Vid en solfångare som utgör klimatgräns för huset får man vissa förluster utåt även om cirkulationen är avstängd. På grund av absorbtorytans utstrålning mot den kalla natt-himlen kan dess temperatur underskrida utetemperaturen med 5 - 10°C. Detta framgår bl.a av FIG.3.1.2c. Vissa vinterdygn erhölls även ett lägre dygnsmedelvärde på temperaturen efter solfångaren än utetemperaturen, se FIG. 3.1.1a. Ett sätt att motverka dessa förluster vore att leda in uteluft i solfångaren, låta den värma absorbenten och där-
efter leda den ut igen.

Fläkten skulle då placeras före solfångaren för att en del av fläktvärmen skulle kunna tillgodogöras. En annan möjlighet är att öppna solfångaren för själv-cirkulation under utstrålningsperioderna. Det är tveksamt om dessa metoder kan tävla i lönsamhet med en ökad värmeisolering i taket.

4.5.9 Tätning av solfångaren

Som nämnts i 4:3 kan en del av förlusterna från solfångaren bero på otätheter i skarvarna. Inga särskilda åtgärder hade i detta fall vidtagits för att tätta skarvarna mellan plastplattorna. Det är möjligt att sådana åtgärder är lönsamma, speciellt om cirkulationsluften skall beröra plattorna. Fogarna mellan plastplattorna och kantbeslagen på taket hade tätats med en elastisk fogmassa. Denna visade efter 3 år en tydlig påverkan av de rörelser som uppstår i taket. Dessa rörelser kan vid extrema förhållanden bli centimeterstora och därför bör tätningarna utföras så att de medger stora rörelser.

5. ACKUMULATOR

Akkumulatoren fungerar som värmeväxlare luft-sand. Den skall alltså ha en viss värmeöverföringsförmåga som skall vara anpassad till behovet. Vidare skall den ha tillräcklig värmekapacitet och vara tillräckligt isolerad.

5.1 Värmeöverföring luft - kanaler

Förutsätter man turbulent strömning av torr luft i ackumulatoren erhåller man enligt VVS-handboken ett värmeövergångstal av $10 \text{ W/m}^2\text{C}$. Hela kanalarean skulle alltså kunna överföra 105 W för varje grad temperaturskillnad mellan cirkulationsluften och kanalerna vid den här aktuella strömningshastigheten. Motsvarande luftflöde $100 \text{ m}^3/\text{h}$ för med sig att värmeinnehåll av 36 W per grad. Det räcker alltså med en medeltemperaturskillnad på $0,34^\circ$ för att föra över energin från luften till kanalerna eller vice versa. Detta innebär i sin tur att temperaturen i luften efter ackumulatoren normalt inte skulle kunna vara mer än $0,34^\circ$ högre eller lägre än kanalernas temperatur vid utloppen. Eftersom kanalerna ligger inbäddade i sand med relativt stor värmekapacitet blir den utgående temperaturen därför ganska stabil. Detta avspeglar sig i kurvorna för temperatur 11 i FIG. 3.1.2c, e och f om man jämför dem med motsvarande kurvor för temperatur 8.

5.2 Värmeöverföring kanal - sand

Värmeledningsförmågan för sand med fuktkvoten 0,5 % anges i SBN till $0,4 \text{ W/m}^2\text{C}$. Om man skall överföra $10 \cdot 0,34 = 3,4 \text{ W/m}^2$ (jämför 5.1) fordras alltså ett temperaturfall av $8,5^\circ\text{C/m}$ närmast plåtkanalerna. Detta temperaturfall minskar snabbt med avståndet från kanalerna på grund av den ökande arean. På ett avstånd av 0,2 m har det minskat till $1,7^\circ\text{C/m}$. Summerar man temperaturfallen från kanalerna ut dit blir summan $0,68^\circ$ om man inte tar hänsyn till sandens värmekapacitet.

Uppvärmningen av sanden sker under cirka en tredjedel av ett soligt dygn. Under hela dygnet pågår värmeöverföring mellan ackumulatorns olika delar. Detta tillsammans med sandens värmekapacitet gör att temperaturskillnaderna inom sandlagret blir små. Under mätårets soligaste dag 1975 06 11 noterades en temperaturhöjning hos luften efter ackumulatort från fläktens start till stopp på endast $1,3^{\circ}\text{C}$. Dygnsmedelvärdet för solinstrålningen mot horisontell yta var 357 W/m^2 .

5.3 Ackumulatorns dygnsvärmekapacitet

Förmågan att ackumulera värme som tillföres ackumulatort under ett soligt dygn kan benämnas dygnsvärmekapacitet och betecknas med C_{dg} .

Den kan definieras som kvoten mellan tillförd energi under en dag n (Q_n) och skillnaden mellan eftermiddagstemperaturerna (t_e) i luften vid ackumulatorns utlopp dag n och dag $(n-1)$. Som eftermiddagstemperatur räknas under mätperioden 12 - 17 det högsta värde på temperatur 11 som registrerats under fläktens gångtid.

Alltså blir

$$C_{dg} = \frac{Q_n}{t_{en} - t_e(n-1)} \text{ kwh}/^{\circ}\text{C} \quad (5:1)$$

Dygnsvärmekapaciteten kan sägas vara ett mått på ackumulatorns förmåga att suga åt sig energi under ett dygn. Denna förmåga varierar med solighet och temperatur. Vill man få värden på säkra sidan kan man betrakta dygn med hög temperatur hos luften före ackumulatort t.ex.

1975 08 09 - 11, FIG. 3.1.2f. Tillförd solvärme under dessa tre dagar är 29 kwh och sammanlagd temperaturhöjning $1,3^{\circ}\text{C}$. Ur dessa värden fås ett medelvärde på dygnsvärmekapaciteten $C_{dg} = 22,3 \text{ kwh}/^{\circ}\text{C}$.

Akkumulatort innehåller $9,45 \text{ m}^3$ sand med en beräknad värmekapacitet av $4 \text{ kwh}/^{\circ}\text{C}$. Vid jämförelse med dygnsvärmekapaciteten framgår det att ackumulatort påverkas kraftigt av sin omgivning. Man har bl.a anledning tro att marken under sandlagret svarar för största delen av ackumuleringen.

De uppmätta temperaturerna i marken är visserligen osäkra men ger ändå en antydning om att så är fallet. (FIG.3.1.2 e). Den högre fuktkvoten i marken medverkar så att markens värmeledningsförmåga och värmekapacitet är större än sandens. Vid beräkning av dygnsvärmekapaciteten har ingen hänsyn tagits till värmeförluster till ackumulatorns omgivning.

5.4 Ackumulatorns fjortondagarskapacitet

Akkumulatorns dygnsvärmekapacitet beror främst på värmekapaciteten hos de ingående materialen. Lagringskapaciteten på längre sikt påverkas i hög grad av värmeförluster till omgivningen. För att studera detta har en värmebalansberäkning utförts för ackumulatorns sandbädd. Ur denna har sedan beräknats ackumulatorns fjortondagarskapacitet genom att differenser i värmebalansen dividerats med temperaturhöjningen (-sänkningen) i ackumulatorn. Resultaten framgår av TAB. 5.4a.

Den ena perioden är från mitten av maj och den andra från mitten av september. Man kan förmoda att solstrålningen mot marken utanför huset och mot grundmuren påverkar resultatet så att de beräknade förlusterna i höstfallet är för stora. Adamsson (1964) redovisar beräkningar av temperaturer i marken under en byggnad på utbredd platta. Med hjälp av de redovisade diagrammen kan man konstatera att uppvärmningen av marken kring huset under sommaren inverkar så att temperaturskillnaden mellan marken under respektive omkring huset är liten i september. I motsats till vid beräkning av dygnsvärmekapaciteten har här tagits hänsyn till värmeförluster till ackumulatorns omgivning.

5.5 Värmeförluster från ackumulatorn

Betraktar man den uppställda värmebalansen för ackumulatorn ser man att förlusterna särskilt genom yttre randfält och grundmur är stora. Här är det alltså nödvändigt med en förbättrad isolering om ackumulatorn ska kunna hålla kvar den tillförda värmen i nämnvärd utsträckning. Ytan mot grundmuren bör vara så liten som möjligt. Även förlusterna genom inre randfältet är betydande men här kan det räcka med en tunnare isolering. Den varma luften bör ledas ner i ackumulatorns mitt. Om ackumulatorns temperatur skall höjas högt över rumstemperaturen måste man ägna uppmärksamhet åt isoleringen i golvet så att golvet yttemperatur inte blir för hög.

5.6 Ackumulatorns cirkulationssystem

Den aktuella ackumulatorn har samma strömningsriktning vid uppvärmning och avkylning. Detta har den anckdelen att temperaturen omfördelas i ackumulatorn på ett ofördelaktigt sätt och temperaturförlusterna mellan uppladdning och urladdning ökar. Önskvärt är att använda motströmsprincipen så att strömningsriktningen vid urladdning är motsatt den vid uppladdning. Man skulle då få en "varm ände" och en "kall ände" i ackumulatorn. Vid laddning skulle man då kunna kyla cirkulationsluften maximalt, vid urladdning skulle man kunna få högsta möjliga temperatur på den utgående luften. Vill man göra en ackumulator som man kan ladda samtidigt som man tar ut värme till huset utföres den lämpligen tvådelad med växelspjäll. De varma ändarna placeras lämpligen i ackumulatorns mitt, se FIG. 5.6a.

6. ANLÄGGNINGENS CIRKULATIONSSYSTEM

Vid en anläggning innehållande luftbaserad solfångare och ackumulator avsedd för uppvärmning av huset kan man cirkulera luften på olika sätt. Av de fem olika sätt som framgår av FIG. 6a har vi använt oss av väg 3. Väg 1 kan användas för kompletterande tillförsel av uteluft. Väg 2 användes om man vill utnyttja lagrad värme. Väg 4 användes om man vill utnyttja direkt solvärme och väg 5 om man vill motverka förluster av utstrålning under klara nätter. Man lägger märke till att man redan med detta fåtal av komponenter får flera olika driftsfall och att det är flera reglertekniska problem som måste lösas om man vill ta till vara mesta möjliga energi. Önskar man tillvarata spillvärme från returluft tillkommer ytterligare vägalternativ.

7. FÖNSTER

Fönstrens totala glasarea är $3,81 \text{ m}^2$. Beroende på att de är placerade i söder och väster och inte försedda med några avskärningsanordningar får de ett stort inflytande på rumstemperaturen. Inverkan kan iaktas i FIG. 3.1.2c och f som visar att rumstemperaturen under dagen stiger över utetemperaturen trots att en viss kylning erhålles från ackumulatorn. Skillnaden har på eftermiddagarna kunnat uppgå till ett tiotal grader. Härtill bidrar i någon mån även de solvärmda ytorna av väggar och tak.

7.1 Instrålad effekt genom fönster

Instrålningen mot en tänkt yta utanför fönsterglaset kan beräknas på samma sätt som vid solfångaren (4.1). För att beräkna den effekt som passerar glaset har vi reducerat med en faktor för instrålning genom fönster med två klara glas som anges av Brown & Isfält (1974) till $K = 0,781$. Tar man hänsyn till uppdelningen i direkt och diffus strålning enligt metod A i 4.1.2 får vi för ett fönster följande formel för den instrålade effekten

$$P = 0,781 A (I_{dH} \cot h \cdot \cos a_s + 0,5 \cdot I_{dH}) W \quad (7:1)$$

Ovanstående formel har använts vid beräkning av värmebalansen för lokalen. Markreflekterad strålning mot fönster har ej medräknats, i gengäld har inte något avdrag gjorts från instrålad effekt genom fönster på grund av skärmning av nischer och ökad reflexion från glaset vid stora infallsvinklar. Instrålningsvärdena mot fönstren vid liten solhöjd är osäkra på grund av att solarimetern var placerad horisontellt.

Beräkningen har skett med hjälp av programmerad bordsdator.

8. VÄRMEBALANS FÖR LOKALEN

För att studera proportionerna mellan de olika energi-flödena har värmebalanser upprättats för dygnet 1974 12 06, 1975 01 05 och 1975 08 09 - 11. Resultatet framgår av FIG. 8a - b. Det första dygnet är en extremt solig vinterdag. (FIG. 3.1.2a). Anledningen till att solinstrålningen varit så mycket större än den som anges av Brown & Isfält (1969) för klara dagar syns vara reflexion från en molnbank som varit så belägen att den inte har skuggat solen. Enligt Peterson & al (1977) kan reflexionen från moln uppgå till 30 - 60 % av direkt solstrålning och strålning från marken som träffar molnet. Liknande höga värden på solstrålningen har förekommit 1974 10 26 och 11 23, se FIG. 3.1.1c.

Vid beräkningen av instrålad energi genom fönstren 1974 12 06 har därför avsteg måst göras från den metod som anges i 7.1. I stället har solinstrålningen beräknats enligt Brown & Isfält (1969) tabellgrupp 1.

Det andra vinterdygnet som valts är ett helmulet dygn med regn och duggregn samt med extremt små värme-flöden. (FIG. 3.1.2b). De tre sista dygnet är tre klara sommar-dygn med hög utetemperatur. (FIG. 3.1.2f).

Vid transmissionsberäkningarna har temperatur 17 använts som medelvärde för yttemperaturen på taket och temperatur 1 som utetemperatur för övriga ytor.

Vid beräkning av värme-genomgång genom golvet har antagits ett yttre randfält med 0,5 m bredd och värme-genomgångskoefficienten $k = 0,35 \text{ W/m}^{2\circ\text{C}}$ till uteluften. För övriga delar av golvet har k-värdet satts till $0,46 \text{ W/m}^{2\circ\text{C}}$ för värmebytet med ackumulatorn.

Den ofrivilliga ventilationen har antagits vara 0,5 omsättningar per timme under den tid då fläkten stått stilla. Granskar man de upprättade värmebalanserna lägger man märke till den dominerande betydelsen av fönstren under soliga dygn. Trots att solfångaren i taket har mycket större yta blir dess bidrag betydligt mindre och under 1974 12 06 t.o.m. negativt. Utstrålningen under natten, det höga k-värdet för solfångarens yta och den låga luft-hastigheten är de främsta orsakerna till detta.

Det är också väsentligt att komma ihåg att fönstren har saknat solavskärmning.

I FIG. 8a framkommer en tydlig obalans uppåt för det soliga dygnet och nedåt för det mulna. Förutom av anläggningens värmekapacitet kan detta bero på att samma k -värden använts vid beräkning av transmitterad värme båda dyggen, trots att utstrålningen från väggytor m.m. sannolikt är helt olika. Dessutom är det svårt att noggrannt bestämma solinstrålningen vid låga solhöjder med en solarimeter som registrerar instrålningen mot horisontell yta.

Under vinterdyggen framträder evakueringsförlusterna tydligt. Under dygnet 1974 12 06 motsvarar de ungefär den energi som hämtas från ackumulatorn. Under de varma dyggen i FIG. 8b fås däremot ett litet bidrag från den varma uteluften. Skillnaden ligger delvis i att fläkten i det senare fallet endast gick på dagen och att den norra delen av solfångaren då var bortkopplad, se FIG. 3.1.1d. Under de tre sommaryggen inträffar den dominerade delen av transmissionsförlusterna under natten.

9. KOSTNADER

Jämför man kostnaderna för ett solfångartak av den aktuella typen med ett konventionellt tak med betongpannor är det ytmaterialet som svarar för den dominerande differensen. Plastskivorna är 20 kr dyrare per m^2 än betongpannorna, räknat i 1977 års penningvärde. Svartmålningen av absorberytan och det noggrannare tätningsarbetet uppvägs av att plastskivorna är lättare att lägga.

Reglar och skivmaterial kan utföras på likartat sätt i de båda fallen om man väljer att cirkulera luften vinkelrätt mot takfallet.

Vill man jämföra kostnaderna med motsvarande siffror för vattenfyllda solfångare får man ta hänsyn till skillnaden i verkningsgrad. Öfverholm & Isaksson (1976) anger uppmätta verkningsgrader på omkring 30 - 40 % på två svenska försökshus med vattenburen solvärme. Kostnaden för sådana solfångare ligger vid cirka 700 kr/ m^2 inklusive montering. Detta ger en kostnad av storleksordningen 20 kr per procent verkningsgrad. Motsvarande kostnad i vårt fall med 5 % verkningsgrad blir ungefär 4 kr per procent vid nybyggnad och cirka 10 kr per procent vid ombyggnad.

En bedömning av kostnaderna för övriga delar av ett luftburet solvärmesystem får anstå tills vidare erfarenhet vunnits.

10. SLUTORD

Undersökningen har givit flera intressanta resultat som kan läggas till grund för vidare utveckling av ett energisnålt byggande.

Man lägger märke till det stora bidrag till husets värmeförsörjning som erhålles genom instrålning via fönstren. Stor vikt måste alltså läggas vid fönstrens placering och utformning, liksom vid anordningar för avskärmning och styrning av strålningen genom fönstren.

Utstrålningen av värme från husets ytor under klara dygn visar sig ha stor betydelse. En intressant aspekt på detta är inverkan av ett taksprång på utstrålningen från väggar och fönster. Här kan en fortsatt undersökning förväntas ge värdefulla resultat.

Genom att utföra husets tak med ett transparent ytskikt kan man med enkla medel få det att fungera som en kollektor för luftburen solvärme.

Kostnaden för en sådan solfångare blir vid nybyggnad omkring en femtedel av kostnaden för en vattenkyld solfångare, räknat per infångad kilowattimme, även om man räknar med en så låg termisk verkningsgrad som 5 % för den luftkylda solfångaren. Möjligheter finns att med olika förbättringar höja denna verkningsgrad väsentligt. När det gäller ackumulering av värme visar resultaten från undersökningen att en oisolerad ackumulator som ligger på marken under huset har mycket stora förluster. Ackumulatorns storlek, form, konstruktion och isolering måste studeras noggrant.

Kostnaden för distribution och lagring av luftburen solvärme är svåra att bedöma med utgångspunkt från denna undersökning. Vidare försök med olika styr- och regler-system samt ackumuleringsmetoder kan ge värdefulla bidrag till att den lättfångade luftburna solvärmens blir attraktiv för uppvärmningsändamål.

TABELLER

- 2.2a Begränsningsytornas storlek och värmegenomgångskoefficient.
- 3.1.1a Periodmedelvärden och årsmedelvärden av temperaturer och solstrålning mot horisontell yta.
- 3.1.1b Sammanställning av väderobservationer från Stehag och Svalöv enligt statistik från SMHI.
- 3.1.2a Vindriktning, vindhastighet och nederbörd enligt statistik från SMHI.
- 4.2a Solfångarens verkningsgrad 1975 05 11.
- 4.2b Solfångarens verkningsgrad 1975 06 03.
- 4.2c Solfångarens verkningsgrad 1975 06 11.
- 4.2d Solfångarens verkningsgrad 1975 09 16.
- 4.3.a Värmeförluster från solfångaren och värmegenomgångskoefficient för solfångarens utsida, k_{ut} .
- 4.4a Solfångarens värmebalans och värmegenomgångskoefficient för utsidan, k_{ut} 1975 08 09.
- 4.4b Solfångarens värmebalans och värmegenomgångskoefficient för utsidan, k_{ut} 1975 08 10.
- 4.4c Solfångarens värmebalans och värmegenomgångskoefficient för utsidan, k_{ut} 1975 08 11.
- 4.5a Total solinstrålning Wh/m^2 dygn medelmolniga dagar mot söderorienterade ytor med olika lutning.

5.4a

Värmebalans för ackumulatorns grusbädd och
ackumulatorns fjortondagarskapacitet.

TAB. 2.2a Begränsningsytornas storlek och värme-
gångskoefficient.

	Yta (m ²)	K (W/m ² °C)
Väggar	53.0	0.36
Fönster	4.5	2.69
Dörr	2.1	1.14
Golv	21.9	0.67 ^x
Tak	23.3	0.34
Luftkanal	2.3	1.51

^xGäller mellan rumsluft och överkant av sandlager i ackumu-
latorsn.

TAB. 3.1.1.a. Periodmedelvärden och årmedelvärden av temperaturer och solstrålning mot horisontell yta. 1-8 anger medeltemperaturunderskott på grund av utstrålning från solfångaren (3.1.4). Utetemp. Stehag är beräknad ur SMHI:s statistik för de bearbetade dygnet.

Period	Datum	Bearbetade dygn	Antals dygn	Temperaturer °C				Solstrålning W/m ²	Utetemperatur Stehag °C		
				1	8	1-8	11			13	20
1	1974 10 03 - 13	11	16	6,7	8,5	0,1	11,1	11,3	15,7	52	6,4
2	10 15 - 10 26	12	14	6,2	10,1	0	11,5	11,9	15,8	60	5,4
3	10 30 - 11 07	9	11	4,9	5,5	0,1	8,3	9,0	11,8	46	4,2
4	11 09 - 11 19	11	12	6,4	6,8	0,1	7,0	8,3	9,7	17	7,1
5	11 21 - 12 01	11	12	3,6	4,2	0,1	6,0	6,2	8,8	15	2,7
6	12 03 - 12 09	7	10	4,2	4,0	0,4	5,2	5,9	7,1	16	4,5
7a	12 14 - 12 18	5	14	1,8	2,4	0,1	4,0	4,2	6,1	9	2,2
7b	1975 01 03 - 01 07	5	14	4,8	4,6	0,2	5,0	5,8	7,1	1	4,8
8	01 17 - 02 16	31	51	1,5	1,8	0,4	4,2	4,7	6,6	25	1,6
9	03 08 - 03 25	18	25	1,9	6,3	0,2	5,8	8,4	7,5	118	2,0
10	03 27 - 04 12	17	19	1,5	5,8	0,3	5,2	6,8	7,4	116	1,6
11	04 17 - 05 05	19	22	9,2	17,0	0,2	9,2	14,7	11,3	228	7,7
12	05 07 - 05 25	19	20	12,4	21,8	-	13,7	18,7	15,7	204	11,6
13	05 27 - 06 17	22	23	13,3	25,7	-	16,5	21,4	19,5	261	12,1
14	06 19 - 07 08	20	21	18,9	32,9	-	20,7	27,2	25,2	292	16,9
15a	07 10 - 07 12	3	9	19,5	29,4	-	21,7	27,4	29,0	194	18,9
15b	08 04 - 08 13	10	27	23,8	36,3	-	22,4	31,3	26,0	243	21,4
16	08 15 - 09 03	20	21	18,9	29,8	-	22,3	26,7	26,9	179	17,5
17	09 05 - 09 22	18	24	14,1	22,1	-	19,8	21,2	24,4	117	13,7
1-17		268	365	9,2	15,0	-	11,7	14,6	14,8	124	

TAB. 3.1.1.b Sammanställning av väderobservationer från Stehag och Svalöv enligt statistik från SMHI
Tabellen anger observationer under mätåret samt avvikelser från normalår.

År	Stehag		Svalöv	
Mån.	Pos. 55° 54' N 13° 24' 0		Pos. 55° 55' N 13° 6' 0	
	70 m ö. havet		50 m ö. havet	
	Medel- temp. °C	Avvikelse ^x °C	Solskens- tid tim.	% av normal sol- skenstid
1974				
Okt.	5,7	-1,9	70,2	84
Nov.	4,7	1,0	31,6	90
Dec.	3,6	2,9	30,1	151
1975				
Jan.	3,9	5,7	20,3	52
Feb.	0,3	2,2	118,3	179
Mars	2,0	1,3	131,8	105
April	4,8	-0,5	175,8	99
Maj	10,8	0,3	259,4	96
Juni	14,3	0	310,1	118
Juli	17,8	1,2	271,6	107
Aug.	18,7	2,9	286,2	133
Sept.	14,1	1,7	165,9	96
	8,4	1,4	155,9	109

^x Positivt värde anger att temperaturen varit högre än under motsvarande normalmånad.

TAB. 3.1.2.a Vindriktning, vindhastighet och nederbörd enligt statistik från SMHI.

Datum	Vindens riktning och hastighet (m/s) Sturup				Nederbörd i Lund (mm).
	kl. 01	kl. 07	kl. 13	kl. 19	
74 12 06	NW 9	NW 8	NW 9	NW 6	0
75 01 05	NW 10	SW 4	W 11	WNW 17	3,4
02 14	NW 2	NE 6	NE 6	NNW 2	0
15	0	W 3	NW 7	NNE 4	0
16	NNW 3	NW 1	NW 5	W 4	0
03 21	NE 4	NE 4	E 5	SSW 2	0
22	0	SE 2	SE 7	SE 5	0
23	ESE 5	ESE 4	SE 6	SE 5	0
05 11	SE 2	S 2	S 4	S 5	0
06 03	SE 5	SE 7	SE 6	SE 2	4,1
11	0	E 4	ESE 5	SSE 3	0
24	NE 2	0	NW 6	N 4	0
08 09	ESE 2	ESE 1	SSE 4	SE 2	0
10	E 1	E 1	SE 4	SE 3	0
11	0	0	W 5	NW 5	0
09 16	W 4	WNW 5	W 7	SW 2	0

TAB. 4:2a Solfångarens verkningsgrad 1975 05 11. Solens deklination $\delta = 17^{\circ} 54'$. Døgnsmedelvärdet:
 Utetemperatur $12,0^{\circ}\text{C}$. Solinstrålning 166 W/m^2 hor. yta.

Sann soltid	Temp.- höjning C	Avgiven effekt W	Solarimeter- värde W/m ²	Metod A		Metod B	
				Instrålad effekt W	Verknings- grad %	Instrålad effekt W	Verknings- grad %
5.20	1	33	90	1.283	3	1.030	3
6.22	3	100	230	4.772	2	4.964	2
7.23	6	200	280	5.378	4	5.460	4
8.25	13	433	510	10.190	4	10.336	4
9.26	14	467	450	9.059	5	9.230	5
10.28	17	567	530	10.673	5	10.844	5
11.29	20	667	570	11.360	6	11.512	6
12.31	12	400	210	4.028	10	4.141	10
13.32	9	300	160	2.986	10	3.042	10
14.34	14	467	410	7.386	6	7.359	6
Summa		3.634		-		-	
Medelvärde				67.115	5,4	67.918	5,4

TAB. 4:2b Solfångarens verkningsgrad 1975 06 03. Solens deklination $d = 22^{\circ} 20'$
 Dygnsmedelvärdet: Utetemperatur $9,0^{\circ}\text{C}$. Solinstrålning 140 W/m^2 hor. yta.

Sann soltid	Temp.- höjning $^{\circ}\text{C}$	Avgiven effekt W	Solarimeter värde W/m^2	Metod A		Metod B	
				Instrålad effekt W	Verknings- grad %	Instrålad effekt W	Verknings- grad %
6.22	5	167	100	1.935	9	2.117	8
7.23	4	133	220	4.030	3	4.032	3
8.25	5	167	310	5.894	3	5.965	3
9.26	6	200	240	4.603	4	4.705	4
10.28	8	267	300	5.785	5	5.892	5
11.29	9	300	340	6.516	5	6.607	5
12.31	10	333	260	4.883	7	4.939	7
13.32	7	233	210	3.845	6	3.846	6
14.34	4	133	70	1.441	9	1.210	11
15.35	5	167	160	2.714	6	2.520	7
16.37	9	300	230	3.413	9	3.054	10
17.38	8	267	420	6.088	4	6.888	4
Summa		2.667		51.147		51.775	
Medelvärde					5,2		5,2

TAB. 4:2c Solfångarens verkningsgrad 1975 06 11. Solens deklination $d = 23^{\circ} 05'$
 Dagnsmedelvärden: Utetemperatur $17,4^{\circ}\text{C}$. Solinstrålning 357 W/m^2 hor. yta.

Sann soltid	Temp.-höjning $^{\circ}\text{C}$	Avgiven effekt W	Solarimeter värde W/m^2	Metod A		Metod B	
				Instrålad effekt W	Verkningsgrad %	Instrålad effekt W	Verkningsgrad %
08.56	17	567	710	13.643	4	13.723	4
09.57	26	867	810	15.716	6	15.813	6
10.59	34	1.133	870	16.820	7	16.912	7
12.00	32	1.067	880	16.765	6	16.831	6
13.02	36	1.200	890	16.507	7	16.529	7
14.03	32	1.067	780	13.883	8	13.838	8
15.05	32	1.067	700	11.681	9	11.539	9
16.06	33	1.100	530	8.010	14	7.734	14
Summa		8.068		113.025	7,1	112.919	7,1
Medelvärde							

TAB. 4:2d Solfångarens verkningsgrad 1975 09 16. Solens deklination $d = 2^{\circ} 36'$
 Dagnsmedelvärden: Utetemperatur $13,0^{\circ}\text{C}$. Solinstrålning 143 W/m^2 hor. yta.

Sann soltid	Temp.- höjning $^{\circ}\text{C}$	Avgiven effekt W	Solarimeter värde W/m^2	Metod A		Metod B	
				Instrålad effekt W	Verknings- grad %	Instrålad effekt W	Verknings- grad %
10.28	12	400	460	10.800	4	11.254	4
11.29	11	367	270	6.020	6	6.435	6
12.31	10	333	250	5.427	6	5.793	6
13.32	13	433	570	12.473	3	12.776	3
14.34	12	400	500	10.479	4	10.696	4
15.35	12	400	390	7.628	5	7.724	5
Summa		-		-		-	
Medelvärde		2.333		52.827	4,4	54.678	4,3

TAB. 4.4a Solfångarens värmebalans och värmegenomgångskoefficient för utsidan, k_{ut} 1975 08 09

Sann soltid	Effekt i cirkulationsluft W	Energi i cirkulationsluft kWh	Transm.-effekt till huset W	Transm.-energi till huset kWh	Instrålad effekt (Metod A x 0,5) W	Instrålad energi kWh	Förlusteffekt utåt W	k_{ut} W/m ² °C
7.54	400	0.4	82	0.1	4.755	4.9	4.273	15.1
8.56	587	0.6	124	0.1	5.974	6.1	5.263	12.5
9.57	800	0.8	157	0.2	7.023	7.2	6.066	10.4
10.59	887	0.9	173	0.2	7.375	7.6	6.315	9.9
12.00	967	1.0	171	0.2	7.656	7.8	6.518	9.5
13.02	817	0.8	157	0.2	7.154	7.3	6.180	10.6
14.03	883	0.9	145	0.1	6.588	6.8	5.560	9.0
15.05	647	0.7	108	0.1	4.771	4.9	4.016	8.0
Summa		6.1		1.2		52.6		
Medelvärde								10.6

TAB. 4.4c Solfångarens värmebalans och värmeomgångskoefficient för utsidan, k_{ut} 1975 08 11

Sann soltid	Effekt i cirkulationsluft W	Energi i cirkulationsluft kWh	Transm.-effekt till huset W	Transm.-energi till huset kWh	Instrålad effekt (Metod A x 0,5) W	Instrålad energi kWh	Förlust-effekt utåt W	k_{ut} $\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$
8.05	347	0.4	78	0.1	5.017	5.1	4.592	15.4
9.06	580	0.6	117	0.1	6.122	6.3	5.425	11.8
10.08	653	0.7	141	0.1	7.266	7.4	6.472	11.7
11.09	740	0.8	159	0.2	7.396	7.6	6.497	10.4
12.11	647	0.7	154	0.2	7.255	7.4	6.454	11.1
13.12	750	0.8	147	0.2	6.656	6.8	5.759	9.8
14.14	597	0.6	118	0.1	5.619	5.8	4.904	9.5
15.15	570	0.6	87	0.1	4.208	4.3	3.551	7.7
Summa		5.2		1.1		50.7		
Medelvärde								10.9

TAB. 4.5a Total solinstrålning Wh/m² dygn medelmolniga dagar mot söderorienterade ytor med olika lutning. Stockholms horisont, Peterson & al (1977).

Dag	Lutning 60°	Lutning 15°
15 januari	663	463
15 mars	3.429	2.934
15 maj	4.615	5.318

TAB. 5.4a Värmebalans för ackumulatorns sandbädd och ackumulatorns fjortondagarskapacitet.

	1975 05 07 - 20	1975 09 06 - 19
Tillförd värme enligt mätningar kwh	Från solfångare 74.0	23.5
	Från fläkt 11.2	11.2
	Uppåt till huset -20.9	-0.4
Avgiven värme beräknad enligt SEN kwh	Nedåt inre randfält 10.4	19.2
	Nedåt yttre randfält 11.1	52.4
	Genom grundmur 9.1	43.0
Differens kwh	65.4	-89.6
Uppvärmning av ackumulator °C (temp 21)	5.6	-3.9
Akkumulatorns fjortondagarskapacitet kwh/°C	11.7	23.0

Figurtexter

- FIG. 2.1a Mätplatsens läge i förhållande till väderleksstationerna Lund, Stehag, Sturup och Svalöv.
- FIG. 2.1b Terrängmask. Solkurvor för Malmös horisont enligt Brown & Isfält (1974). Siffrorna på kurvorna anger svensk normaltid.
- FIG. 2.2a Provhuset sett från sydväst.
- FIG. 2.2b Plan av provhuset med mätpunkter.
- FIG. 2.2c Snitt genom provhuset i nord-sydlig riktning med mätpunkter.
- FIG. 2.2.2a Tvärsnitt genom solfångaren.
- FIG. 2.2.4a Plan av ackumulator med mätpunkter.
- FIG. 3.1.1a Dygnsmedelvärden av temperatur 1 och 8. Den nedre kurvan anger utetemperaturen (1) och den övre temperaturen efter solfångaren (8). Där temp. 8 är lägre än 1 har mellanrummet mellan kurvorna fyllts i. De fyllda staplarna nedtill i diagrammet anger temperaturunderskott på grund av utstrålning från solfångaren.
- FIG. 3.1.1b Dygnsmedelvärden av temperatur 11 och 20. Den nedre kurvan anger lufttemperaturen i ena utloppet från ackumulatören (11) och den övre anger tendensvärdet för marktemperaturen 0,5 m under sandlagret i ackumulatörens mitt.
- FIG. 3.1.1c Dygnsmedelvärden av rumstemperaturen (13), heldragen kurva och solinstrålningen mot horisontell yta (24), punktmarkeringar.

Den heldragna kurvan anger solinstrålning mot horisontell yta klara dagar vid 56⁰M bredd enligt Brown & Isfält (1969).

- FIG. 3.1.1d Periodmedelvärden och årsmedelvärden av temperaturer och solinstrålning i Eslöv samt månadsmedelvärden och årsmedelvärden av observationer i Stehag och Svalöv.
- FIG. 3.1.2a Utetemperatur, temperatur i och efter solfångaren, efter ackumulatorn, i rummet och på den svarta ytan samt solinstrålning mot horisontell yta 1974 12 06.
- FIG. 3.1.2b Utetemperatur, temperatur i och efter solfångaren, efter ackumulatorn, i rummet och på den svarta ytan samt solinstrålning mot horisontell yta 1975 01 05.
- FIG. 3.1.2c Utetemperatur, temperaturer i och efter solfångaren, efter ackumulatorn samt inne-temperatur 1975 02 14 - 16.
- FIG. 3.1.2d Utetemperatur, temperaturer i och efter solfångaren 1975 03 21 - 23.
- FIG. 3.1.2e Utetemperatur, temperatur efter solfångaren, temperaturer i luft, sand och mark i ackumulator 1975 06 24.
- FIG. 3.1.2f Utetemperatur, temperatur efter solfångaren, efter ackumulatorn, i rummet, på den svarta ytan och i marken under ackumulatorns mitt samt solinstrålning mot horisontell yta 1975 08 09 - 11.
- FIG. 4.5.5a Temperaturhöjning i solfångaren vid den varmaste tidpunkten på dagen 1975 08 15 - 09 03.

- FIG. 5.6.a Ackumulator utan och med motströmning.
- FIG. 6a Anläggningens komponenter med tänkbara
 cirkulationsvägar vid uppvärmning.
- FIG. 8a Värmebalans för lokalen 1974 12 06 och
 1975 01 05 inklusive cirkulationsluft.
- FIG. 8b Värmebalans för lokalen 1977 08 09 - 11 in-
 klusive cirkulationsluft.

FIG. 2.1a

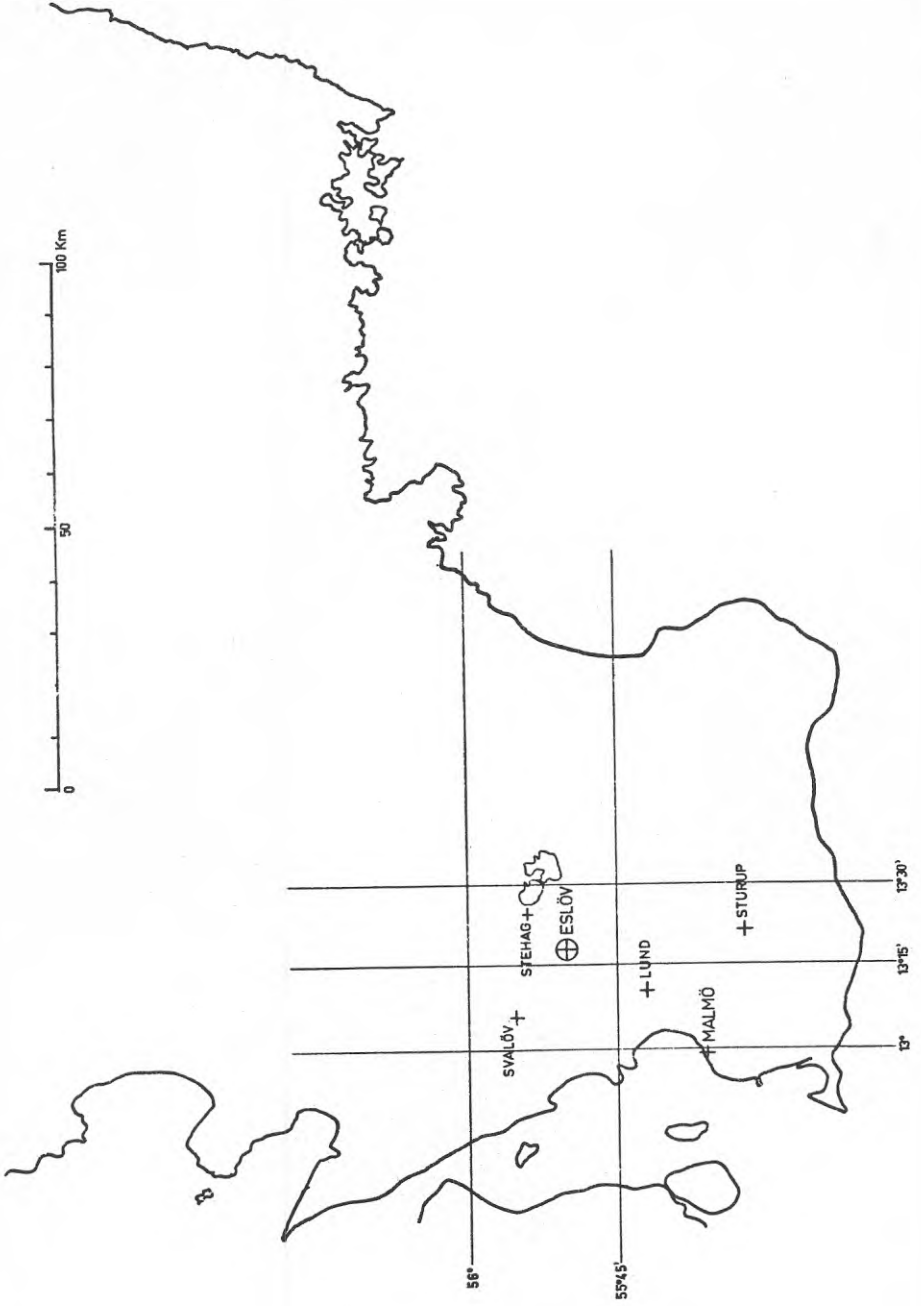


FIG. 2.1b

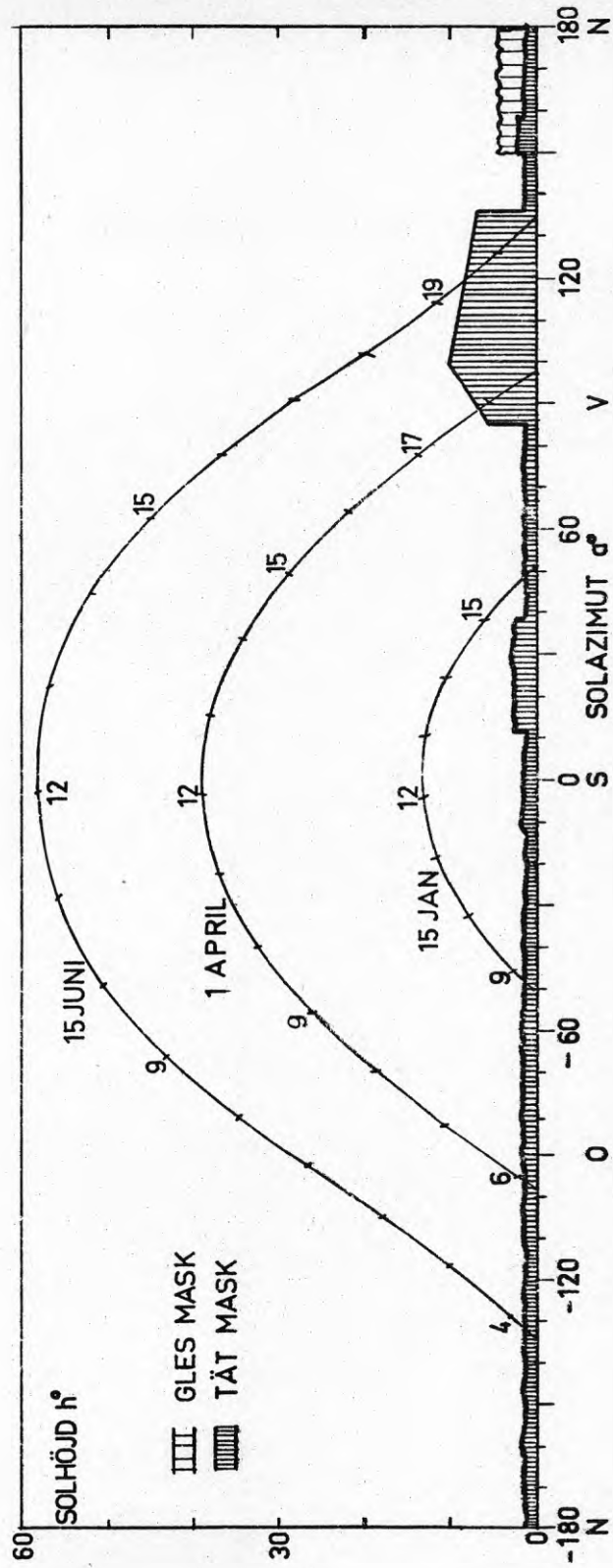


FIG. 2.2a

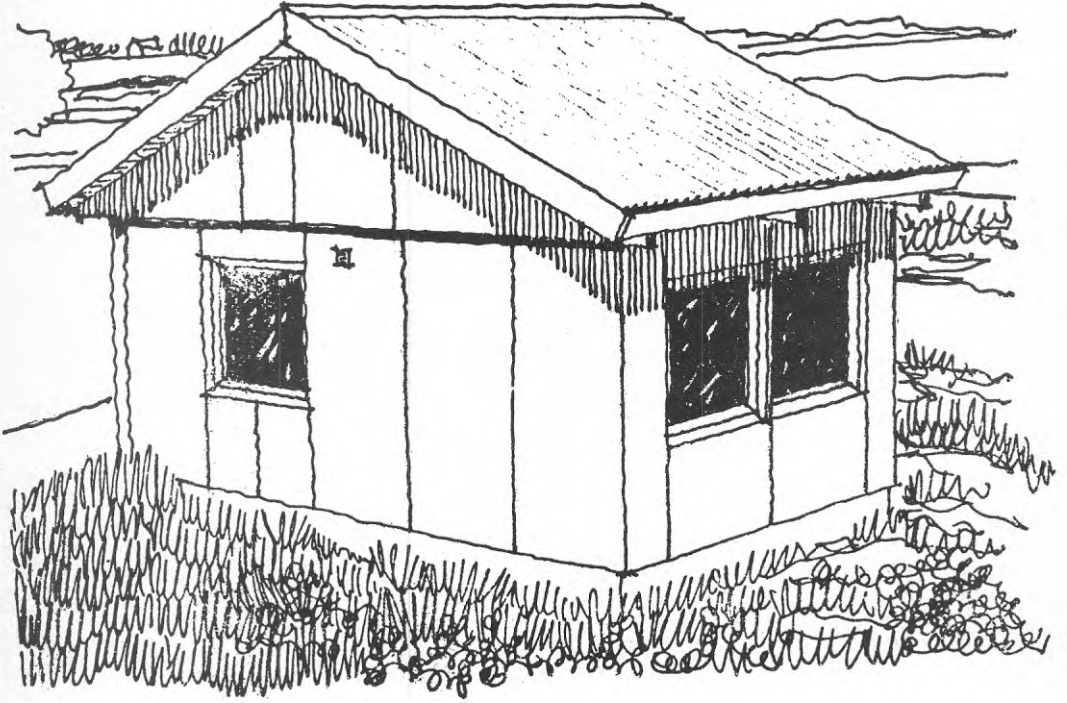
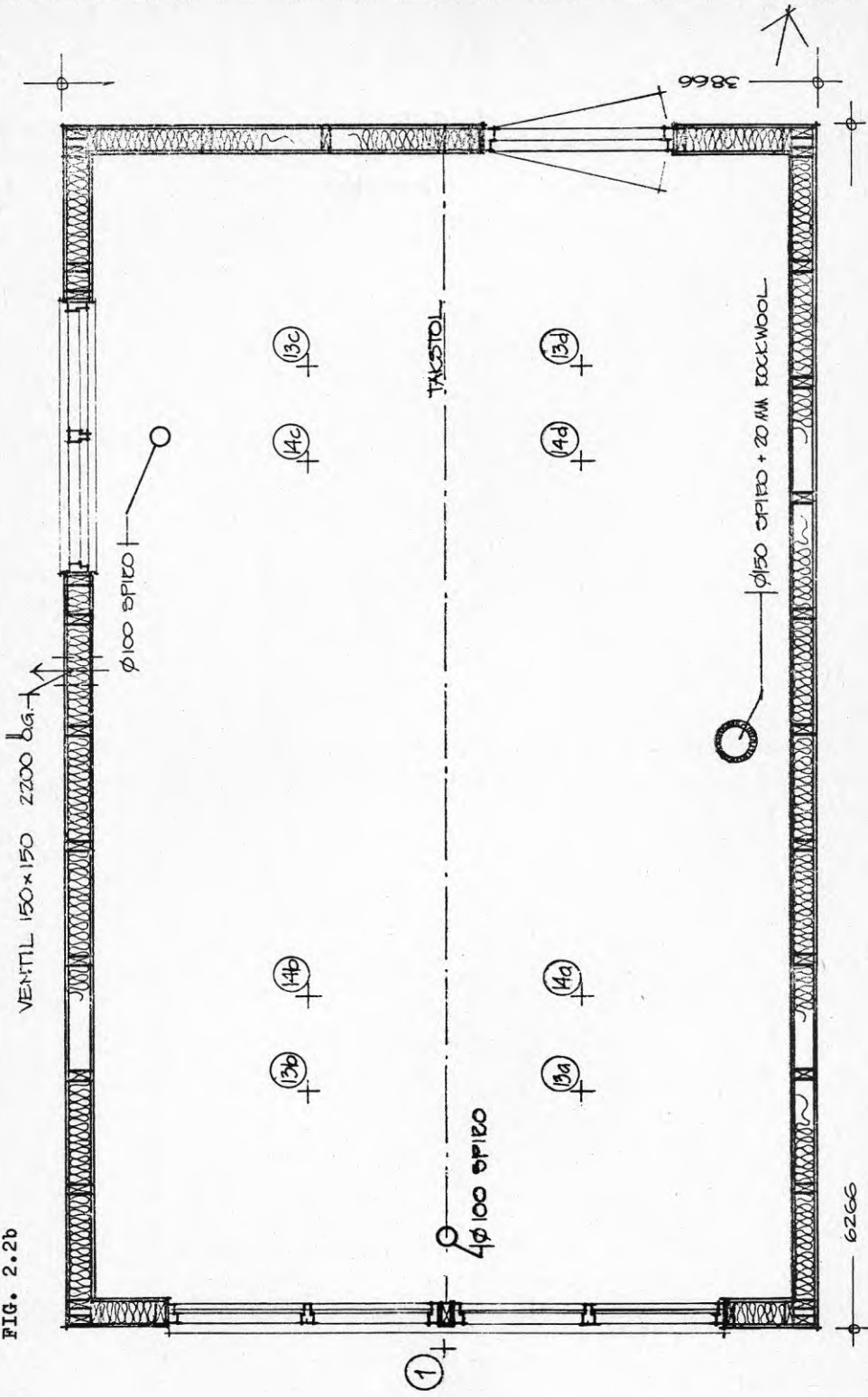


FIG. 2.2b



plan med mätpunkter 1:20

SCG solenergiprojekt eslov

FIG. 2.2.2a

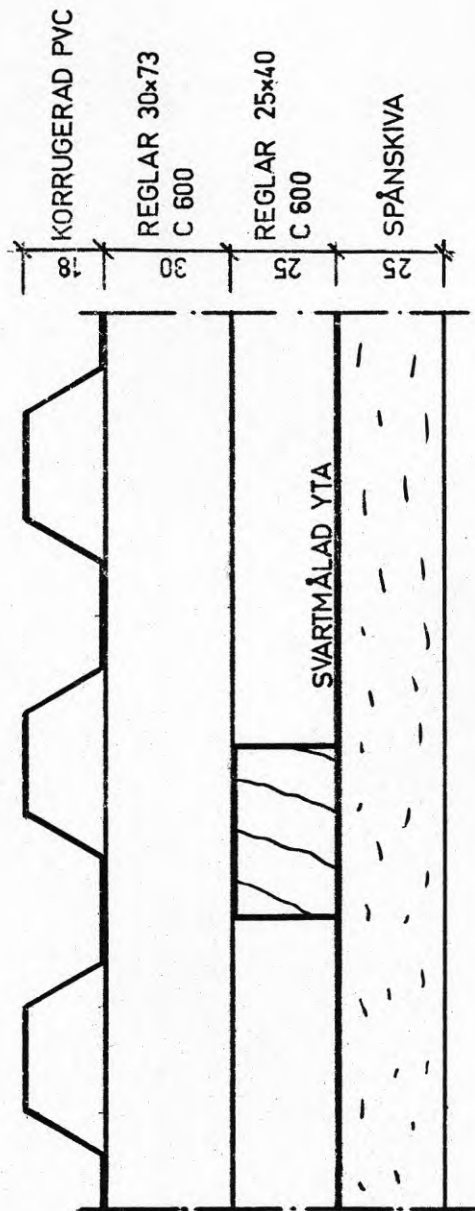
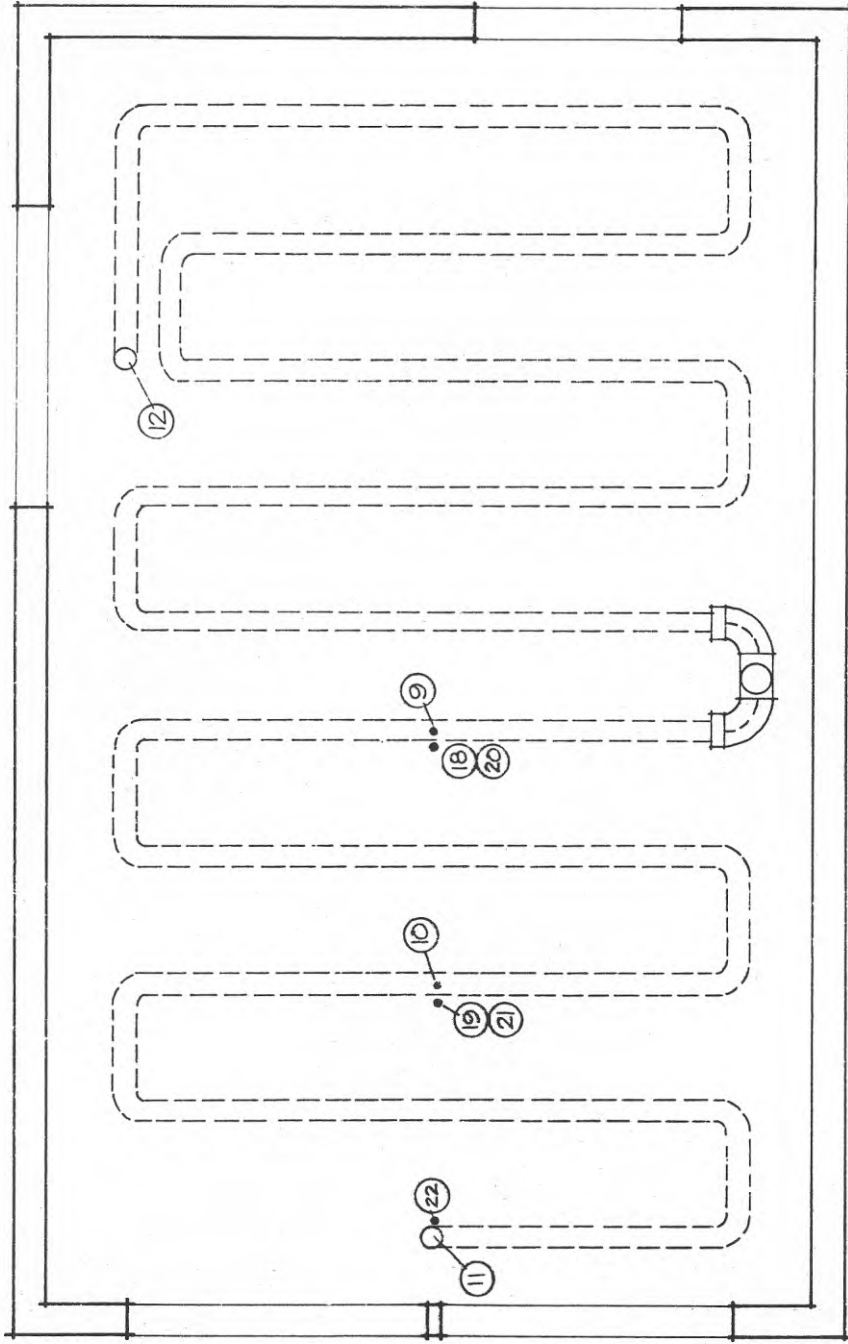


FIG. 2.2.4a



plan av ackumulator
med mätpunkter 1:20

SCG solenergiprojekt eslov

FIG. 3.1.1a

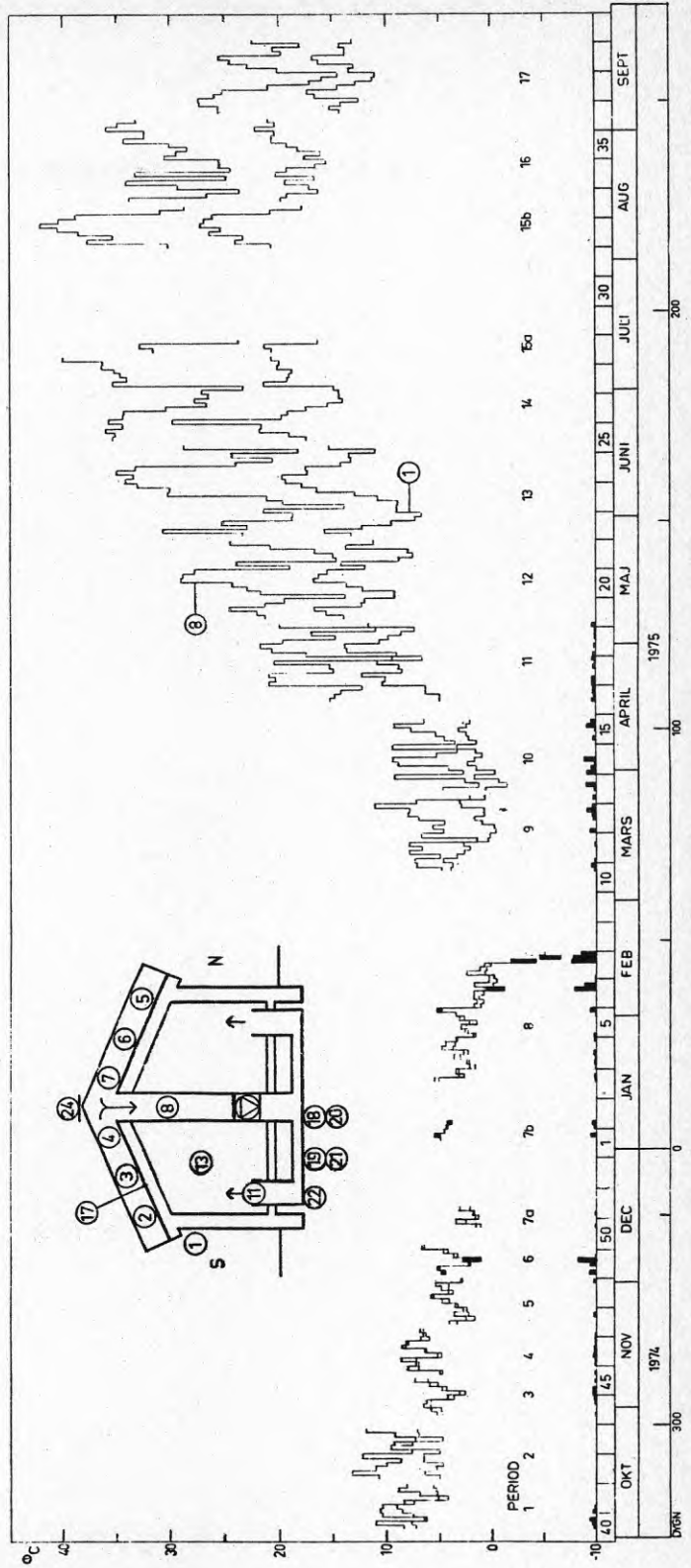


Fig. 3.1.1c

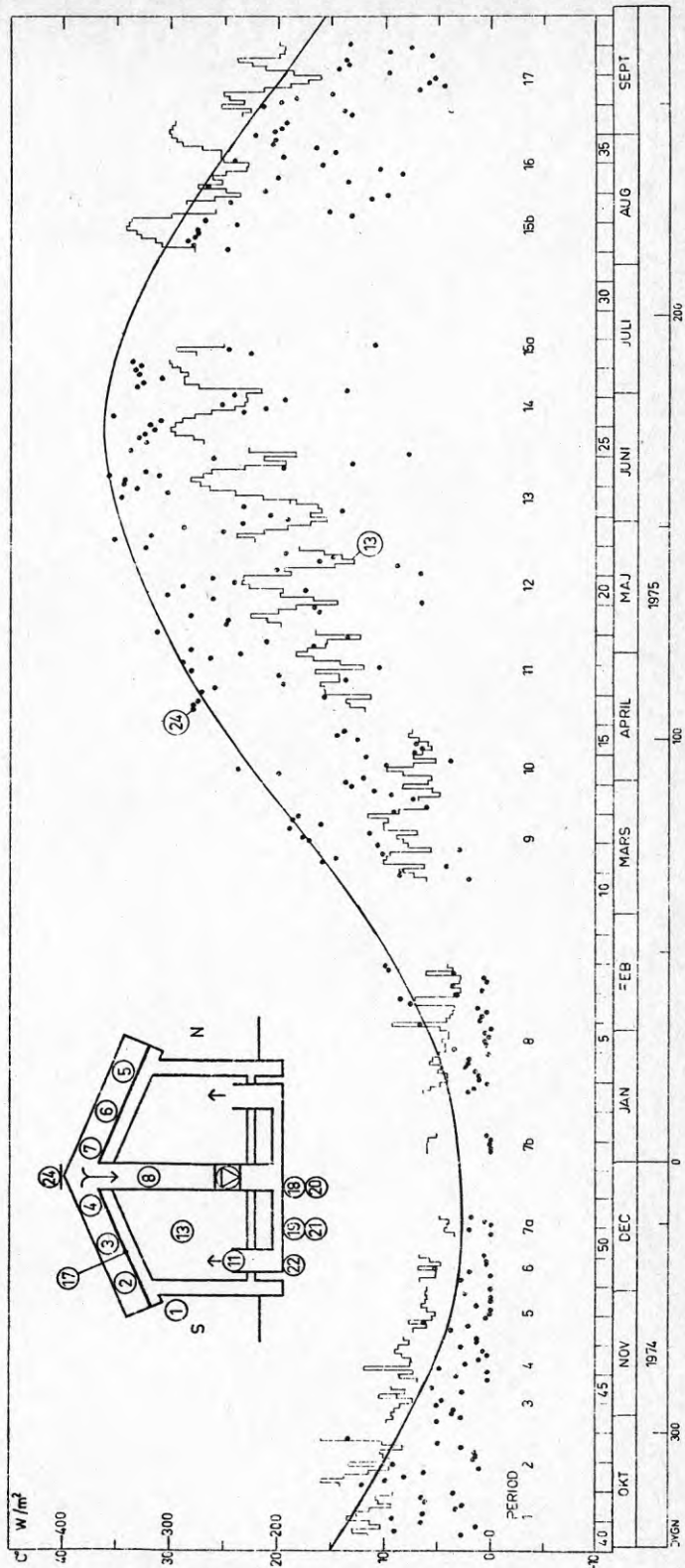


FIG. 3.1.1d

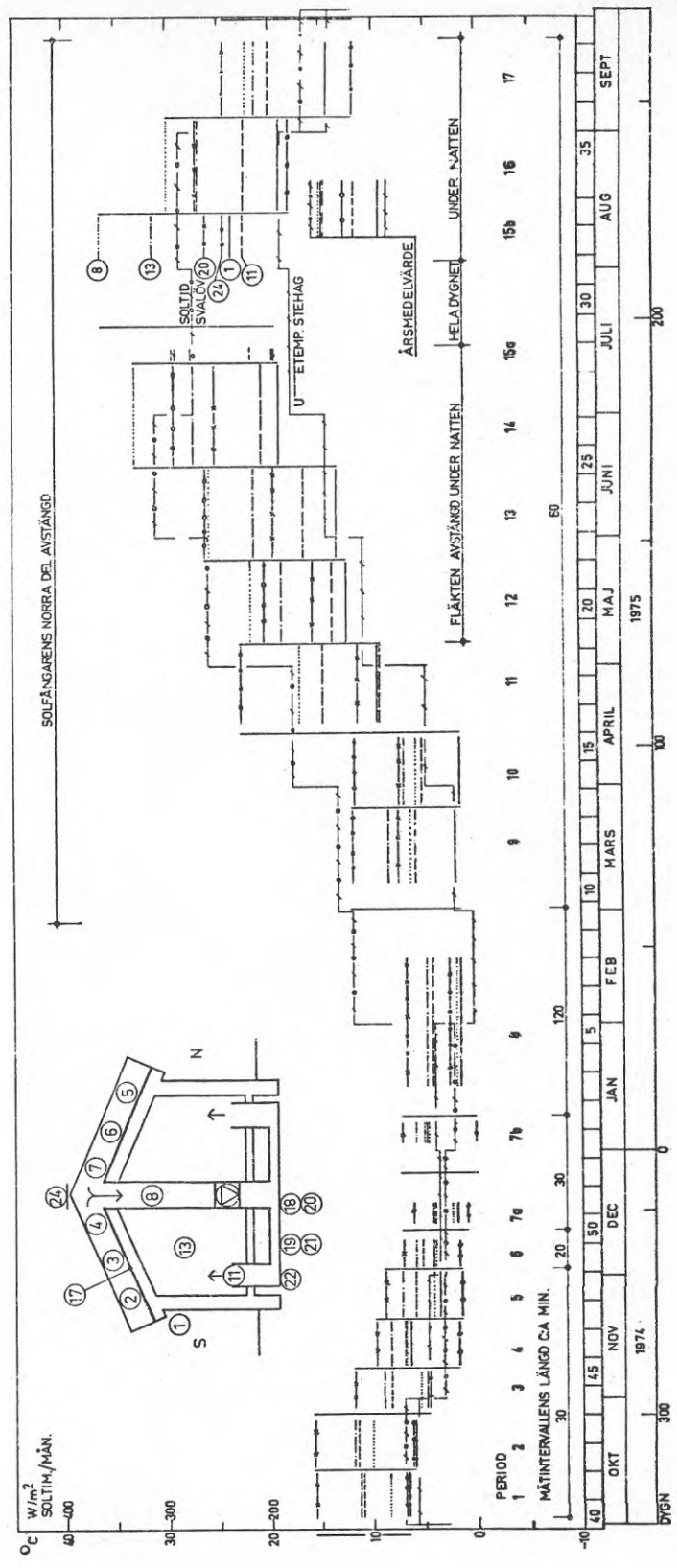


FIG. 3.1.2a

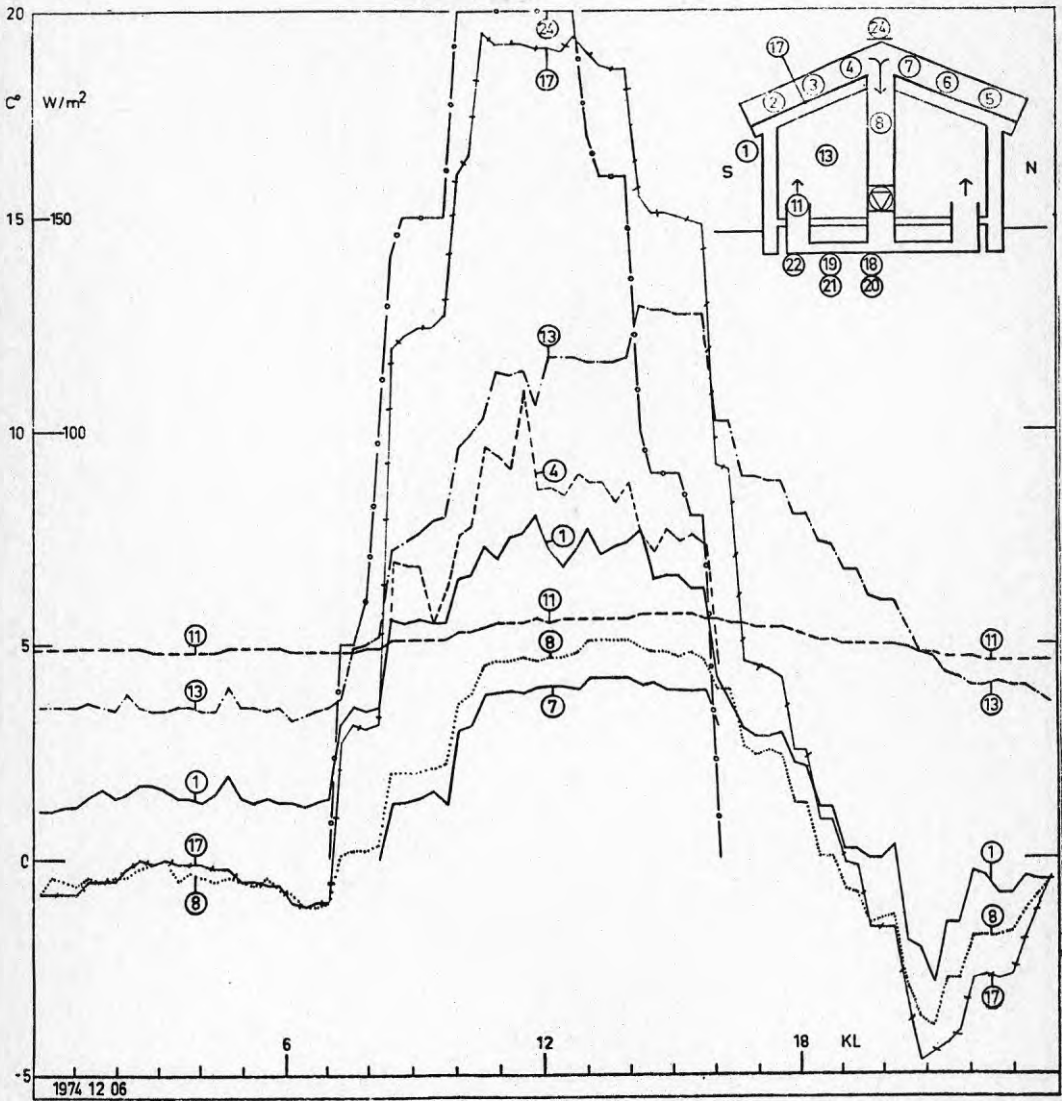
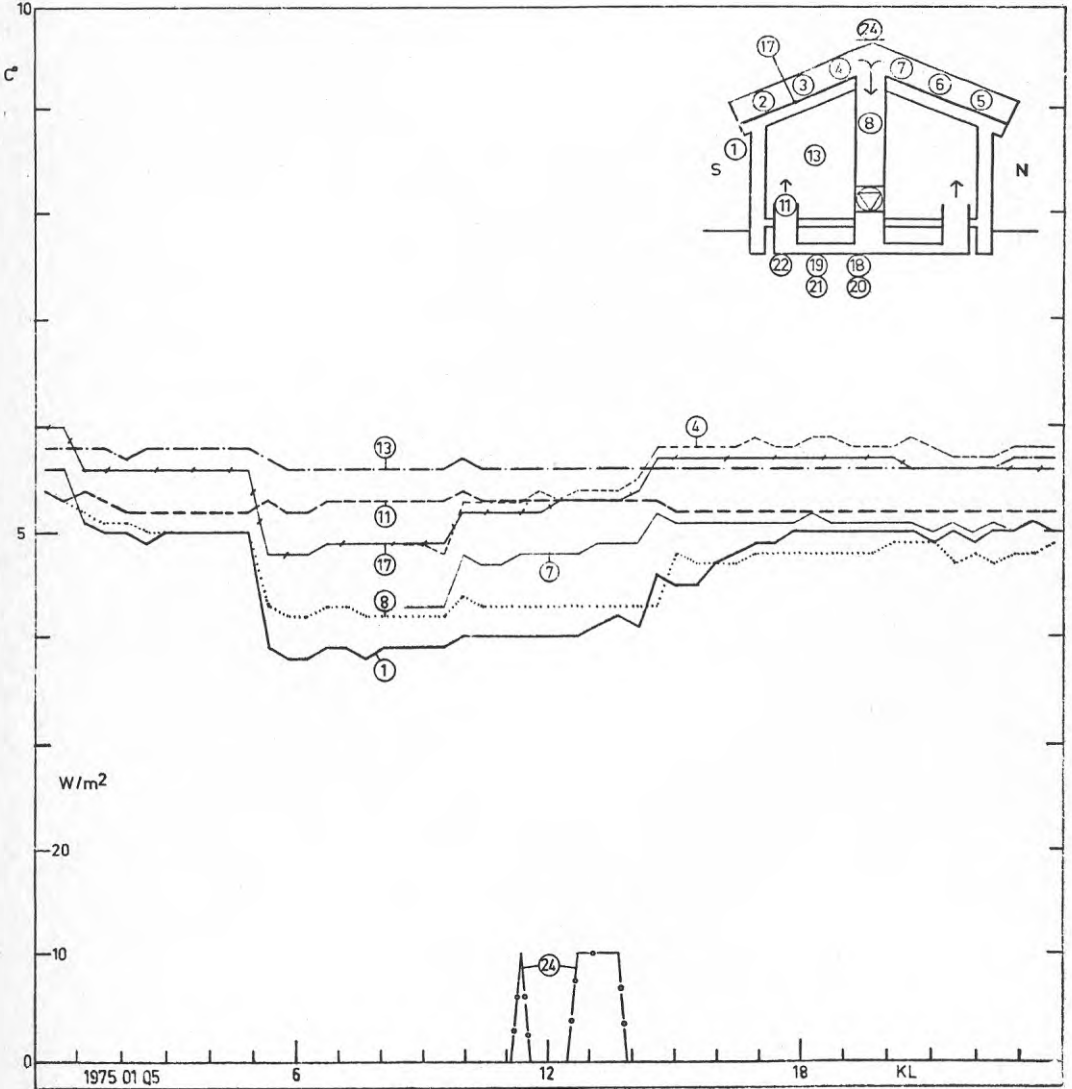
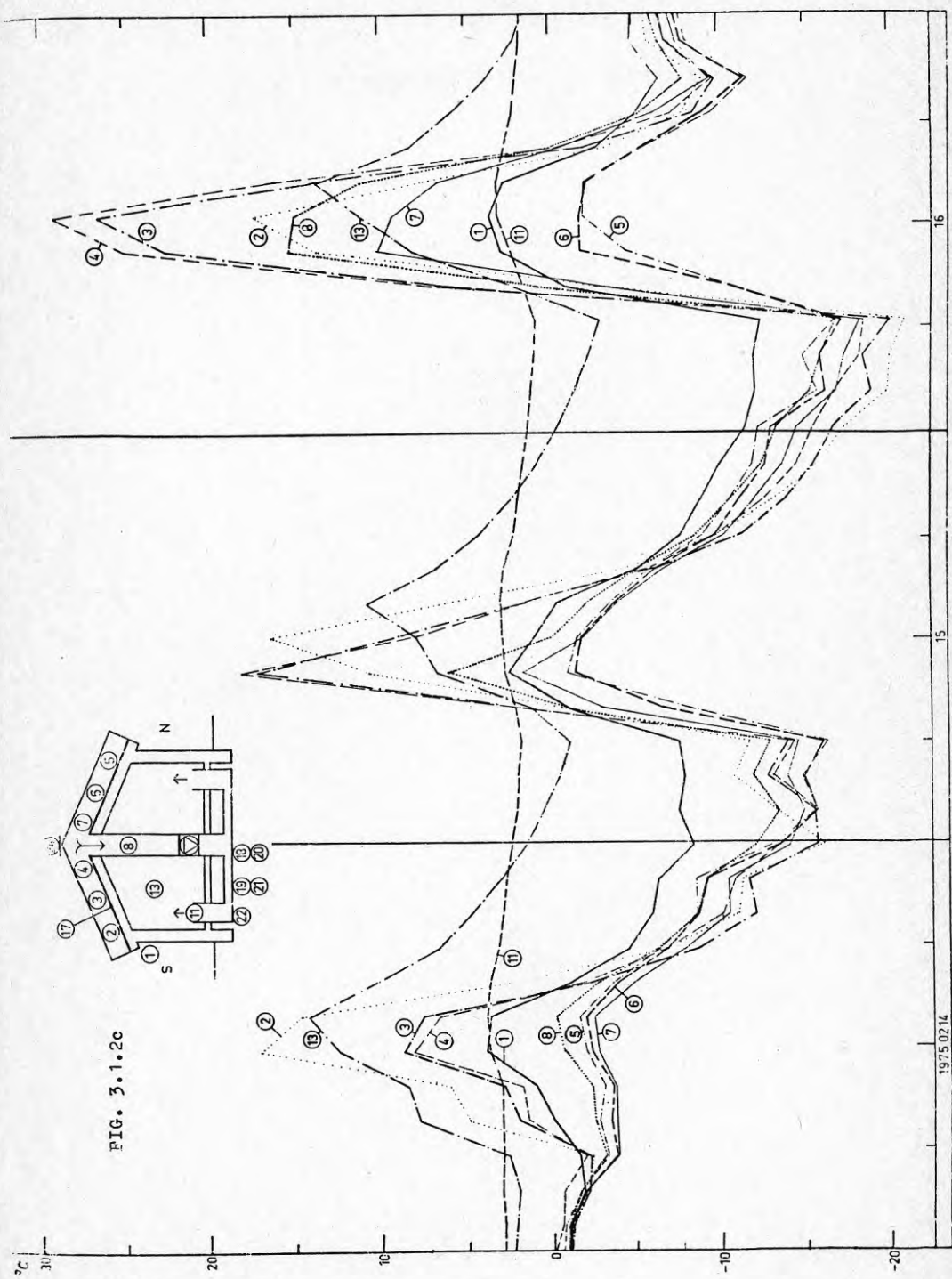


FIG. 3.1.2b





1975 02 14

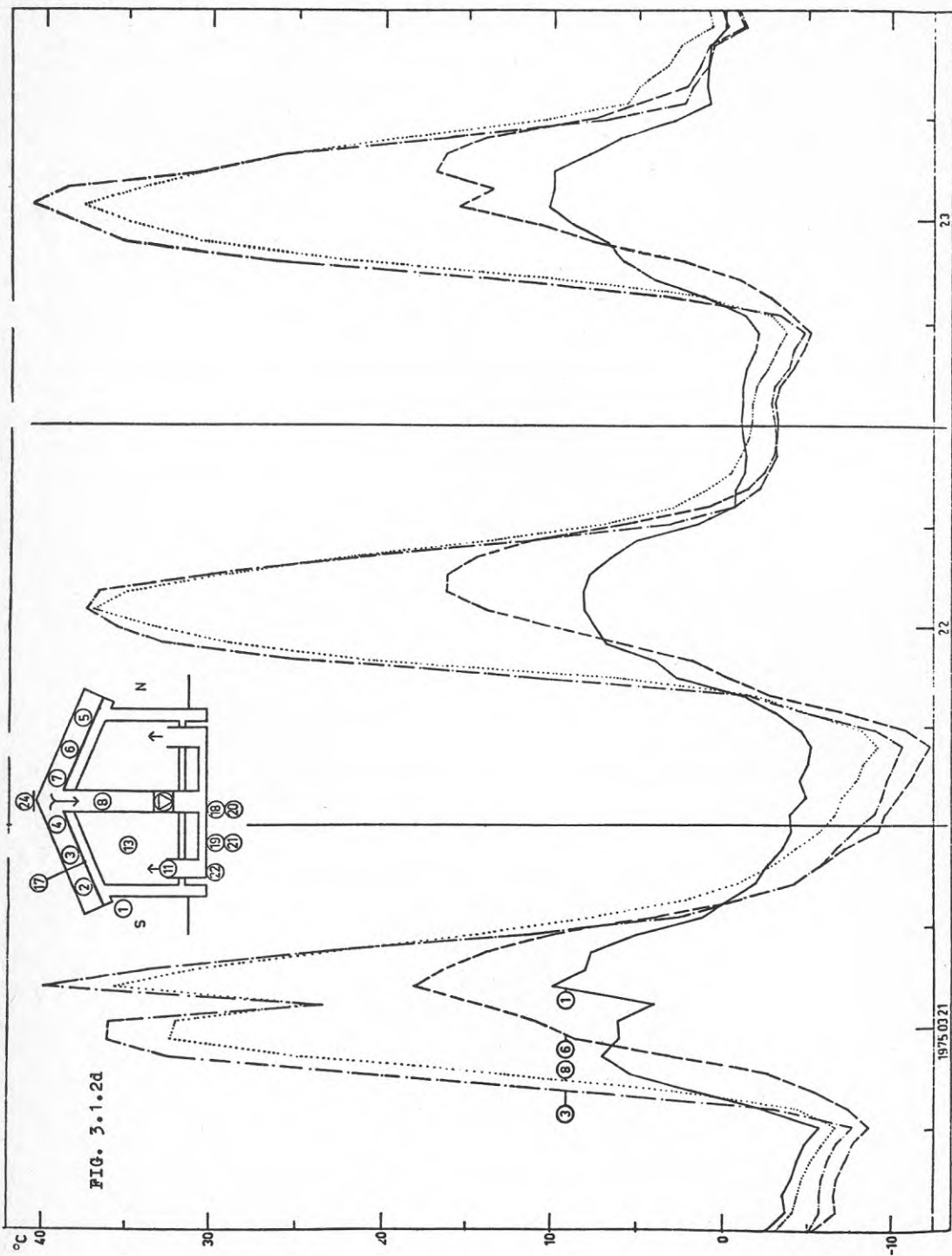


FIG. 3.1.2e °C

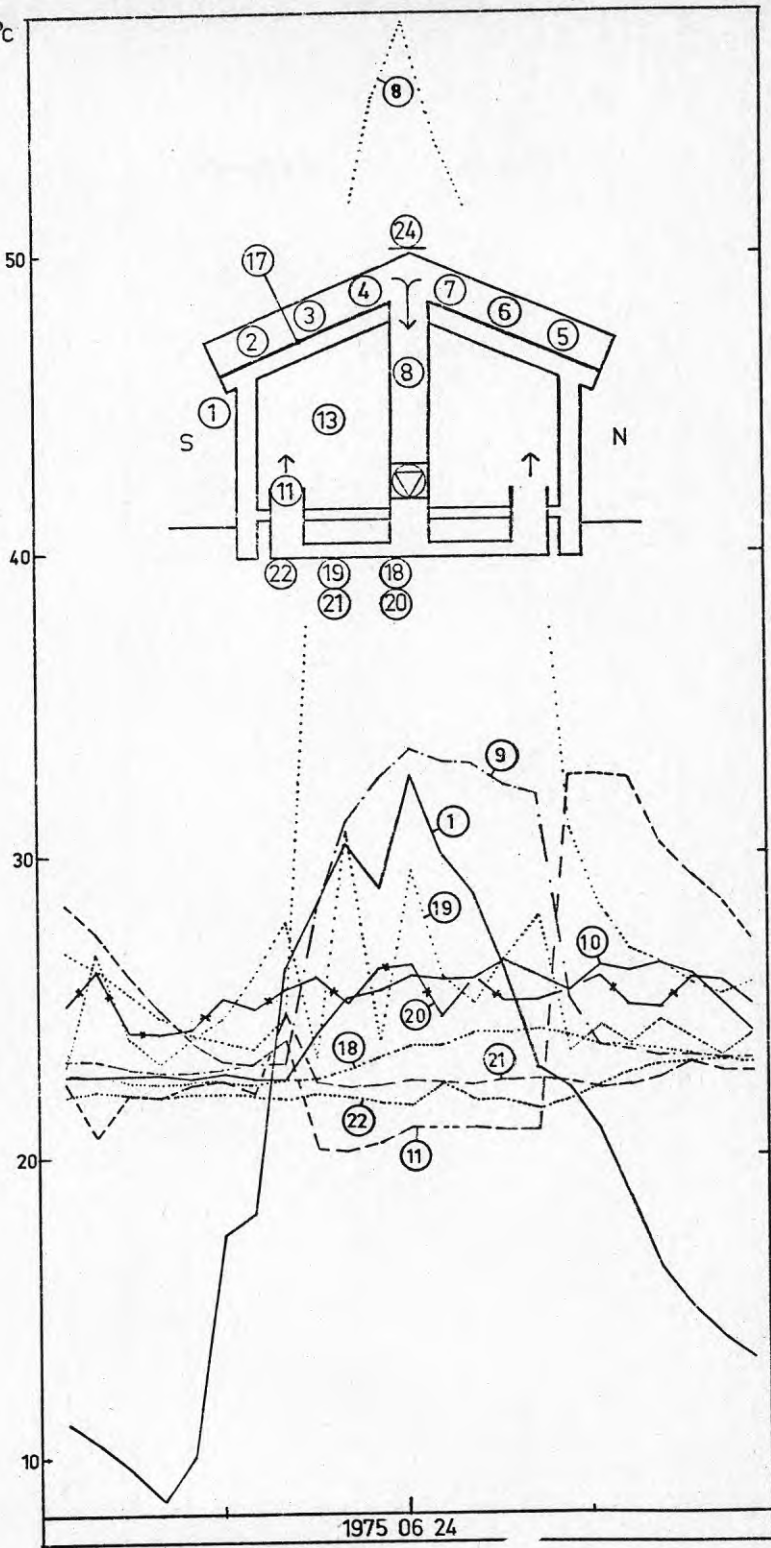
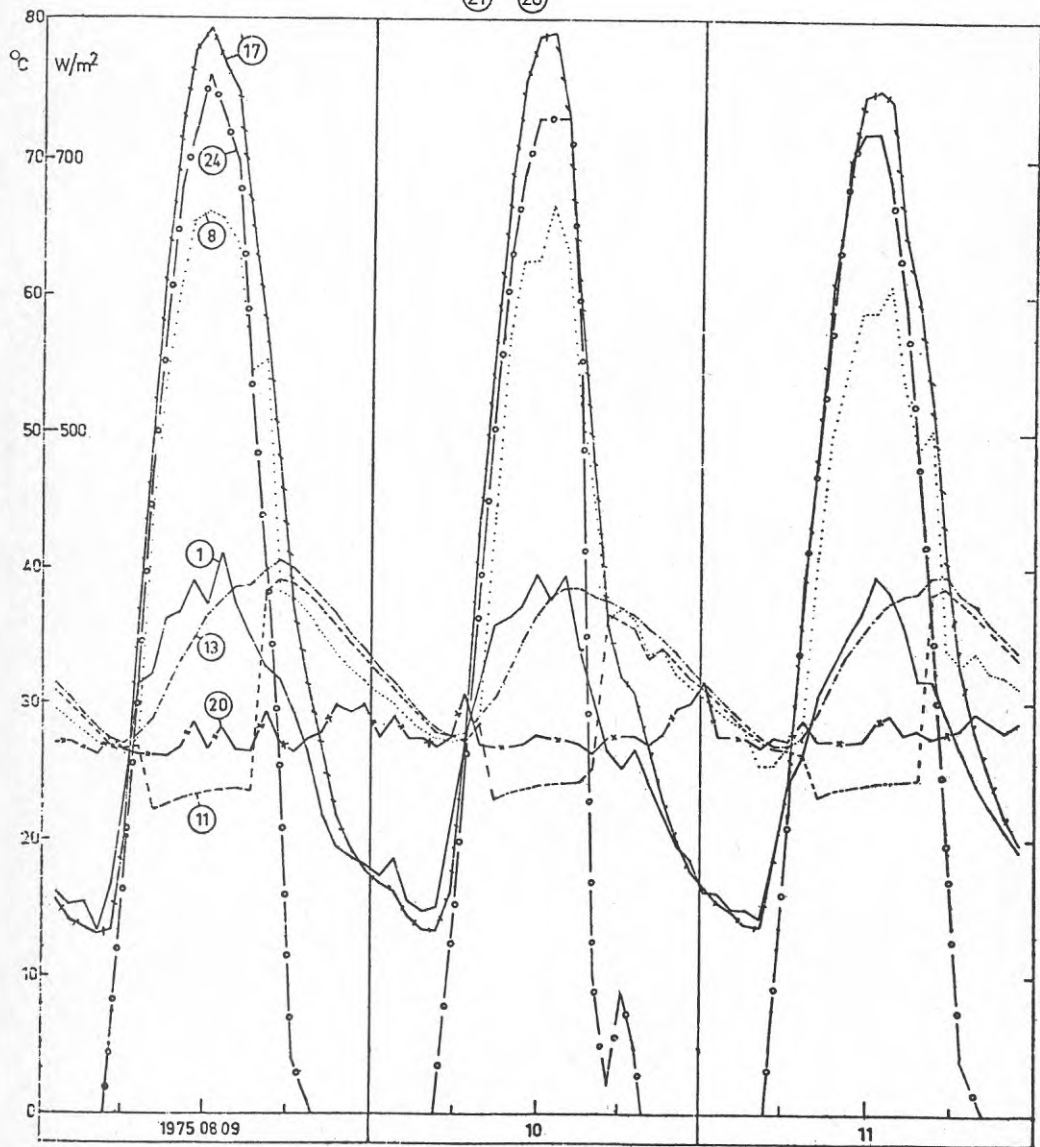
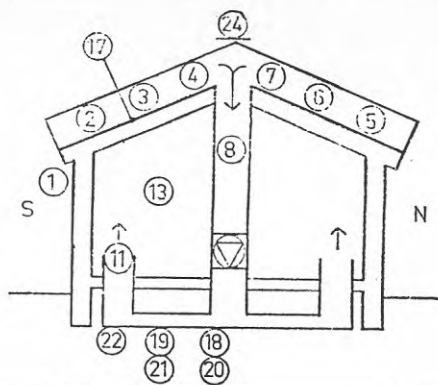
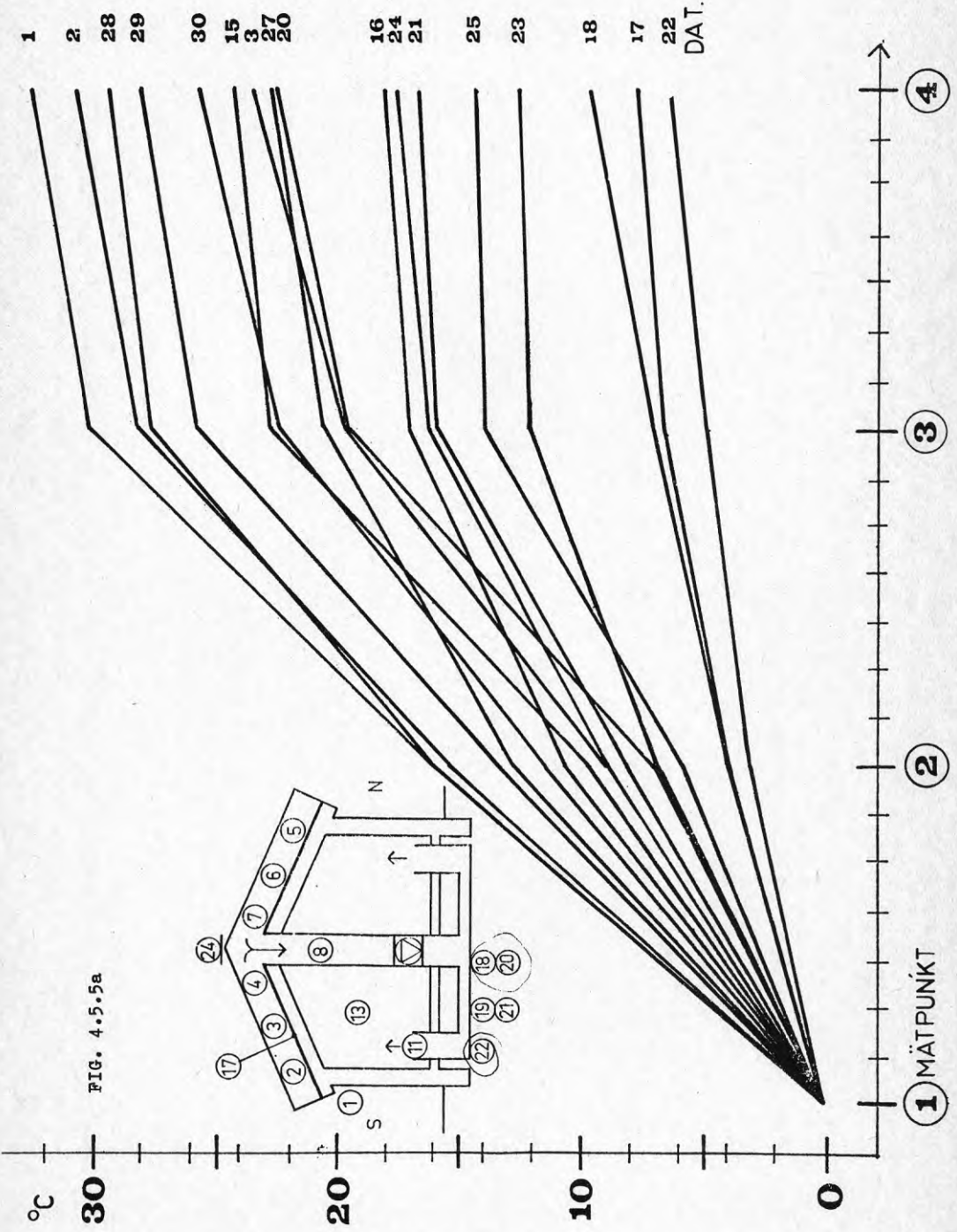
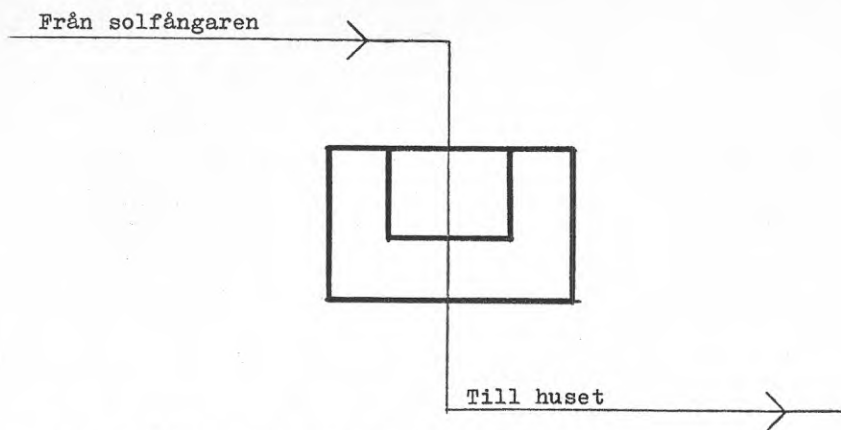


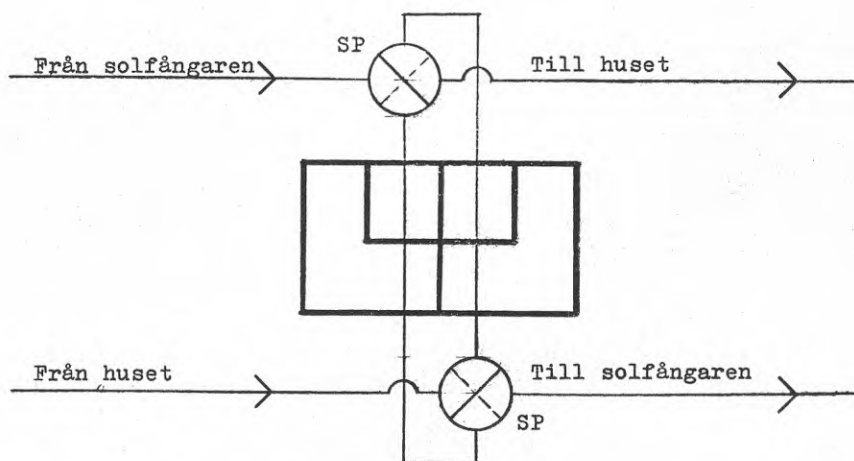
FIG. 3.1.2f







Enkel ackumulator utan motströmning



Tvådelad ackumulator med motströmsprincip.

Spjällen kan monteras på samma axel.

FIG. 5.6a Ackumulator utan och med motströmning.

FIG. 6a Anläggningens komponenter med tänkbara cirkulationsvägar vid uppvärmning.

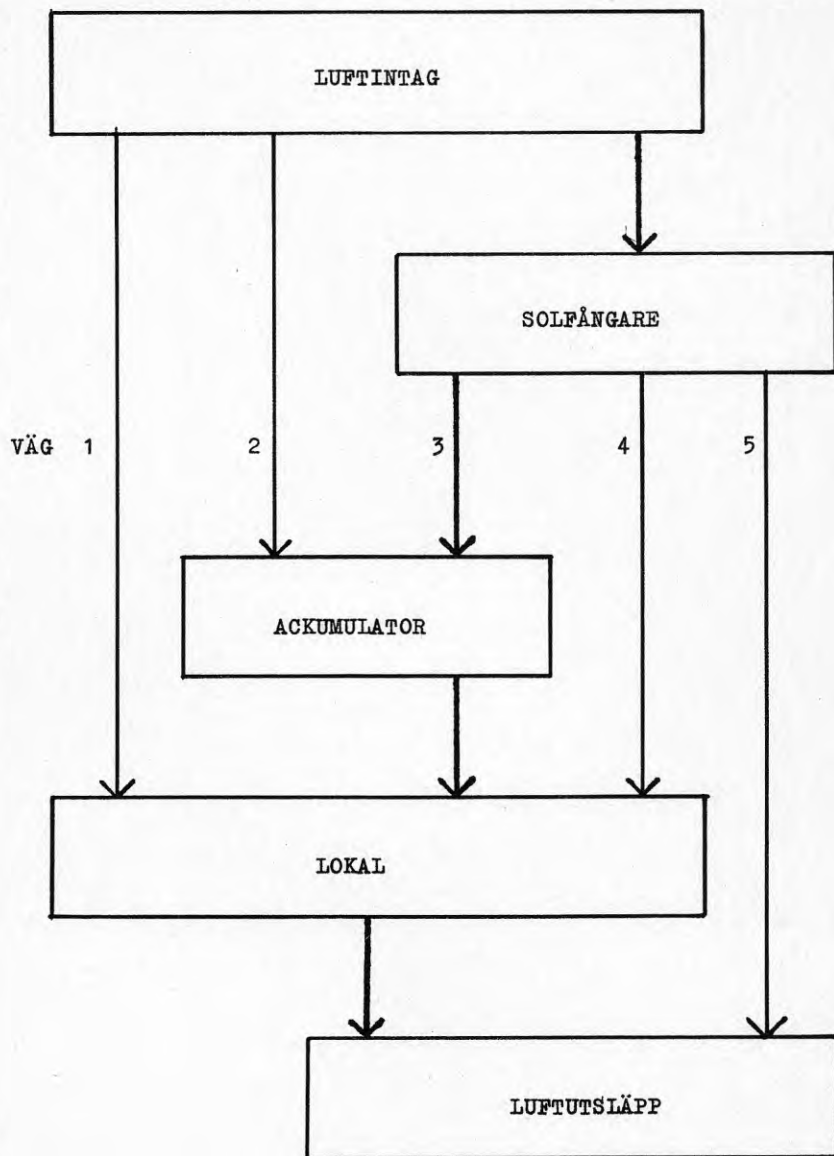


FIG. 8a Värmebalans för lokalen 1974 12 06
och 1975 01 05 inklusive cirkulationsluft.

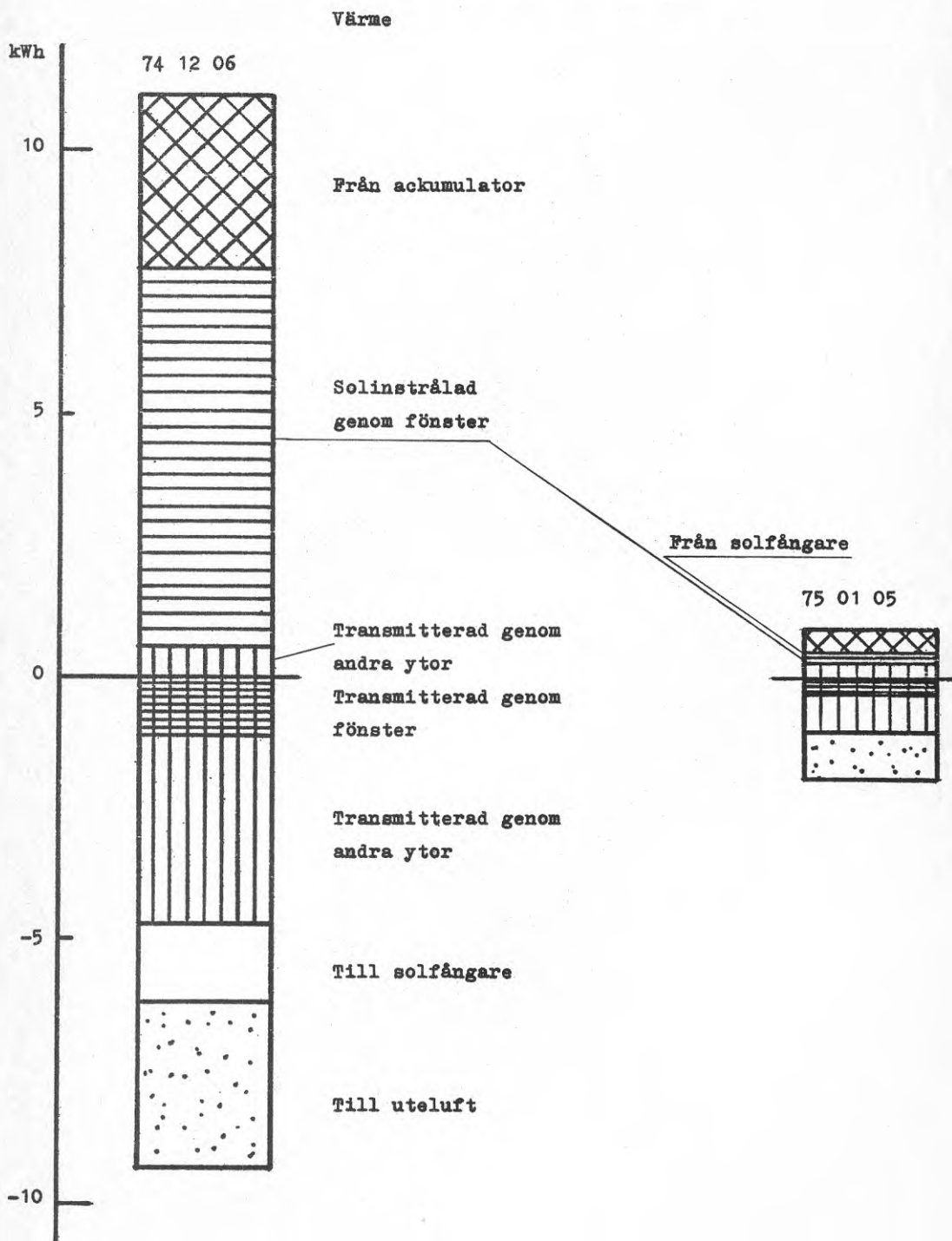
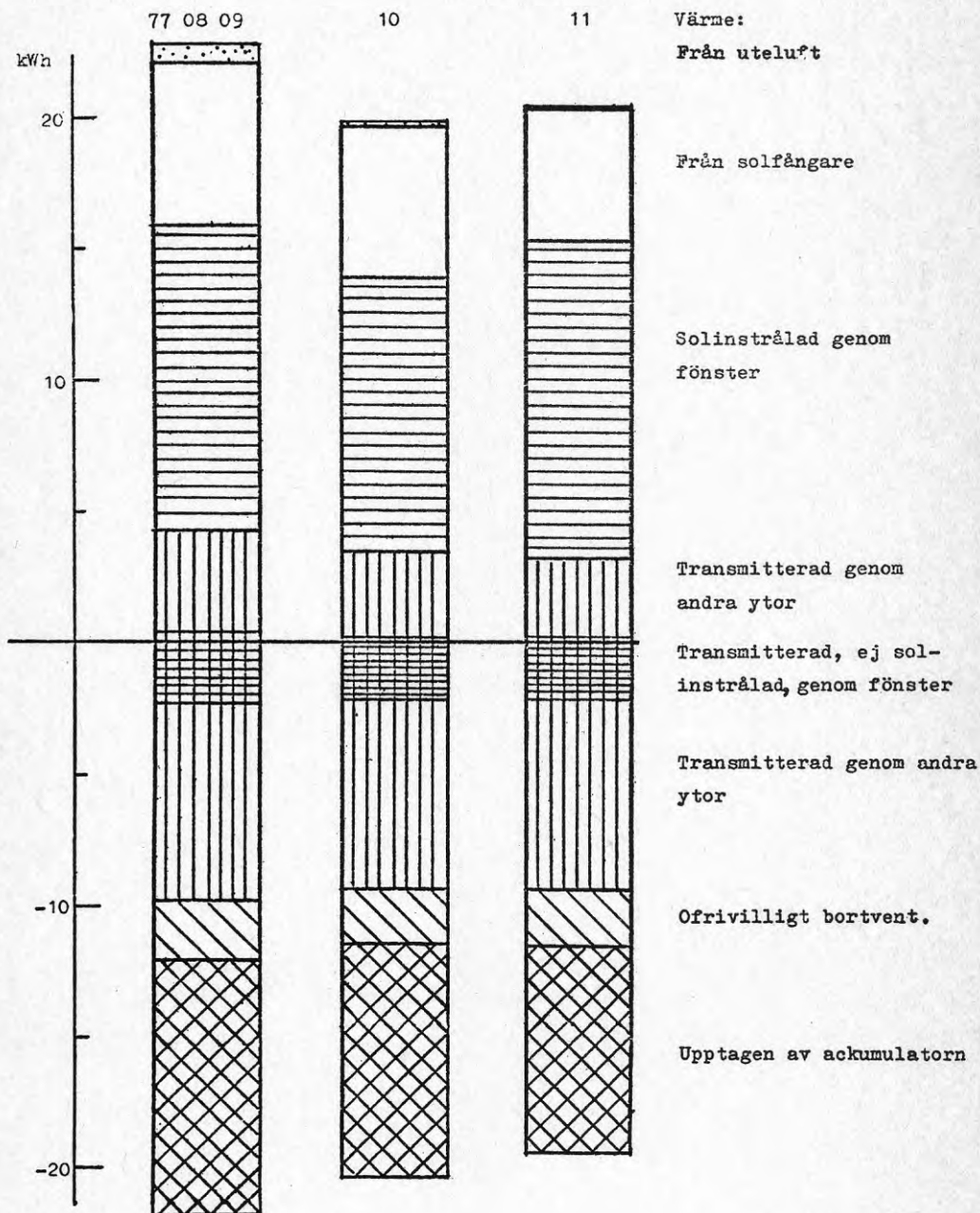


FIG. 8b Värmebalans för lokalen 1977 08 09 - 11
inklusive cirkulationsluft.



LITTERATUR

- Adamson, B, 1964, Värmeisolering (Byggmästarens förslag) BYGG kap. 611, Stockholm.
- Bankwall, C, 1971, Värme. Byggmästarens förslag, BYGG kap. 135, Stockholm.
- Brown, G, 1956, Värmeövergång vid byggnaders yttertytor (Statens nämnd för byggnadsforskning), Stockholm. Handlingar nr. 27.
- Brown, G, Isfält, E, 1969, Instrålning från sol och himmel i Sverige under klara dagar (Statens Institut för Byggnadsforskning), Stockholm. Rapport 19:1969.
- Brown G, Isfält, E, 1974, Solinstrålning och solavskärmning. (Statens Institut för byggnadsforskning), Stockholm. Rapport R 19:1974.
- Erdman, P, 1977, Solen som värmekälla. VVS-FORUM nr. 5, Stockholm.
- Henriksson, R, Virhammar, K, 1976. Solfångare för spannmåls- och hötorkning. Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik. Specialmeddelande 50, Lund.
- Johansson, B, Svensson, A, Åhrman, A, 1975, Solfångaren - dess förutsättningar och funktion. Tekniska Högskolan i Lund.
- Löfberg, H A, Liljedahl, S, Sannolikhet för solsken (Statens institut för byggnadsforskning), Stockholm. Meddelande 9:1976.
- Morawetz, E, 1975, Termoroc-huset EUROOC. Konzept, Malmö.
- Olsson, C H, 1975, Solenergi och byggande i Israel. Tekniska Högskolan, Lund.

Peterson, F, Ringblom, L, 1976, Solenergi i Sovjet. VVS-Forum nr. 12, Stockholm.

Peterson, F, Ringblom, L, Isfält, E, 1977, Solstrålning från klar och molnig himmel (Korrekturupplaga). Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm.

Ringblom, L, Peterson, F, 1977, Solenergi för varmvattenberedning (Korrekturupplaga). Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm.

Svensson, A, 1977, Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer. Byggforskningens informationsblad B 4:1977, Stockholm.

Wettermark, G, Kowalewska, J, 1976, Storage of Low Temperature Heat. Solar Energy Storage, Royal Institute of Technology, Stockholm.

Öfverholm, E, Isakson, P, 1976, Solvärmehusen fungerar men ekonomin är okänd. VVS nr. 8, Stockholm.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 760999-7
från Statens råd för byggnadsforskning till AB Skånska
Cementgjuteriet, Malmö.**

R92:1979

ISBN 91-540-3078-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600992

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner o. material**

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

Cirka pris: 30 kr exkl moms